

REAL VAQTLI RENDERLASHDA TEMPORAL ARTEFAKTLAR MUAMMOSI VA ULARNI BARTARAF ETISH USULLARI

Bekmatov A.K

Qarshi davlat texnika universiteti Optik aloqa tizimlari
va tarmoqlari kafedrasida asistenti

Mahammatov O.I

Qarshi davlat texnika universiteti talabasi

Annotatsiya: Ushbu maqolada real vaqtli renderlash tizimlarida kuzatiladigan temporal artefaktlar — «diyroq» (ghosting), piksel titroqlari (flickering) va o'tish buzilishlari (temporal instability) — muammosi tadqiq etiladi. Zamonaviy TAA va DLSS algoritmlarining cheklovlari tahlil qilinib, barqarorlikni oshirish bo'yicha usullar taklif etiladi.

Kalit so'zlar: *temporal artefaktlar, TAA, ghosting, real vaqtli renderlash, piksel barqarorligi.*

THE PROBLEM OF TEMPORAL ARTIFACTS IN REAL-TIME RENDERING AND APPROACHES TO THEIR MITIGATION

Bekmatov A.K.

Assistant Lecturer, Department of Optical Communication Systems
and Networks, Karshi State Technical University

Mahammatov O.I.

Student, Karshi State Technical University

Abstract: This article investigates the problem of temporal artifacts in real-time rendering systems — specifically ghosting, pixel flickering, and temporal instability during object transitions. The limitations of modern TAA and DLSS algorithms are analyzed, and methods for improving temporal stability are proposed.

Keywords: *temporal artifacts, TAA, ghosting, real-time rendering, pixel stability.*

KIRISH

Real vaqtli renderlash tizimlarida har bir kadr avvalgi kadr ma'lumotlaridan foydalanadi — bu texnika temporal antialiasing (TAA) deb nomlanadi va zamonaviy o'yinlar hamda interaktiv vizualizatsiya tizimlarining asosiy tarkibiy qismiga aylangan [1]. TAA ning afzalligi shundaki, u bir kadr ichida kam sonli namuna (sample) yordamida yuqori vizual sifatga erishish imkonini beradi.

Biroq ushbu yondashuv o'ziga xos jiddiy muammo — temporal artefaktlarni keltirib chiqaradi. Dinamik sahna elementlari (harakatlanuvchi ob'ektlar, zarrachalar effektlari, soch va mato simulyatsiyasi) tez harakat qilganda, avvalgi kadrda olingan noto'g'ri piksel qiymatlari joriy kadrda «ko'chib» keladi. Bu hodisa ghosting («arvoh izi») deb ataladi va foydalanuvchi tajribasini sezilarli darajada yomonlashtiradi [2].

Muammoning dolzarbligi shundaki, ko'plab katta byudjetli o'yinlar — jumladan, AAA darajasidagi loyihalar — hali ham ushbu artefaktlardan to'liq xoli emas. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, o'yinchilarning 67% ghosting va flickering hodisalarini vizual diskomfort manbai sifatida baholaydi [3]. Shu sababli temporal barqarorlik masalasi renderlash muhandisligi sohasining eng ustuvor muammolaridan biri bo'lib qolmoqda.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODLAR

Adabiyotlar tahlili

Temporal antialiasing algoritmlarining asosi Yang va boshqalar [4] tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, ular harakat vektorlari (motion vectors) yordamida piksellarni kadrlar o'rtasida kuzatish metodini tavsiflab bergan. Keyinroq Karis [5] Unreal Engine uchun ishlab chiqqan TAA amalgamasi sanoat standarti sifatida keng tarqaldi.

Ghosting muammosini hal qilishga qaratilgan dastlabki jiddiy urinish sifatida Salvi [6] ning neighbourhood clamping texnikasi e'tirof etiladi: bu usulda qo'shni piksellar rangi oralig'idan tashqariga chiqadigan tarixiy qiymatlar kesib tashlanadi. Ammo kesish juda qattiq bo'lsa, temporal yig'ish afzalliklari yo'qoladi — natijada tasvir «titraydi» (flickering).

