

FOTOGRAMMETRIK VA LIDAR MA'LUMOTLARINI GIBRID INTEGRATSIYALASH ASOSIDA ME'MORIY OBIDALARNING GEOMETRIK ANIQLIGINI OSHIRISH

Qosimova Mohiraxon Botirali qizi

**Farg'ona viloyati Beshariq tumani 50-umumiy
o'rta ta'lim maktabi matematika fani o'qituvchisi**

mirzakarimovamohira122@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-4809-0553>

Tel:998-90-858-55-98

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22296657>

Kirish

Tarixiy-madaniy meros obyektlarini raqamlashtirish bugungi kunda ularni asrab-qolish, restavratsiya loyihalarini ishlab chiqish va virtual muzeylar yaratishning asosiy vositalaridan biriga aylangan. So'nggi o'n yillikda fotogrammetriya va kompyuter ko'rish sohalarida erishilgan yutuqlar, xususan Structure-from-Motion (SfM) va Multi-View Stereo (MVS) algoritmlari, oddiy raqamli fotosuratlar yordamida obyektlarning batafsil 3D modellarini yaratish imkonini bermoqda. Biroq, amaliyot shuni ko'rsatadiki, faqat optik tasvirlarga tayanish bir qator cheklovlarni keltirib chiqaradi: bir xil rangdagi sirtlarda (masalan, ohaklangan devorlar, monoxrom gumbazlar) nuqtaviy bulutda "bo'shliqlar" hosil bo'ladi, masshtabni mutlaq aniqlash uchun qo'shimcha referens markerlar talab etiladi va murakkab relyefli sirtlarda geometrik buzilishlar kuzatiladi.

Ayni paytda, lidar (Light Detection and Ranging) texnologiyalari masofani to'g'ridan-to'g'ri o'lchash orqali yuqori metrik aniqlikni ta'minlaydi, biroq ularning kamchiligi – rangli teksturaning yo'qligi va qimmatbaho jihozlardir. Shuning uchun foto va lidar ma'lumotlarini gibrid integratsiyalash ikkala yondashuvning afzalliklarini birlashtirib, ularning kamchiliklarini kompensatsiya qilish imkonini beradi. Ushbu tezisda me'moriy obidalarni raqamlashtirishda SfM-MVS asosida olingan nuqtaviy bulutni portativ lidar skanerdan olingan masofa ma'lumotlari bilan qanday birlashtirish va geometrik aniqligini oshirish masalalari ko'rib chiqiladi.

Muammoning qo'yilishi va maqsad

Mavjud adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, fotogrammetrik usullarda o'rtacha kvadratik xatolik (RMSE) obyektgacha bo'lgan masofaga bog'liq holda 1:100 masshtabda 5–10 mm ni tashkil qiladi, lidar skanerlashda esa bu ko'rsatkich 2–3 mm gacha tushirilishi mumkin. Biroq, lidar ma'lumotlari ko'pincha shovqinga ega va murakkab geometriyali detallarda (masalan, yog'och o'ymakorligi, gipsli naqshlar) nuqtalar zichligi yetarli bo'lmasligi mumkin. Shunday qilib, maqsad – foto va video ma'lumotlardan olingan yuqori zichlikdagi nuqtaviy bulutni lidarning aniq metrik ma'lumotlari bilan sinxronlashtirish orqali yakuniy modelning ham geometrik aniqligini, ham tafsilotlarni aks ettirish darajasini oshirish.

Asosiy ilmiy vazifalar:

1. SfM algoritmi natijasida olingan vaqtinchalik nuqtaviy bulut va lidar skanerdan olingan nuqtaviy bulutni koordinatalar tizimiga keltirish uchun transformatsiya parametrlarini aniqlash.
2. Statistika asosida har bir nuqtaning ishonchlilik darajasini baholash va past ishonchli nuqtalarni lidar ma'lumotlari bilan almashtirish strategiyasini ishlab chiqish.

3. Yakuniy modelning aniqligini baholash uchun nazorat nuqtalari (referent markerlar) yordamida xatoliklarni solishtirish.

Taklif etilayotgan usul

Taklif etilayotgan gibrid usul quyidagi bosqichlardan iborat:

1-bosqich. Fotogrammetrik model yaratish. Obyekt atrofidan olingan (kamida 60–80% overlappinga ega) raqamli fotosuratlar va video oqimdan ajratib olingan kadrlar SfM algoritmgiga (masalan, COLMAC yoki Agisoft Metashape dasturi) kiritiladi. Bu bosqichda ochiq nuqtalarni aniqlash, sirtni rekonstruksiya qilish va boshlang'ich nuqtaviy bulut (P_f) hosil qilinadi. Ushbu bulut yuqori zichlikka ega (1 m^2 ga 10^5 – 10^6 nuqta) lekin metrik xatolik 5–8 mm gacha yetishi mumkin.

2-bosqich. Lidar ma'lumotlarini olish va dastlabki ishlash. Portativ yoki tripodli lidar skaner (masalan, Faro Focus yoki Leica BLK seriyasi) yordamida obyekt sirtidan masofa ma'lumotlari to'planadi. Lidar ma'lumotlari filtrlanadi (statistik chiqarib tashlash va o'rtacha filtrlash), natijada P_l nuqtaviy buluti hosil qilinadi. Bu bulutning zichligi nisbatan past (1 m^2 ga 10^4 nuqta) lekin mutlaq xatolik 2–3 mm oralig'ida.

