

R-FUNKSIYALAR NAZARIYASI VA DUAL CONTOURING ALGORITMI ASOSIDA MURAKKAB 3D OBYEKT LARNING GEOMETRIK MODELINI YARATISH

Nuraliyev Faxriddin Murodillayevich

texnika fanlari doktori, professor

Televizion va Media Texnologiyalari kafedrası mudiri, Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent
axborot texnologiyalari universiteti, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy

Tel.: +998 90 317 11 88, e-mail: f.nuraliev@tuit.uz

Inoyatov Mirzayor Baxtiyor o'g'li

assistent

Televizion va Media Texnologiyalari kafedrası o'qituvchisi,
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Toshkent shahri, Amir
Temur ko'chasi, 108-uy

Tel.: +998 99 841 08 10, e-mail: mirzayorinoyatov1997@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada V.L. Rvachyov R-funksiyalar nazariyasi va Dual Contouring algoritmi asosida kompyuter grafikasi dasturlarining standart modeli bo'lgan choynakning (teapot) uch o'lchovli geometrik modelini AutoCAD muhitida yaratish metodologiyasi taqdim etilgan. Choynak modeli o'n uchta analitik funksiyalardan (primitiv) iborat bo'lib, jo'mrak qismining egri sirti maxsus parabolik tenglama orqali ifodalangan. R α -amallar (konyunksiya, dizyunksiya, inkor) yordamida primitivlar yagona R-amallar daraxtiga birlashtiriladi va Dual Contouring algoritmi orqali poligonal sirtga aylantiriladi. Yondashuv AutoCADga o'rnatilgan RFM Plugin dasturiy vositasida amalga oshirilgan.

Kalit so'zlar: AutoCAD plagini, Dual Contouring algoritmi, R-funksiyalar nazariyasi, standart choynak modeli, geometrik modellashtirish, RFM Plugin.

Kirish

Zamonaviy CAD-tizimlarida murakkab geometrik obyektlarni qurish odatda B-Rep va konstruktiv qattiq jism geometriyasi (CSG) usullari yordamida amalga oshiriladi [1]. Biroq CSG yondashuvi ikki jiddiy cheklovga ega: parametrlarni o'zgartirish loyiha ketma-ketligini boshidan qayta yuritishni talab qiladi va ko'p amallar bajarilganda topologik nomutanosibliklar paydo bo'ladi. Implicit modellashtirish bu cheklovlarni bartaraf etadi: jism $f(x, y, z) \geq 0$ tengsizligi orqali tasvirlanib, $f = 0$ sirtini belgilaydi (funksiya qiymati 0 ga teng qismida sirt hosil qiladi) [2]. Implicit yondashuvning matematik asosi sifatida V.L. Rvachyov tomonidan 1963-yilda kiritilgan R-funksiyalar nazariyasi xizmat qiladi [3, 4]. Tadqiqotning maqsadi — R-funksiyalar nazariyasi va Dual Contouring algoritmini AutoCAD muhitida birlashtirib, standart choynakning 3D modelini yaratishdir. Vazifalar: jo'mrak qismining egri sirtini analitik ifodalash; asosiy qism (suv turadigan joy) va tor sirttan hosil qilingan uchlagich qismlarini R-amallar bilan birlashtirish; Dual Contouring algoritmi yordamida natijani poligonal SubDMesh ko'rinishida olish [7].

Tadqiqot metodologiyasi

R-funksiyalar nazariyasida har bir 3D primitiv $f(x, y, z) \geq 0$ tengsizligi orqali ifodalanadi [3, 4]. Murakkab obyektlar primitivlarning R-funksiya yordamidagi mantiqiy birlashmasi sifatida quriladi [8, 9, 10, 11]. R-funksiyaning to'liq tizimida uchta asosiy amallar quyidagicha aniqlanadi:

$$f_1 \wedge_{\alpha} f_2 = \frac{f_1 + f_2 - \sqrt{f_1^2 + f_2^2 - 2\alpha f_1 f_2}}{1 + \alpha} \quad (1)$$

$$f_1 \vee_{\alpha} f_2 = \frac{f_1 + f_2 + \sqrt{f_1^2 + f_2^2 - 2\alpha f_1 f_2}}{1 + \alpha} \quad (2)$$

