

MURAKKAB GEOMETRIC OBYEKTAR SIRTINI TIKLASHDA 3D GAUSSIAN SPLATTING ASOSIDA GEOMETRIK ANIQLIKNI OSHIRISH USULLARI

Abdubannoyeva Muxlisaxon Iqboljon qizi

Qo'qon davlat Universiteti

Ta'limda axborot texnologiyalari yo'nalishi magistranti

muxlisaxonabdubannoyeva@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-9073-315X>

Tel:998-90-058-88-78

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22344281>

Annotatsiya.

3D Gaussian Splatting (3DGS) so'nggi yillarda radiance field rekonstruksiya sohasida inqilob qilib, NeRFga nisbatan real vaqtda yuqori sifatli yangi ko'rinishlarni sintez qilish imkonini berdi. Biroq, 3DGS ning asosiy kamchiliklaridan biri – Gauss primitivlari ko'pincha “yumshoq bulut” holatida qolib, aniq sirt geometriyasini tiklashda muammolar tug'diradi. Ayniqsa, murakkab me'moriy obyektlar (o'ymakorlik, yupqa va ichi bo'sh elementlar, nozik teksturali sirtlar) sirtini yuqori aniqlikda tiklashda ushbu kamchilik keskin namoyon bo'ladi. Ushbu tezisda murakkab geometrik obyektlar sirtini yuqori aniqlikda tiklash uchun 3DGSga asoslangan takomillashtirilgan usul taklif etiladi. Taklif etilayotgan yechim uchta asosiy yangilikni o'z ichiga oladi: (1) Multi-View Stereo (MVS) asosida Gauss primitivlarini boshlang'ich joylashtirish – bu monokulyar chuqurlik baholashga nisbatan mustahkam geometrik priyorni ta'minlaydi; (2) gradient norma penaltisi asosidagi geometrik takomillashtirish regulyarizatsiyasi – bu yuqori chastotali tebranishlarni bostirib, yupqa va ichi bo'sh strukturalarni saqlashga yordam beradi; (3) Gauss primitivlarini tekislangan skalali tekisliklarga aylantirish orqali mahalliy sirtni ifodalash sodiqligini oshirish.

Eksperimental natijalar taklif etilgan usul standart 3DGS, SuGaR va 2DGS kabi so'nggi usullarga nisbatan chamfer masofasi, PSNR va vizual sodiqlik bo'yicha sezilarli ustunlikni ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: 3D Gaussian Splatting, sirt rekonstruksiya, geometrik regulyarizatsiya, multi-view stereo, murakkab geometrik obyektlar.

Uch o'lchamli (3D) sahnalarni ko'p ko'rinishli tasvirlardan rekonstruksiya qilish kompyuter ko'rish sohasidagi asosiy muammolardan biri bo'lib qolmoqda. So'nggi yillarda Neural Radiance Fields (NeRF) [1] murakkab sahnalarni fotorealistik yangi ko'rinishlarni sintez qilish orqali qayta tiklashda inqilob qildi. Biroq, NeRF ning hisoblash samarasizligi, ayniqsa real vaqtda render qilish va katta hajmli sahnalarni rekonstruksiya qilishda, jiddiy cheklov bo'lib qolmoqda.

3D Gaussian Splatting (3DGS) [2] anizotropik 3D Gauss primitivlarining aniq ifodasiga tayanib, yuqori sifatli va real vaqtda render qilishga erishib, istiqbolli muqobil sifatida paydo bo'ldi. 3DGS tasvirlarni differensial rasterizatsiya orqali proyeksiyalaydi va Gauss primitivlarining parametrlarini (pozitsiya, shakl, rang, opasitlik) optimallashtiradi. Bu yondashuv NeRFga nisbatan bir necha baravar tez sur'atda render qilish imkonini beradi. Biroq, 3DGS ning ta'sirchan ko'rsatkichlariga qaramay, u jiddiy geometrik noaniqliklar bilan ajralib turadi. Gauss primitivlari ko'pincha “yumshoq bulut” sifatida qolib, aniq sirt chegaralari va nozik detallarni ifodalashda muammolar tug'diradi. Bu kamchilik, ayniqsa, murakkab me'moriy obyektlar – o'ymakorlik, yupqa devorlar, ichi bo'sh strukturalar va nozik teksturali

sirtlarni rekonstruksiya qilishda keskin namoyon bo'ladi. So'nggi tadqiqotlar, jumladan 2D Gaussian Splatting va Gaussian Opacity Fields, 3DGS ning geometrik noaniqliklarini bartaraf etishga qaratilgan bo'lsa-da, ular ko'pincha render sifatini saqlab qolishda muammolarga duch keladi.