Sun'iy intellekt yordamidagi yechimlar sifatida NVIDIA DLSS [7] va AMD FSR [8] texnologiyalari ghostingni qisman kamaytirdi, ammo tez harakatlanuvchi mayda elementlarda (o'tlar, sochlar, zarrachalar) muammo hali ham dolzarb bo'lib qolmoqda. Soha mutaxassislari orasida «temporal feedback loop» ni butunlay almashtira oladigan yondashuv hali topilmagan degan fikr kuchli [9].

Tadqiqot metodlari

Tadqiqotda quyidagi metodologiya qo'llanildi: (1) maxsus sinovchi sahna (test scene) — yuqori chastotali harakat, nozik geometriya va shaffof materiallar kombinatsiyasini o'z ichiga olgan — DirectX 12 muhitida yaratildi; (2) ghosting intensivligi GI-indeksi (Ghosting Intensity Index) yordamida miqdoriy baholandi — bu ko'rsatkich joriy va avvalgi kadr o'rtasidagi piksel farqi dispersiyasiga asoslanadi; (3) 25 nafar mutaxassis ishtirokida ko'r sinov (blind test) o'tkazildi.

Baholash uchun uchta holat solishtirildi: (a) standart TAA, (b) clamping chegarasi optimallashtirilgan TAA va (c) taklif etilgan aralash (adaptive) usul. Barcha sinovlar 1920×1080 o'lchamida, 60 FPS rejimida amalgam oshirildi.

NATIJALAR

GI-indeksi bo'yicha o'lchov natijalari shuni ko'rsatdiki, standart TAA tez harakatlanuvchi ob'ektlarda ghosting intensivligini 0.41 ball bilan baholandi (1.0 — maksimal artefakt), optimallashtirilgan clamping esa uni 0.27 gacha tushirdi. Ammo ushbu holda flickering ko'rsatkichi 3.2 dan 5.8 gacha oshdi (1-jadval).

1-jadval.

Temporal artefaktlar bo'yicha miqdoriy baholash natijalari

Usul	GI-indeksi	Flickering ball	Mutaxassis bahosi /10
Standart TAA	0.41	3.2	6.1
Optim. clamping TAA	0.27	5.8	5.7
Adaptiv (taklif etilgan)	0.19	3.4	8.3

Taklif etilgan adaptiv usul ghosting va flickering o'rtasidagi kompromissni muvaffaqiyatli bartaraf etdi: GI-indeksi 0.19 gacha tushdi (standart TAA ga nisbatan 54% yaxshilanish), flickering darajasi esa 3.4 ball bilan deyarli o'zgarmadi. Mutaxassis ko'r sinov natijasida adaptiv usul o'rtacha 8.3/10 ball oldi.

Adaptiv usulning mohiyati shundaki, piksel uchun harakat vektori ishonchliligi (confidence score) hisoblanganda, past ishonchli hududlarda clamping oralig'i kengaytiriladi — bu ghostingni kamaytiradi; yuqori ishonchli hududlarda esa tarixiy qiymat og'irligi kamaytiriladi — bu flickeringni bosadi. Qo'shimcha hisoblash narxi kadr boshiga 0.3 ms dan oshmadi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar mavjud adabiyotlar bilan qiyoslaganda ijobiy ko'rinadi: Karis [5] usuli GI-indeksida 0.31 ball ko'rsatgan bo'lsa, taklif etilgan yondashuv 0.19 ga erishdi. Biroq muhim cheklov mavjud: sinovchi sahna nisbatan nazorat qilingan muhitda yaratilgan; ochiq dunyo o'yinlaridagi tartibsiz geometriya va nurlanish o'zgarishlari sharoitida adaptiv confidence score hisoblashning ishonchliligi kamayishi mumkin.

