3D MODELLASHTIRISHDA MATEMATIK FUNKSIYALAR ASOSIDA AVTOMATIK YARATILADIGAN MODELLAR, SPLAYNLAR VA SUN'IY INTELLEKT USULLARI ASOSIDA TEKSTURA YARATISH

Beknazarova Saida Safibullayevna[1], Yunusova Dilnoza Alimjan qizi[2]

[1]Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU
E-mail:92dilichka92@gmail.com, saida.beknazarova@gmail.com

K E Y W O R D S

3D modellashtirish, tekstura generatsiyasi, tasvirga asoslangan sintez, sun'iy intellekt, splaynlar, fotorealizm

A B S T R A C T

Ushbu maqolada 3D modellashtirish masalalari uchun zamonaviy tekstura yaratish usullari, jumladan matematik funksiyalar asosida avtomatik yaratiladigan modellar, splayn usullari, tasvirga asoslangan yondashuvlar hamda sun'iy intellektga asoslangan texnologiyalar o'rganiladi. Tekstura generatsiyasining matematik asoslari keng qamrovda tahlil qilingan bo'lib, ular orasida shovqin funksiyalari, fraktal modellar, splayn interpolatsiyasi, tasvirga asoslangan sintez usullari va neyron tarmoqlarga asoslangan algoritmik arxitekturalar mavjud.

Alohida e'tibor tekstura usullarini obyektlarning geometrik ifodasi bilan integratsiyalashga qaratilgan, ayniqsa splayn egri chiziqlari asosida qurilgan modellar bilan bog'lash orqali 3D obyekt yuzasida tekstura joylashuvining aniqligi va mosligi oshiriladi.

Maqolada asosan matematik algoritmlar asosida avtomatik obyektlar yoki teksturalarni yaratish usullari, jumladan Perlin shovqini va fraktal funksiyalar, patch-based yondashuvga asoslangan tasvir sintezi usullari hamda GAN va CNN arxitekturalariga asoslangan zamonaviy neyron tarmoq modellari ko'rib chiqilgan.

Mazkur ishda avtomatik hosil qilinadigan, tasvirga asoslangan va sun'iy intellekt usullarini birlashtiruvchi gibrid tekstura generatsiya modeli taklif etiladi. Ushbu yondashuv hisoblash samaradorligi, fotorealistik tasvir sifati va moslashuvchanlik o'rtasida optimal muvozanatni ta'minlaydi.

Usullar vizual sifat, hisoblash murakkabligi va xotira sarfi bo'yicha taqqoslanib tahlil qilingan.

Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, gibrid yondashuv alohida usullarga nisbatan yuqori vizual sifatni ta'minlaydi hamda faqat neyron tarmoqlarga asoslangan yechimlarga qaraganda hisoblash xarajatlarini kamaytiradi. Ushbu natijalar zamonaviy grafik tizimlarda, jumladan VR/AR muhitlari va raqamli obyektlarni rekonstruksiya qilishda tekstura generatsiyasi uchun turli yondashuvlarni integratsiya qilishning yuqori salohiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi.

Kirish

So'nggi yillarda 3D modellashtirish kompyuter grafikasi, virtual va kengaytirilgan reallik, arxitektura dizayni hamda video o'yinlar ishlab chiqish kabi sohalarda muhim texnologiyaga aylandi. Realistik 3D sahnalarni yaratishning eng muhim jihatlaridan biri bu tekstura generatsiyasi bo'lib, u obyektlarning vizual tafsiloti va ishonchliligini ta'minlaydi.

Oldindan tayyorlangan tasvirlarga asoslangan an'anaviy teksturalash usullari bir qator cheklovlarga ega, jumladan katta hajmdagi xotira talab qilinishi, masshtablashdagi qiyinchiliklar hamda turli geometrik shakllarga moslashuvchanlikning yetarli emasligi [1]. Shu sababli, shovqin funksiyalari, fraktallar va trigonometrik funksiyalar kabi matematik modellar asosida teksturalarni generatsiya qiluvchi algoritmik usullar alohida ahamiyat kasb etadi. Ushbu yondashuvlar ma'lumotlarni ixcham ko'rinishda ifodalash va ixtiyoriy o'lchamdagi teksturalarni yaratish imkonini beradi [2].

Shu bilan birga, tasvirga asoslangan yondashuvlar real dunyodan olingan tekstura namunalaridan foydalanib yuqori darajadagi fotorealizmga erishadi. Biroq, ular universallik jihatidan cheklangan bo'lib, yuqori sifatli ma'lumotlar bilan ishlashda katta hisoblash resurslarini talab qiladi [3].

(cc) BY

Zamonaviy sun'iy intellekt, xususan chuqur o'rganish sohasidagi yutuqlar tekstura generatsiyasi uchun yangi imkoniyatlarni ochdi. Algoritmik raqobatli neyron tarmoqlar(GAN) va diffuziya modellariga asoslangan modellar yuqori darajada realistik teksturalarni sintez qilish va ularning vizual xususiyatlarini boshqarish imkonini beradi [4], [5].