$$\neg f = -f \quad (3)$$

Bu yerda $-1 < \alpha \leq 1$ parametri sirt silliqlik darajasini boshqaradi: $\alpha = 1$ holida tizim min/max funksiyalariga ekvivalent bo'ladi va keskin qirralarni saqlaydi. Implicit sirtni AutoCAD muhitida ko'rsatish uchun Ju va hammualliflari [5] taklif etgan Dual Contouring algoritmi qo'llanildi. Algoritmda har bir kub yacheykasi ichiga bitta cho'qqi Hermite ma'lumotlari va kvadratik xatolik funksiyasini (Quadratic Error Function, QEF) minimallashtirish orqali joylashtiriladi:

$$E(x) = \sum_i (n_i \cdot (x - p_i))^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

Bu yerda p_i - sirt va yacheyka qirralari kesishish nuqtasi, n_i - shu nuqtadagi normal vektor, x - kub yacheykasi ichidagi topilishi kerak bo'lgan optimal cho'qqi. Ushbu yondashuv sirtning o'tkir qirralarini avtomatik saqlaydi [6]. Tadqiqotda RFM Plugin dasturiy vositasi qo'llanildi: u C# tilida .NET 8 platformasida yozilgan va AutoCAD 2025 muhitiga rasmiy AutoCAD .NET API orqali integratsiyalangan [7].

Vizual natijalar va muhokama

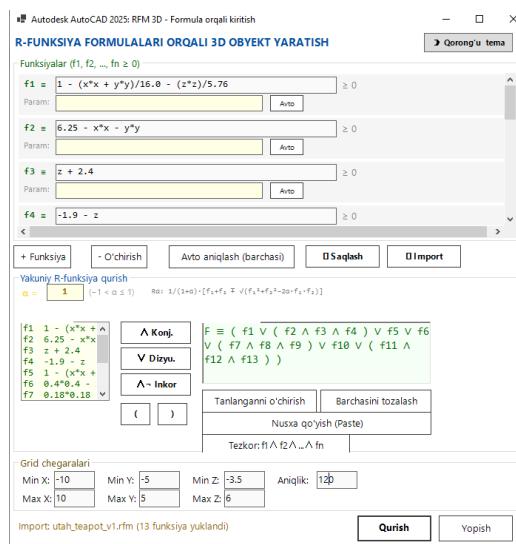
Standar choynakning 3D modeli o'n uchta analitik funksiyalardan tashkil topgan va R α -amallar bilan birlashtirilgan. Modelning grid chegaralari $X \in [-10; 10]$, $Y \in [-5; 5]$ va $Z \in [-3.5; 6]$ oralig'ida tanlangan, resolution (aniqlik) = 120, $\alpha = 1$. Jo'mrak qismining xarakterli shakli (uch qismining ingichkalanishi va asosiy tanaga birlashadigan qismi kengayishi) maxsus parabolik tenglama orqali ifodalanadi. Tana qismi esa ellipsoid primitive (f_1) orqali hosil qilinadi. Quyida choynak modelini tashkil etuvchi primitivlar va ularni yakuniy R-amallar daraxtiga ($F_{choynak}$) birlashtirilishi keltiriladi:

$$\begin{aligned} f_1 &\equiv 1 - \frac{x^2 + y^2}{16} - \frac{z^2}{5.76} \geq 0, & f_2 &\equiv 6.25 - x^2 - y^2 \geq 0, & f_3 &\equiv z + 2.4 \geq 0 \\ f_4 &\equiv -1.9 - z \geq 0, & f_5 &\equiv 1 - \frac{x^2 + y^2}{2.25} - \left(\frac{z - 2.3}{0.7}\right)^2 \geq 0, & f_6 &\equiv 0.4^2 - x^2 - y^2 - (z - 3.3)^2 \geq 0, \\ f_7 &\equiv 0.18^2 - x^2 - y^2 \geq 0, & f_8 &\equiv z - 3 \geq 0, & f_9 &\equiv 3.4 - z \geq 0, \\ f_{10} &\equiv 0.42^2 - \left(1.6 - \sqrt{(x + 5)^2 + z^2}\right)^2 - y^2 \geq 0, & f_{11} &\equiv (0.85 - 0.16 * (x - 4.2))^2 - (z + 0.2 - 0.22 * (x - 4.2)^2)^2 - y^2 \geq 0, \\ f_{12} &\equiv x - 3.4 \geq 0, & f_{13} &\equiv 7.6 - x \geq 0. \end{aligned}$$