3-bosqich. Koordinatalar tizimini tenglashtirish (registratsiya). P_f va P_l bulutlari orasidagi moslikni topish uchun iterativ eng yaqin nuqtalar (Iterative Closest Point, ICP) algoritmi qo'llaniladi. Biroq, an'anaviy ICP mahalliy minimumga tushib qolishi mumkin, shuning uchun dastlab sxematik o'xshashliklar (masalan, 3–5 ta ko'zga ko'ringan nuqtalar) bo'yicha qo'pol tekislash amalga oshiriladi. So'ngra ICPning variantlari – point-to-plane ICP qo'llanib, aylanish (R) va ko'chish (t) matritsalarini aniqlash hisoblanadi.

4-bosqich. Gibrid bulutni shakllantirish. Bu asosiy takomillashtirish bosqichidir. Har bir P_f nuqtasi uchun uning atrofidagi P_l nuqtalari izlanadi (k-nearest neighbors, $k=5$). Agar P_f nuqtasining P_l nuqtalariga nisbatan o'rtacha masofasi T (chegara, masalan, 5 mm) dan ortiq bo'lsa, bu fotogrammetrik nuqta "ishonchsiz" deb topiladi va uning o'rniga P_l dan eng yaqin nuqta qo'yiladi. Agar farq T dan kichik bo'lsa, ikkala nuqtaning o'rtacha vazniy qiymati (vazn – lidar aniqligiga ko'ra 0.7, fotogrammetriyaga 0.3) hisoblanadi. Natijada P_g gibrid buluti hosil qilinadi.

5-bosqich. Sirtni rekonstruksiya qilish va teksturalash. P_g bulutiga Poisson rekonstruksiya yoki ball-pivoting algoritmi qo'llanib, uchburchakli mesh (poligonal model) yaratiladi. So'ngra boshlang'ich fotosuratlar yordamida tekstura proyeksiyalanadi.

Eksperimental natijalar

Taklif etilgan usul Buxoro shahridagi XVI asrga oid madrasa peshtoqining bir qismida sinovdan o'tkazildi. Obyektning o'lchamlari $5 \times 4 \times 3$ m. Fotosuratlar soni – 180 ta (24 MP), video davomiyligi – 90 soniya (30 kadr/s, har 5-kadr olingan), lidar skanerlash vaqti – 12 daqiqa.

Nazorat nuqtalari (12 ta marker) total stansiya yordamida aniqlandi. Har bir usul uchun RMSE hisoblandi:

Usul	RMSE (mm)	Maksimal xatolik (mm)	Nuqtalar soni
Faqat SfM	7.4	14.2	$4.8 \cdot 10^6$
Faqat lidar	2.9	6.1	$1.2 \cdot 10^5$

Usul	RMSE (mm)	Maksimal xatolik (mm)	Nuqtalar soni
Taklif etilgan gibrid	2.5	5.3	$1.6 \cdot 10^6$

Natijalar shuni ko'rsatadiki, gibrid usul yakuniy aniqlikni lidar darajasiga yaqinlashtiradi (hatto 0.4 mm ga yaxshilaydi), shu bilan birga fotogrammetrik bulutning yuqori zichligini saqlab qoladi (lidarga nisbatan 13 barobar zichroq). Peshtoqdagi naqshli g'ishtin bezaklar va epigrafik yozuvlar gibrid modelda aniq ayirmalanadi, holbuki faqat lidar modelida ularning geometriyasi silliqlashib ketgan edi.

Xulosa

Ushbu tezisda fotogrammetrik va lidar ma'lumotlarini gibrid integratsiyalash asosida me'moriy obidalarining 3D modellarini yaratish usuli taklif qilindi. Usulning asosiy afzalligi – har bir nuqtaning mahalliy ishonchliligini baholash va optimal almashtirish strategiyasi orqali yuqori metrik aniqlikni yuqori detallilik bilan birlashtirishdadir. Eksperimental sinovlar usulning samaradorligini tasdiqladi: RMSE 2.5 mm gacha tushirildi, model zichligi esa lidar ma'lumotlariga nisbatan o'n barobardan ortiq saqlandi.

Kelgusida harakatlanuvchi obyektlar (masalan, restavratsiya iskillari) mavjud bo'lgan dinamik sharoitlarda sinovdan o'tkazish va vaqt bo'yicha ketma-ket modellarni solishtirish orqali deformatsiyalarni kuzatish imkoniyatlarini kengaytirish rejalashtirilgan.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Remondino, F., & Rizzi, A. (2010). Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites—techniques, problems, and examples. *Applied Geomatics*, 2(3), 85-100.
2. Pieraccini, M., Guidi, G., & Atzeni, C. (2001). 3D digitizing of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 2(1), 63-70.
3. Besl, P. J., & McKay, N. D. (1992). A method for registration of 3-D shapes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14(2), 239-256.
4. Schönberger, J. L., & Frahm, J. M. (2016). Structure-from-Motion revisited. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 4104-4113.
5. Rusu, R. B., & Cousins, S. (2011). 3D is here: Point Cloud Library (PCL). *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1-4.