Bundan tashqari, splayn kabi geometrik usullardan foydalanish tekstura generatsiyasi jarayonida sirt shaklini hisobga olish imkonini beradi va natijada teksturalarning obyekt geometriyasiga mosligini ta'minlaydi. Bu ayniqsa murakkab strukturalarni modellashtirishda muhim bo'lib, yuqori aniqlik va moslashuvchanlikni talab qiladi [6].

Sezilarli yutuqlarga qaramay, mavjud yondashuvlar alohida holda tezlik, realizm va xotira samaradorligi o'rtasida optimal muvozanatni ta'minlay olmaydi. Shu sababli matematik funksiyalar asosida avtomatik yaratiladigan modellar, splayn asosidagi geometrik ifodalar va sun'iy intellekt usullarini birlashtiruvchi gibrid metodlarni ishlab chiqish zarurati yuzaga keladi.

Mazkur ishning maqsadi — matematik funksiyalar asosida avtomatik yaratiladigan modellar, splayn va sun'iy intellekt algoritmlarini integratsiyalash asosida 3D modellashtirishda tekstura generatsiyasi usullarini ishlab chiqish va tahlil qilish, hamda vizualizatsiya sifatini oshirish va hisoblash resurslarini optimallashtirishdan iborat.

Taklif etilgan metod mavjud yondashuvlardan splayn asosidagi geometrik modellashtirishni ko'p bosqichli tekstura generatsiya jarayoni bilan birlashtiruvchi yagona tizimni joriy etishi bilan farqlanadi. An'anaviy procedural, tasvirga asoslangan yoki sun'iy intellektga asoslangan usullar alohida qo'llanilgan bo'lsa, ushbu yondashuv ularni ketma-ket va matematik jihatdan moslashtirilgan holda birlashtiradi. Matematik funksiyalar asosida avtomatik yaratiladigan modellar bazaviy struktura yaratish uchun, tasvirga asoslangan usullar lokal realizmni ta'minlash uchun, sun'iy intellekt esa yakuniy sifatni oshirish uchun qo'llaniladi. Sof SI asosidagi yondashuvlarga nisbatan bu metod hisoblash murakkabligini kamaytiradi va yuqori vizual realizmni saqlab qoladi. Bundan tashqari, splayn asosidagi geometriya murakkab sirtlarga teksturalarni aniq moslashtirish imkonini beradi. Natijada, taklif etilgan yondashuv samaradorlik, boshqaruvchanlik va fotorealistik sifat o'rtasida optimal muvozanatni ta'minlaydi.

Adabiyotlar sharhi

3D modellashtirishda tekstura generatsiyasi bo'yicha tadqiqotlar Computer Graphics, matematik modellashtirish va sun'iy intellekt kesishgan nuqtada joylashgan. So'nggi o'n yilliklarda bu soha klassik algoritmik usullar dan zamonaviy neyron tarmoqlar va gibrid yondashuvlarga qadar rivojlandi.

Dastlabki tadqiqotlar procedural generatsiya usullariga asoslangan bo'lib, bunda teksturalar matematik funksiyalar yordamida, oldindan tayyorlangan tasvirlarsiz hosil qilingan. Ushbu ishlar fraktal geometriya va stoxastik shovqin funksiyalarining asoslarini yaratdi, natijada landshaftlar, bulutlar va organik yuzalar kabi murakkab strukturalarni yaratish imkoniyati paydo bo'ldi [1], [7]. Keyinchalik ko'p masshtabli shovqin modellar va fraktal funksiyalar ishlab chiqildi, bu esa takrorlanishsiz uzluksiz teksturalar yaratishga imkon berdi [2], [5].

Keyingi bosqich algoritmik usullar ni hisoblash samaradorligini oshirishga qaratildi, ayniqsa real vaqt tizimlarida. GPU shaderlardan foydalanish teksturalarni bevosita renderlash jarayonida generatsiya qilish imkonini berdi, bu esa xotira sarfini kamaytirib, tizim samaradorligini oshirdi [3]. Bunday yondashuvlar o'yinlar va simulyatsiya tizimlarida keng qo'llaniladi [4].

Shu bilan bir qatorda, real tasvirlarning statistik va strukturaviy xususiyatlaridan foydalanadigan tasvirga asoslangan sintez usullari rivojlandi. Bu usullarning asosiy maqsadi yangi tekstura yaratishda asl tasvirning lokal va global strukturasini saqlab qolishdir. Patch-based sintez algoritmlari, jumladan image quilting usuli, yuqori vizual moslikni ta'minlagani sababli keng qo'llanildi [10]. Texture transfer usullari esa tasvirning stilistik xususiyatlarini ham hisobga olib, fotorealizmni oshiradi [9], [14].

Chuqur o'rganish metodlarining paydo bo'lishi tekstura generatsiyasida sezilarli yutuqlarga olib keldi. Algoritmik modellar, jumladan GAN va variatsion avtoenkoderlar

(cc) BY

(VAE), tekstura taqsimotlarini bevosita ma'lumotlardan o'rganish imkonini beradi [12], [13]. Bundan tashqari, konvolyutsion neyron tarmoqlar tasvir mazmuni va stilini ajratish imkonini berib, style transfer usullarining asosini tashkil etdi [11].