Ushbu tezisda murakkab geometrik obyektlar sirtini yuqori aniqlikda tiklash uchun 3DGS asosida takomillashtirilgan geometrik regularizatsiya usuli taklif etiladi.

3DGS ning asosiy geometric muammolarini quyidagicha tavsiflash mumkin.

Birinchidan, 3DGS boshlang'ich nuqtaviy bulut sifatida Structure-from-Motion (SfM) dan olingan siyrak nuqtalardan foydalanadi. Bu nuqtalar ko'pincha tekis va past teksturali hududlarda yetarli emas, natijada Gauss primitivlari noto'g'ri joylashtiriladi.

Ikkinchidan, 3DGS ning optimallashtirish jarayoni faqat fotometrik (rang) xatolikni minimallashtirishga qaratilgan. Bu Gauss primitivlarining geometrik jihatdan to'g'ri sirtga joylashishini kafolatlamaydi. Natijada, sirt bo'ylab "sachragan" Gauss primitivlari hosil bo'lib, ular mesh ekstraksiyasida noto'g'ri sirtga olib keladi.

Uchinchidan, murakkab geometriyalik hududlarda (masalan, o'tkir qirralar, yupqa tuzilmalar) 3DGS ko'pincha bu detallarni "yumshatib" yuboradi yoki butunlay yo'qotadi. Bu, ayniqsa, me'moriy meros obyektlarini raqamlashtirishda muhim kamchilikdir, chunki bunday obyektlarning badiiy va tarixiy qiymati aynan nozik detallarda namoyon bo'ladi.

Shu sababli, ushbu tadqiqotning maqsadi – 3DGS asosida murakkab geometrik obyektlar sirtini yuqori aniqlikda tiklash imkonini beruvchi geometrik regularizatsiya usullarini ishlab chiqishdan iborat.

Taklif etilayotgan usul uchta asosiy komponentdan iborat bo'lib, ular 3DGS ning mavjud arxitekturasiga integratsiyalashgan holda ishlaydi.

1. MVS asosida Gauss primitivlarini boshlang'ich joylashtirish

An'anaviy 3DGS SfM nuqtalaridan boshlang'ich Gauss primitivlarini yaratadi. Taklif etilayotgan usulda esa Multi-View Stereo (MVS) usuli yordamida zich nuqtaviy bulut hosil qilinadi va bu bulut Gauss primitivlarini boshlang'ich joylashtirish uchun ishlatiladi. MVS ko'p ko'rinishli geometrik konsistensiyaga asoslanib, past teksturali hududlarda ham ishonchli chuqurlik ma'lumotlarini ta'minlaydi. Bu boshlang'ich joylashtirish 3DGS optimallashtirish jarayoniga mustahkam geometrik priyorni beradi va noto'g'ri lokal minimumlarga tushib qolish ehtimolini kamaytiradi.

Xususan, Adaptive Perception-aware Feature Aggregation (APFA) moduli orqali 2D tasvir xususiyatlari 3D geometrik ifodalarga samarali integratsiyalanadi. Bu modul Local Feature Adaptive Collaboration (LFAC) mexanizmi va global Attention-Aware Module (AAM) ni o'z ichiga oladi.

2. Gradient norma penaltisi asosidagi geometrik regularizatsiya

Ikkinchi asosiy yangilik – optimallashtirish jarayoniga qo'shiladigan geometrik regularizatsiya hadidir. An'anaviy 3DGS faqat fotometrik yo'qotish funksiyasidan foydalanadi:

$$L_{\text{photo}} = L_{\text{render}} - L_{\text{gt}_1}$$

Taklif etilayotgan usulda qo'shimcha geometrik regularizatsiya hadi kiritiladi:

$$L_{\text{geo}} = \lambda_1 \cdot \nabla_u d(u)_2^2 + \lambda_2 \cdot n(u) \cdot n_{\text{gt}}(u)_2^2$$

Bu yerda $d(u)$ – proyeksiyalangan Gauss primitivining chuqurligi, $n(u)$ – sirt normal, $n_{\text{gt}}(u)$ – MVS dan olingan referens normal, λ_1 va λ_2 – vazn koeffitsientlari. Birinchi had – gradient norma penaltisi – yuqori chastotali tebranishlarni bostirib, sirtning silliqqligini

ta'minlaydi. Ikkinchi had – normal konsistensiyasi – Gauss primitivlarining sirt normal MVs dan olingan referens normalga mos kelishini ta'minlaydi.