Choynak modelining yakuniy R-funksiya ifodasi R α -amallar kompozitsiyasi orqali olinadi:

$$F_{choynak} \equiv (f_1 \vee (f_2 \wedge f_3 \wedge f_4) \vee f_5 \vee f_6 \vee (f_7 \wedge f_8 \wedge f_9) \vee f_{10} \vee (f_{11} \wedge f_{12} \wedge f_{13})).$$

Modelning o'n uchta primitivlarini plugginga kiritilishi va AutoCAD muhitidagi natijasi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Choynakning 3D modelini tashkil qiluvchi primitivlarni plugginga kiritilishi (chapda) va choynak modelining AutoCAD dagi izometrik proyeksiyasi (o'ngda)

Xulosa

Tadqiqot natijasida standar choynakning 3D geometrik modeli R-funksiyalar nazariyasi va Dual Contouring algoritmi asosida o'n uchta analitik primitiv yordamida muvaffaqiyatli yaratildi. Jo'mrak qismining egri sirti maxsus parabolik tenglama orqali aniq ifodalandi. Yondashuv yagona matematik ifoda ko'rinishida saqlanadi va parametrik o'zgarishlarda butun modelni qaytadan qurishni talab qilmaydi [7]. Dual Contouring choynakning boshining silliq sirtini va tanasining egri qirralarini bir vaqtda saqlay olishini ko'rsatdi. Kelajakdagi tadqiqot yo'nalishlari: choynak modeliga qo'shimcha payola, likopchalarini ham shu yondashuv asosida modellashirish; GPU-asosli parallel hisoblash; pluginning imkoniyatlarini parametrik dizayn va additiv ishlab chiqarish sohalariga kengaytirish.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Requicha A.A.G. Representations for rigid solids: theory, methods, and systems // ACM Computing Surveys. — 1980. — Vol. 12, No. 4. — P. 437–464.
2. Pasko A., Adzhiev V., Sourin A., Savchenko V. Function representation in geometric modeling // The Visual Computer. — 1995. — Vol. 11, No. 8. — P. 429–446.
3. Shapiro V. Semi-analytic geometry with R-functions // Acta Numerica. — 2007. — Vol. 16. — P. 239–303.
4. Рвачёв В.Л. Теория R-функций и некоторые её приложения// — Киев: Наукова Думка. —1982. — 552 с.
5. Ju T., Losasso F., Schaefer S., Warren J. Dual contouring of Hermite data // ACM Transactions on Graphics. — 2002. — Vol. 21, No. 3. — P. 339–346.
6. Kobbelt L.P., Botsch M., Schwaner U., Seidel H.P. Feature sensitive surface extraction from volume data // Proc. SIGGRAPH 2001. — P. 57–66.
7. Nuraliyev F.M., Inoyatov M.B. R-funksiyalar nazariyasiga asoslangan RFM-plugin yordamida AutoCAD muhitida murakkab 3D obyektlarni geometrik modellashirish// Modern science and technology: global challenges and sustainable solutions. —2026. —694–702 b.

8. Inoyatov M.B. R-funksiyalar yordamida murakkab shakldagi jismlarni geometrik modellashtirish: nazariy asoslar va amaliy yondashuvlar// Ilm-fan va innovatsiya ilmiy-amaliy konferensiya. —2025. — 17–19 b.
9. Nuraliev F.M., Inoyatov M.B. Geometric modeling of complex objects using R-functions // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. — 2025. — № 3(132). — С. 46–49. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/19452>
10. Nuraliev F.M., Inoyatov M.B. R-funksiyalar yordamida kvadrokopterning 2d tasvirini geometrik modellashtirish// Modern research: integration of theory and practice. — 2025. — 314–327 b.
11. Nuraliyev F.M., Inoyatov M.B., Ibodullayev S.N. R-funksiyalar yordamida odamsimon robotning 2D tasvirini geometrik modellashtirish // Development of Science. — 2025. — Vol. 9, №12. — B. 287–299.