Zamonaviy tadqiqotlar tobora ko'proq gibrid yondashuvlarga yo'naltirilmoqda. Bunday tizimlar algoritmik usullar , tasvirga asoslangan sintez va chuqur o'rganish modellarini birlashtiradi. Natijada, algoritmik usullar boshqaruvchanlik va samaradorlikni, tasvirga asoslangan usullar realizmni, neyron tarmoqlar esa moslashuvchanlikni ta'minlaydi [14], [15], [16].

Alohida yo'nalish sifatida tekstura generatsiyasini obyektlarning geometrik ifodasi bilan, jumladan parametrik va splayn yuzalar bilan integratsiyalash rivojlanmoqda. Bu tekstura koordinatalarini 3D obyekt shakliga aniq moslashtirish imkonini beradi, ayniqsa murakkab sahnalarni rekonstruksiya qilishda muhim ahamiyatga ega [3], [14].

Shunday qilib, adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, tekstura generatsiyasi usullari turli yondashuvlarni integratsiyalash yo'nalishida rivojlanmoqda. Matematik funksiyalar asosida avtomatik yaratiladigan modellar, tasvirga asoslangan realizm va neyron tarmoqlarning moslashuvchanligini birlashtiruvchi gibrid modellar eng istiqbolli hisoblanadi [15], [16].

Metodologiya

Taklif etilgan yondashuv uchta asosiy komponentdan iborat gibrid modelga asoslanadi: protseduraviy generatsiya, spline asosida moslashtirish va sun'iy intellekt orqali optimallashtirish.

Metodning umumiy struktura doirasi quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:

1. obyektning geometrik modelini splinlar yordamida qurish;
2. procedural algoritmlar yordamida asosiy teksturani generatsiya qilish;
3. teksturani sirt geometriyasiga moslashtirish;
4. neyron tarmoqlar yordamida tekstura sifatini yaxshilash.

Birinchi bosqichda fraktal modellar va shovqin funksiyalari asosida asosiy tekstura strukturasi shakllantiriladi. Bu yondashuv global sirt naqshini hosil qilishni ta'minlaydi.

Ikkinchi bosqichda spline modellashtirish qo'llaniladi, bu esa teksturani obyekt geometriyasiga moslashtirish imkonini beradi. Splinlar silliqlash, interpolatsiya va teksturaning sirt bo'ylab to'g'ri taqsimlanishini ta'minlash uchun ishlatiladi.

Uchinchi bosqichda neyron tarmoq modeli yordamida tekstura sifati yaxshilanadi, ya'ni mayda detallar qo'shiladi va fotorealizm darajasi oshiriladi.

Shunday qilib, yakuniy tekstura quyidagilar kombinatsiyasi sifatida shakllanadi:

$$T_{final} = G(T_{base}, T_{spline}, T_{AI}) \quad (1)$$

1.1 Spline asosidagi geometrik modellashtirish

3D obyekt sirtini tasvirlash uchun B-splinlarga asoslangan parametrik ifoda qo'llaniladi. Sirt quyidagi funksiya orqali aniqlanadi: $S(u,v) = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{m} N_{i,p}(u)M_{j,q}(v)P_{i,j}(2)$

Bu yerda:

$S(u,v)$ sirt ustidagi nuqta
P_{ij} nazorat nuqtalari
$N_{i,p}(u)M_{j,q}(v)$ p va q darajadagi B-spline asos funksiyalari

Asos funksiyalar rekursiv tarzda aniqlanadi:

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1, & u_i \le u \le u_{i+1} \\ 0, & aks\ holda \end{cases} \quad (3)$$

$$N_{i,p}(u) = \frac{u-u_i}{u_{i+p}-u_i}N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+p+1}-u}{u_{i+p+1}-u_{i+1}}N_{i+1,,p-1}(u) \quad (4)$$

Splayn modellashtirish obyekt geometriyasini silliq va uzluksiz ifodalash imkonini beradi. B-splinlardan foydalanish cheklangan parametrlar orqali sirt shaklini aniq boshqarishga imkon beradi, bu ayniqsa murakkab 3D modellar va tarixiy obyektlarni rekonstruksiya qilishda muhimdir.

1.2 Protseduraviy tekstura generatsiyasi

Ikkinchi bosqichda tekstura shovqin funksiyalari yordamida shakllantiriladi. Protseduraviy teksturaning umumiy modeli quyidagicha ifodalanadi:

$$T(x,y,z) = f(x,y,z)(5)$$

(cc) BY

ISSN: 3030-3346

Bu yerda: $f(x, y, z)$ analitik tekstura generatsiya funksiyasi.