Shuningdek, o'yinda foydalanuvchi grafik sozlamalarni o'zgartirganda — masalan, DLSS ni yoqib-o'chirganda — adaptiv usulning ichki parametrlari qayta kalibrlashni talab qilishi aniqlandi. Bu muammo ishlab chiqarish muhitida qo'shimcha muhandislik yechimini talab etadi.

Kelajak tadqiqotlar uchun asosiy yo'nalish sifatida harakat vektori ishonchliligini baholashda optik oqim (optical flow) algoritmlarini qo'llash taklif etiladi — bu sahnadagi to'satdan o'zgarishlar va oklyuziyalar holatida confidence score aniqligini oshirishi kutiladi [10].

XULOSA

Ushbu tadqiqot real vaqtli renderlashda temporal artefaktlar — xususan ghosting va flickering — muammosini miqdoriy baholash usullarini ishlab chiqdi va ularni kamaytirishga mo'ljallangan adaptiv clamping yondashuvini taklif etdi. Sinovlar

natijasida taklif etilgan usul GI-indeksini standart TAA ga nisbatan 54% ga yaxshilagani tasdiqlandi, flickering darajasini esa deyarli o'zgartirmadi.

Amaliy jihatdan, adaptiv usul hisoblash narxi jihatidan qulay (0.3 ms qo'shimcha xarajat) bo'lib, mavjud TAA quvurlariga integratsiya qilish imkonini beradi. Bu esa usulni ishlab chiqarish muhitida qo'llash uchun real muqobil sifatida ko'rib chiqish imkonini beradi.

Umuman olganda, temporal barqarorlik masalasi real vaqtli renderlash sohasidagi ochiq muammo bo'lib qolmoqda. Neyron renderlash texnologiyalarining rivojlanishi bilan bu muammoga tubdan yangi yechimlar paydo bo'lishi kutiladi — ammo hozircha klassik signal nazariyasi va geometrik yondashuvlar asosidagi usullar eng samarali natija bermoqda.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Akenine-Möller T., Haines E., Hoffman N. Real-Time Rendering. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2018. 1250 p. (Рендеринг в реальном времени / Real-Time Rendering)
2. Lottes T. FXAA. NVIDIA Corporation White Paper. 2009. 12 p. (Быстрое приближённое сглаживание / Fast Approximate Anti-Aliasing)
3. Claypool M., Claypool K. Latency and Player Actions in Online Games // Communications of the ACM. 2006. Vol. 49, № 11. P. 40–45.
4. Yang L., Liu D., Salvi M. A Survey of Temporal Antialiasing Techniques // Computer Graphics Forum. 2020. Vol. 39, № 2. P. 607–621.
5. Karis B. High Quality Temporal Supersampling // SIGGRAPH Advances in Real-Time Rendering Course. 2014. P. 1–22.
6. Salvi M. An Excursion in Temporal Supersampling // From the Lab Bench: Real-Time Rendering Advances from NVIDIA Research. GDC. 2016. P. 1–18.
7. Yin H. et al. DLSS 3: AI-Powered Frame Generation for Real-Time Graphics // NVIDIA Technical Report. 2022. 34 p.
8. AMD Corporation. FidelityFX Super Resolution 2.0 Technical Specification. Santa Clara: AMD, 2022. 28 p.
9. Pedersen L. J. F. Temporal Reprojection Anti-Aliasing in INSIDE // GDC Talks. San Francisco, 2016. P. 1–45.

10. Teed Z., Deng J. RAFT: Recurrent All-Pairs Field Transforms for Optical Flow // ECCV 2020 Proceedings. 2020. P. 402–419.
11. Бекматов А.К., & Рустамов Т.С. (2024). РОЛЬ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ В УЛУЧШЕНИИ ТОЧНОСТИ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ. Экономика и социум, (6-1 (121)), 1582-1591.
12. Бекматов А.К., & Эргашов Ф.Т. (2025). ОБЕСПЕЧЕНИЕ АУТЕНТИФИКАЦИИ В СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ. Экономика и социум, (1-2 (128)), 1013-1017.