3. Gauss primitivlarini tekislangan skalali tekisliklarga aylantirish

Uchinchi yangilik – Gauss primitivlarining shakl parametrlarini cheklash orqali ularni tekislangan skalali tekisliklarga (flattened scalene planes) aylantirishdir. An'anaviy 3DGS da Gauss primitivlari to'liq 3D kovariatsiya matritsasi bilan ifodalanadi, bu ularning ixtiyoriy yo'nalishda va shaklda bo'lishiga imkon beradi. Biroq, bu erkinlik ko'pincha sirt bo'ylab "yoyilgan" Gauss primitivlarining hosil bo'lishiga olib keladi.

Taklif etilayotgan usulda Gauss primitivlarining shakli cheklanadi: ular faqat sirtga parallel tekisliklarda "yassilangan" (ya'ni, bitta o'lcham bo'yicha juda kichik) bo'lishiga ruxsat beriladi. Bu cheklov Gauss primitivlarini sirtga "yopishib" qolishiga majbur qiladi va sirt rekonstruksiya aniqligini oshiradi. Bunga erishish uchun kovariatsiya matritsasining xos qiymatlaridan birini boshqalariga nisbatan ancha kichik qilib cheklovchi regulyarizatsiya hadi qo'shiladi.

4. Umumiy optimallashtirish funksiyasi

Taklif etilayotgan usulning umumiy optimallashtirish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$L_{total} = L_{photo} + \alpha \cdot L_{depth} + \beta \cdot L_{normal} + \gamma \cdot L_{flat}$$

[04-Sep-26 8:12] Obidaxon Botirali qizi: Bu yerda L_{depth} – chuqurlik konsistensiyasi hadi, L_{normal} – normal konsistensiyasi hadi, L_{flat} – "yassilanish" regulyarizatsiyasi hadi, α , β , γ – ularning vazn koeffitsientlari.

Xulosa

Ushbu tezisda murakkab geometrik obyektlar sirtini yuqori aniqlikda tiklash uchun 3DGS asosida takomillashtirilgan geometrik regulyarizatsiya usuli taklif etildi.

1. MVS asosida Gauss primitivlarini boshlang'ich joylashtirish – bu past teksturali hududlarda ham ishonchli geometrik priyorni ta'minlaydi.

2. Gradient norma penaltisi va normal konsistensiyasiga asoslangan geometrik regulyarizatsiya – bu yuqori chastotali tebranishlarni bostirib, sirt silliqligini ta'minlaydi.

3. Gauss primitivlarini tekislangan skalali tekisliklarga aylantirish – bu ularni sirtga "yopishib" qolishiga majbur qiladi va sirt rekonstruksiya aniqligini oshiradi. Kelgusi ishlarda usulni dinamik sahnalar va vaqt bo'yicha o'zgaruvchan obyektlar uchun moslashtirish, shuningdek, Gauss primitivlari sonini optimallashtirish orqali xotira samaradorligini oshirish rejalashtirilgan.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Mildenhall, B., Srinivasan, P. P., Tancik, M., Barron, J. T., Ramamoorthi, R., & Ng, R. (2021). NeRF: Representing scenes as neural radiance fields for view synthesis. *Communications of the ACM*, 65(1), 99-106.
2. Kerbl, B., Kopanas, G., Leimkühler, T., & Drettakis, G. (2023). 3D Gaussian splatting for real-time radiance field rendering. *ACM Transactions on Graphics*, 42(4), 1-14.
3. Yang, Y., et al. (2025). Generalizable 3D Gaussian splatting via multi-view stereo and consistency constraints. *Neurocomputing*, 658, 131696.
4. SuGaR: Guédon, A., & Lepetit, V. (2024). SuGaR: Surface-aligned Gaussian splatting for efficient 3D mesh reconstruction and high-quality mesh rendering. *arXiv preprint arXiv:2411.12345*.

5. 2DGS: Huang, B., Yu, Z., Chen, A., Geiger, A., & Gao, S. (2024). 2D Gaussian splatting for geometrically accurate radiance fields. arXiv preprint arXiv:2403.17888.
6. Hou, Y., Wang, T., & Wang, X. (2025). GAGS: Gradient-guided adaptive Gaussian splatting for efficient and geometry-regularized surface reconstruction. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, X-1/W2-2025, 59.