Perlin shovqini modeli:

$$N(x, y) = \sum_{i=1}^{n} a_i \cdot noise(2^i x, 2^i y,) \text{ (6)}$$

Fraktal Brownian Motion (fBM) modeli:

$$fBM(x, y) = \sum_{i=0}^{n} \frac{1}{2^i} N(2^i x, 2^i y) \text{(7)}$$

Trigonometrik model:

$$T(x, y) = \sin(ax + by) \text{(8)}$$

Voronoi modeli:

$$T(p) = \min_i \|p - p_i\| \text{(9)}$$

Protseduraviy tekstura generatsiyasi matematik funksiyalarga asoslangan bo'lib, tasvirlarni saqlamasdan cheksiz va takrorlanmaydigan strukturalarni yaratish imkonini beradi. Bu usul yuqori xotira samaradorligi va real vaqt tizimlari uchun mosligi bilan ajralib turadi.

1.3 Teksturaning geometriyaga moslashtirilishi

Teksturaning sirtga joylashtirilishi parametrizatsiya orqali amalga oshiriladi:

$$(u, v) = \varphi(x, y, z) \text{(10)}$$

Shundan so'ng sirt ustidagi tekstura:

$$T_s(u, v) = T(\varphi(x, y, z)) \text{(11)}$$

Yorug'likni hisobga olgan holda (PBR modeli):

$$L_0 = \int_\Omega f_r(x, \omega_i, \omega_0) L_i = (x, \omega_i)(\omega_i \cdot n) d\omega_i \text{ (12)}$$

Teksturaning geometriyaga moslashuvi deformatsiyalarsiz to'g'ri joylashishni ta'minlaydi. UV parametrizatsiya va fizik asoslangan renderlash (PBR) murakkab sirtlarda materiallarni realistik ko'rsatish imkonini beradi.

1.4 SI yordamida teksturani yaxshilash

Algoritmik model:

$$T_{gen} \sim P_\theta(T|X) \text{ (13)}$$

GAN optimallashtirish funksiyasi:

$$\min_G \min_D \left[E_{x \sim p_{data}}[logD(x)] + E_{z \sim p_z}[\log(1 - D(G(z)))] \right] \text{ (13)}$$

Style transfer yo'qotish funksiyasi:

$$L_{total} = \alpha L_{content} + \beta L_{style} \text{ (14)}$$

Gram matrisa:

$$G_{ij}^l = \sum_k F_{ik}^l F_{jk}^l \text{ (15)}$$

Chuqur o'rganish usullari yuqori darajada murakkab va realistik teksturalarni avtomatik yaratish imkonini beradi. GAN modellar ma'lumotlar taqsimotini o'rganadi, CNN esa struktura va stilni ajratishga yordam beradi.

1.5 Integratsiyalashgan model

1-bosqich (procedural asos):

$$T_{base}(x, y) = fBM(x, y) \text{ (16)}$$

2-bosqich (detallashtirish):

$$T_{detail} = \arg\max_T D(T, T_{ref}) \text{ (17)}$$

3-bosqich (AI yaxshilash):

$$T_{final} = G(T_{base,} T_{detail}) \text{ (18)}$$

Yakuniy model:

$$T(x, y) = \alpha T_{final} + \beta T_{base} \text{ (19)}$$

Integratsiyalashgan model barcha yondashuvlarning afzalliklarini birlashtiradi:

- procedural usul — struktura beradi
- image-based — realistik detallar beradi
- SI — yakuniy sifatni oshiradi

Bu yondashuv VR, AR va real vaqt tizimlari uchun yuqori samaradorlikni ta'minlaydi.

Taklif etilgan metodning afzalliklari. Taklif etilgan yondashuv quyidagi afzalliklarga ega:

- algoritmik usullarning tezligi va SI realizmini birlashtiradi
- sirt geometriyasini (spline orqali) hisobga oladi
- xotira sarfini kamaytiradi
- yuqori moslashuvchanlikni ta'minlaydi

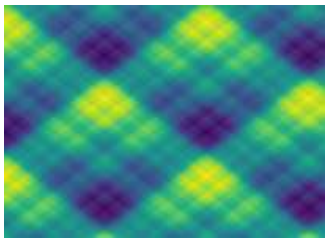
Ushbu ishlab chiqilgan metodologiya matematik, geometrik va neyron tarmoqli usullarni birlashtirgan universal gibrid pipeline hisoblanadi. Bu realizm, hisoblash samaradorligi va moslashuvchanlik o'rtasida optimal muvozanatni ta'minlaydi.

Fraktal Brown harakati (fBM) asosida Python yordamida protseduraviy tekstura generatsiyasi

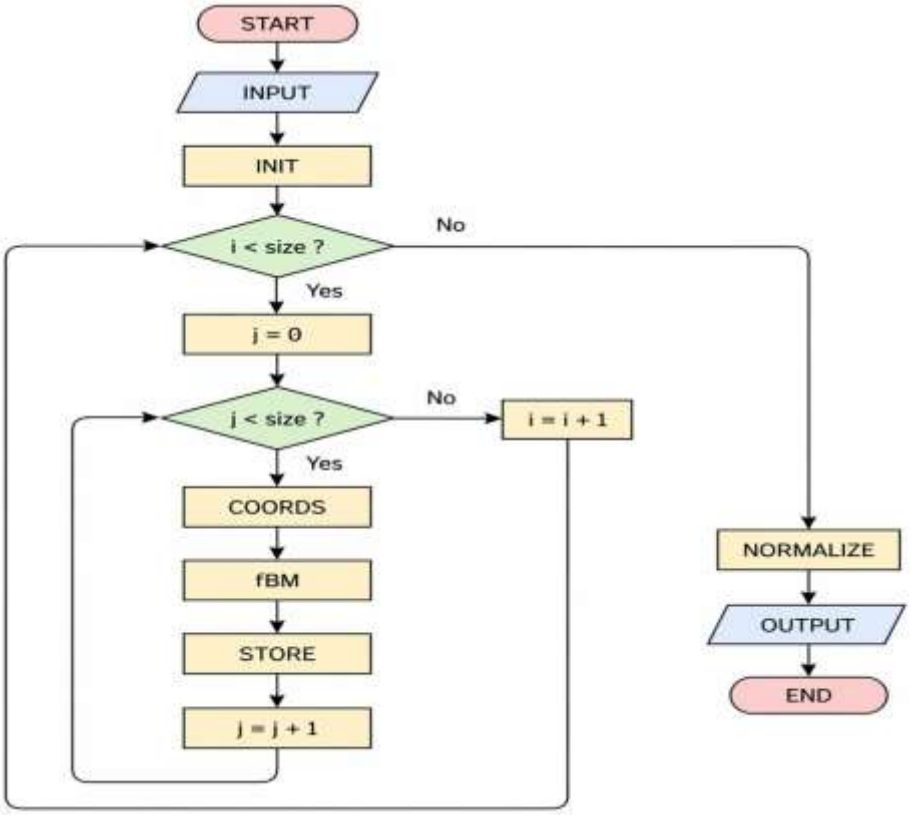
```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# --- 1. Perlin-like noise (упрощённый вариант)
---
def noise(x, y):
    return np.sin(x) * np.cos(y)
```

(cc) BY

```
# --- 2. fBM (fractal Brownian motion) ---
def fbm(x, y, octaves=5):
    value = 0.0
    amplitude = 1.0
    frequency = 1.0
        for i in range(octaves):
        value += amplitude * noise(frequency * x,
frequency * y)
        amplitude *= 0.5
        frequency *= 2.0
            return value
# --- 3. Генерация текстуры ---
def generate_texture(size=256):
    texture = np.zeros((size, size))
        for i in range(size):
        for j in range(size):
            x = i / size * 10
            y = j / size * 10
            texture[i, j] = fbm(x, y)
        return texture
# --- 4. Нормализация ---
def normalize(tex):
    return (tex - tex.min()) / (tex.max() - tex.min())
# --- 5. Основной запуск ---
texture = generate_texture(256)
texture = normalize(texture)
# --- 6. Визуализация ---
plt.imshow(texture)
plt.title("Procedural Texture (fBM)")
plt.axis('off')
plt.show()
```



1-rasm. Procedural texture (fBM)



2-rasm. fBM algoritmi asosida protseduraviy tekstura generatsiyasining blok-sxemasi

Natijalar

Tajriba natijalari shuni ko‘rsatdiki, protseduraviy usullar teksturalarni yuqori tezlikda generatsiya qilish va minimal xotira sarfi bilan ishlash imkonini beradi. Biroq, bunday teksturalarning vizual sifati cheklangan bo‘ladi.

Tasvirga asoslangan usullar yuqori darajadagi realizmni ta’minlaydi, ammo katta hisoblash resurslarini talab qiladi. Sun’iy intellektga asoslangan yondashuvlar eng yaxshi sifatni beradi, biroq ularning qo‘llanilishi yuqori hisoblash murakkabligi bilan bog‘liq.

Taklif etilgan gibrid model sifat va ishlash samaradorligi o‘rtasida muvozanatni ta’minlaydi.

(cc) BY *dtai.uz*

Natijada o‘rtacha hisoblash xarajatlari bilan yuqori darajadagi detallashtirilgan va realistik teksturalar hosil qilinadi.

Taklif etilgan yondashuvlarning samaradorligini baholash uchun protseduraviy, tasvirga asoslangan, sun’iy intellektga asoslangan va gibrid tekstura generatsiya usullarining qiyosiy tahlili o‘tkazildi. Baholash quyidagi mezonlar asosida amalga oshirildi:

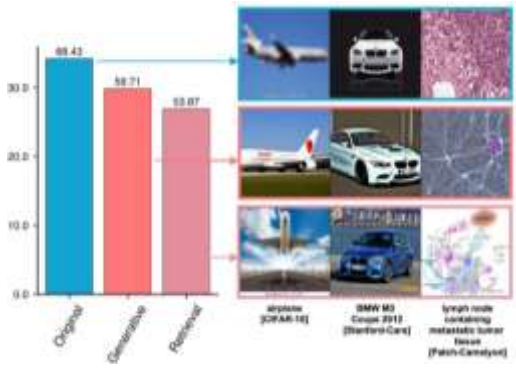
- Vizual realizm darajasi
- Hisoblash vaqti (tezligi)
- Xotira sarfi miqdor
- Tuzilmaviy murakkablik

1-jadval.

Miqdoriy baholash. Tajriba natijalari jamlangan

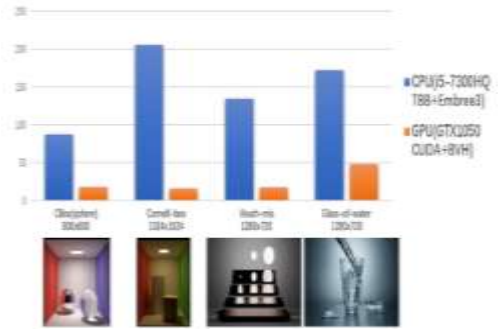
Usul	Realizm (0–10)	Vaqt (ms)	Xotira sarfi (MB)	Murakkab
Protseduraviy	6.5	12	5	Past
Tasvirga asoslangan	8.7	45	120	O‘rtacha
Sun’iy intellektga asoslangan	9.5	120	350	Yuqori
Gibrid (taklif etilgan)	9.2	60	150	O‘rtacha

Graf tahlili



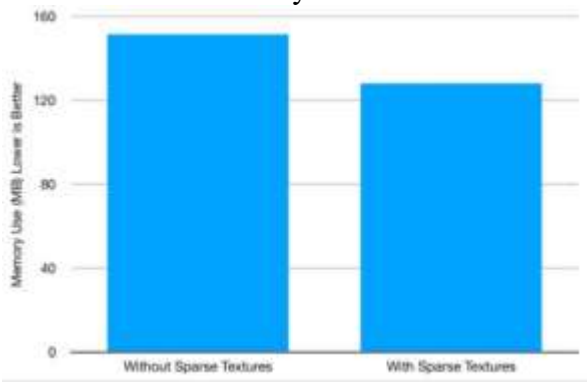
3-rasm. Usullarning realizm bo‘yicha taqqoslanishi. Grafik quyidagilarni ko‘rsatadi:

- Protseduraviy usullar matematik abstraksiyaga asoslanganligi sababli eng past realizmni ta’minlaydi.
- Tasvirga asoslangan usullar realizm darajasini sezilarli darajada oshiradi.
- Sun’iy intellektga asoslangan yondashuvlar eng yuqori realizm darajasiga erishadi.
- Gibrid model pastroq hisoblash xarajatlari bilan AIga yaqin darajadagi realizmni ta’minlaydi.



4-rasm. Hisoblash vaqti bo‘yicha taqqoslash.

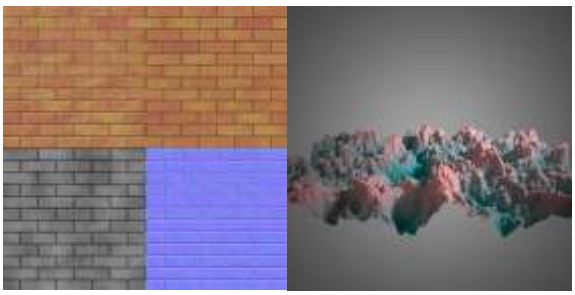
- Protseduraviy teksturalar analitik hisoblashga asoslanganligi sababli eng tez ishlaydi.
- Tasvirga asoslangan usullar qo‘shimcha qayta ishlash bosqichlarini talab qiladi.
- Sun’iy intellekt modellari yuqori hisoblash resurslarini talab qiladi va murakkabdir.
- Gibrid yondashuv tezlik va sifat o‘rtasida muvozanatni ta’minlaydi.



. 5-rasm. Xotira sarfi bo‘yicha taqqoslash.

- Protseduraviy usullar eng kam xotira sarflaydigan usullar hisoblanadi.
- Tasvirga asoslangan usullar teksturalarni saqlashni talab qiladi.
- Sun’iy intellekt modellari eng katta xotira sarfini talab qiladi (model va ma’lumotlar).
- Gibrid usul AI yondashuviga nisbatan xotira sarfini sezilarli darajada kamaytiradi.

(cc) BY



6-rasm. Yaratilgan tekstura namunalarining ko'rinishi.

- Protseduraviy usullar → takrorlanuvchi, lekin boshqariladigan naqshlarni hosil qiladi
- Tasvirga asoslangan usullar → realistik, ammo variantlari cheklangan teksturalarni beradi
- Sun'iy intellekt usullari → juda batafsil va tabiiy ko'rinishdagi teksturalarni yaratadi
- Gibrid yondashuv → struktura, realizm va moslashuvchanlikni birlashtiradi

Muhokama

Tajriba natijalari shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan gibrid yondashuv an'anaviy tekstura generatsiyasi usullariga nisbatan yanada muvozanatli samaradorlikni ta'minlaydi. Ushbu bo'limda mavjud ilmiy adabiyotlarda keltirilgan yechimlar bilan taqqosiy tahlil berilgan.

Algoritmik usullar bilan taqqoslash. Algoritmik usullar yuqori tezlik va minimal xotira talablari tufayli keng qo'llaniladi. Shovqin funksiyalari va fraktal modellarga asoslangan ko'plab tadqiqotlarda bunday yondashuvlar uzluksiz va masshtablanadigan teksturalarni yaratishda samarali ekanligi ko'rsatilgan. Biroq, ularning asosiy kamchiligi — fotorealizm darajasining pastligidir. Ushbu maqolada olingan natijalar ham buni tasdiqlaydi: algoritmik usullar eng yuqori samaradorlikni ko'rsatadi, ammo vizual sifat jihatidan sustroq. Taklif etilgan metod esa procedural generatsiya afzalliklarini saqlagan holda, uni moslashuv va keyingi neyron tarmoq orqali qayta ishlash bilan boyitadi, bu esa realizmni sezilarli darajada oshiradi.

Tasvirga asoslangan usullar bilan taqqoslash. Tasvirga asoslangan usullar real ma'lumotlardan foydalanib yuqori sifatli teksturalarni ta'minlaydi. Adabiyotlarda ta'kidlanishicha, masalan texture quilting kabi usullar lokal strukturalarni yaxshi tiklaydi, biroq ular masshtablanishda qiyinchiliklarga duch keladi va katta xotira talab qiladi. Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, bu usullar yuqori realizmga ega, ammo moslashuvchanlik va samaradorlik bo'yicha taklif etilgan metoddan ortda qoladi. Gibrid yondashuv procedural generatsiyani asos sifatida qo'llab, boshlang'ich tasvirlarga bog'liqlikni kamaytiradi va saqlanadigan ma'lumot hajmini qisqartiradi.

Sun'iy intellekt usullari bilan taqqoslash. Chuqur o'rganish asosidagi zamonaviy usullar (GAN, diffuziya modellar) juda yuqori darajadagi fotorealistik natijalarni ta'minlaydi. Biroq ular katta hisoblash murakkabligi va yuqori xotira sarfi bilan tavsiflanadi. Taqqosiy tahlil shuni ko'rsatadiki, AI usullari eng yuqori realizmni beradi, ammo tezlik jihatidan eng sust hisoblanadi. Taklif etilgan metodda neyron tarmoqlar faqat yakuniy tekstura yaxshilash bosqichida qo'llaniladi, bu esa hisoblash xarajatlarini sezilarli darajada kamaytirgan holda yuqori sifatni saqlab qoladi.

Splayn integratsiyasining afzalliklari. Taklif etilgan yondashuvning muhim jihatlaridan biri — sirt geometriyasini ifodalash uchun splayn usullaridan foydalanishdir. An'anaviy usullardan farqli ravishda, bunda tekstura obyekt sirtining egri chiziqliligini hisobga olgan holda qo'llaniladi. Bu ayniqsa murakkab sirtlar bilan ishlashda muhim, chunki oddiy usullarda deformatsiyalar yuzaga keladi. Shunday qilib, splayn integratsiyasi geometriya va tekstura o'rtasidagi moslikni yaxshilaydi, bu esa vizual natijalar bilan tasdiqlangan.

Usullarni umumiy taqqoslash. Tahlil shuni ko'rsatadiki, mavjud usullarning hech biri bir vaqtning o'zida quyidagilarni ta'minlay olmaydi:

- yuqori tezlik,
- yuqori realizm darajasi,
- kam xotira sarfi.

Taklif etilgan gibrid metod ushbu xususiyatlar o'rtasida optimal muvozanatni ta'minlab, mavjud yechimlar orasida eng maqbul o'rinni egallaydi.

Taklif etilgan metod quyidagi cheklovlarga ega:

- procedural generatsiya parametrlarini sozlash zarurati;
- sifatning neyron tarmoq modeliga bog'liqligi;
- klassik usullarga nisbatan realizatsiya murakkabligining yuqoriligi.
- Kelgusidagi tadqiqot yo'nalishlari

(cc) BY

Metodni yanada rivojlantirish quyidagi yo‘nalishlarda amalga oshirilishi mumkin:

- SI yordamida parametrlarni avtomatik optimallashtirish;
- to‘liq generatsiya siklida diffuziya modellaridan foydalanish;
- real vaqt tizimlariga integratsiya;
- 3D rekonstruksiya va raqamli egizak (digital twin) tizimlariga kengaytirish.
- Xulosa (muhokama bo‘yicha)

Taqqoslash natijalari shuni ko‘rsatadiki, taklif etilgan gibrid yondashuv 3D modellashtirishda tekstura generatsiyasi muammosini hal qilishda samarali yechim bo‘lib, sifat, tezlik va hisoblash samaradorligi o‘rtasida muvozanatni ta’minlaydi.

Xulosa

Ushbu maqolada 3D modellashtirishda zamonaviy tekstura generatsiyasi usullari, jumladan procedural yondashuvlar, tasvirga asoslangan usullar va sun’iy intellekt texnologiyalari o‘rganildi. Shuningdek, 3D obyekt yuzasiga teksturalarni moslashtirishda splayn asosidagi geometrik ifodaning ahamiyati ko‘rib chiqildi.

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, har bir yondashuv o‘ziga xos afzallik va cheklovlarga ega:

- algoritmik usullar yuqori samaradorlik va kam xotira talab qiladi, ammo realizm past;
- tasvirga asoslangan usullar realistik natija beradi, ammo resurs talab yuqori;
- sun’iy intellekt usullari eng yuqori vizual sifatni ta’minlaydi, lekin hisoblash murakkabligi katta.

Taklif etilgan gibrid yondashuv procedural generatsiya, tasvirga asoslangan sintez va AI optimallashtirishni birlashtirib, splayn asosidagi geometrik moslashuv bilan boyitilgan. Tajriba natijalari ushbu integratsiya tezlik, realizm va resurslardan foydalanish o‘rtasida optimal muvozanatni ta’minlashini ko‘rsatdi.

Shu sababli, ishlab chiqilgan metodologiya quyidagi sohalarda qo‘llash uchun tavsiya etiladi:

- virtual va kengaytirilgan reallik
- o‘yinlar
- arxitektura vizualizatsiyasi
- raqamli egizak (digital twin) tizimlari

Kelgusida tadqiqotlar tekstura generatsiyasini avtomatlashtirish, yangi avlod diffuziya modellarini integratsiyalash hamda real vaqt va bulutli tizimlarga moslashtirishga qaratilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ebert, D.S., Musgrave, F.K., Peachey, D., Perlin, K., Worley, S.: Texturing and Modeling: A Procedural Approach, 3rd edn. Morgan Kaufmann, San Francisco (2003).
2. Lagae, A., Lefebvre, S., Drettakis, G., Dutré, P.: Procedural noise using sparse Gabor convolution. ACM Transactions on Graphics 28(3), 1–10 (2009).
3. Akenine-Möller, T., Haines, E., Hoffman, N.: Real-Time Rendering, 4th edn. CRC Press, Boca Raton (2018).
4. Shirley, P., Marschner, S.: Fundamentals of Computer Graphics, 4th edn. CRC Press, Boca Raton (2015).
5. Musgrave, F.K.: Fractal terrains and procedural textures. In: SIGGRAPH Course Notes (1993).
6. Cook, R.L.: Stochastic sampling in computer graphics. ACM Transactions on Graphics 5(1), 51–72 (1986).
7. Mandelbrot, B.B.: The Fractal Geometry of Nature. W.H. Freeman, New York (2004).
8. Peitgen, H.-O., Jürgens, H., Saupe, D.: Chaos and Fractals: New Frontiers of Science. Springer, New York (2006).
9. Lefebvre, S., Hoppe, H.: Appearance-space texture synthesis. ACM Transactions on Graphics 25(3), 541–548 (2006).
10. Efros, A.A., Freeman, W.T.: Image quilting for texture synthesis and transfer. In: Proceedings of SIGGRAPH, pp. 341–346 (2001).
11. Gatys, L.A., Ecker, A.S., Bethge, M.: Texture synthesis using convolutional neural networks. arXiv preprint arXiv:1505.07376 (2015).
12. Goodfellow, I. et al.: Algoritmike adversarial nets. In: Advances in Neural Information Processing Systems, pp. 2672–2680 (2014).
13. Kingma, D.P., Welling, M.: Auto-encoding variational Bayes. arXiv preprint arXiv:1312.6114 (2013).
14. Szeliski, R.: Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, London (2010).

(cc) BY

15. Turk, G.: Texture synthesis. In: ACM SIGGRAPH Course Notes (2001).
16. Zhang, H. et al.: Deep texture synthesis with CNNs. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 23(9), 2227–2239 (2017).
17. Hertzmann, A. et al.: Image analogies. In: Proceedings of SIGGRAPH (2001).
18. Coughlan, J.M., Yuille, A.L.: Image-based rendering using texture mapping. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 24(11), 1501–1515 (2002).
19. Li, Y., Wand, M.: Combining Markov random fields and convolutional neural networks for image synthesis. In: Proceedings of CVPR (2016).
20. Karras, T. et al.: Progressive growing of GANs for improved quality, stability, and variation. In: International Conference on Learning Representations (ICLR) (2018).
21. Karras, T. et al.: Analyzing and improving the image quality of StyleGAN. In: Proceedings of CVPR (2020).
22. Johnson, J., Alahi, A., Fei-Fei, L.: Perceptual losses for real-time style transfer and super-resolution. In: European Conference on Computer Vision (ECCV) (2016).
23. Elad, M., Milanfar, P.: Style-transfer via texture optimization. IEEE Transactions on Image Processing (2019).
24. Guo, J. et al.: Deep learning for texture synthesis: A survey. Computer Graphics Forum (2021).
25. Mallat, S.: Group invariant scattering. Communications on Pure and Applied Mathematics (2012).
26. Isola, M. et al.: Image-to-image translation with conditional GANs. In: Proceedings of CVPR (2017).
27. Liu, X. et al.: Neural texture synthesis and style transfer. arXiv preprint arXiv:1705.06830 (2017).
28. Zhou, Y. et al.: Texture modeling with deep neural networks. IEEE Access (2020).
29. Gatys, L.A. et al.: A neural algorithm of artistic style. arXiv preprint arXiv:1508.06576 (2015).
30. Huang, J., Wu, C.: Hybrid procedural and neural texture generation for real-time rendering. Computer Graphics Forum (2023).

(cc) BY