5 дәріс

Жердегі лазерлік сканерлеу нәтижелеріндегі қателіктердің көздері

Алматы, 2026 жыл

Мақсат, міндеттер және жоспар

Мақсат: TLS нәтижелеріндегі қателіктер көздерін зерттеп, олардың өлшеу дәлдігіне әсерін және деректер сапасын арттыру жолдарын көрсету.

1. *Теориялық негіздер*

   Жұмыс принципін түсіндіру.

2. *Қателіктер көздері*

   Аспаптық, нысандық, атмосфералық және өңдеу қателерін талдау.

3. *Дәлдікті бағалау*

   Есептеу және арттыру әдістерін қарастыру.

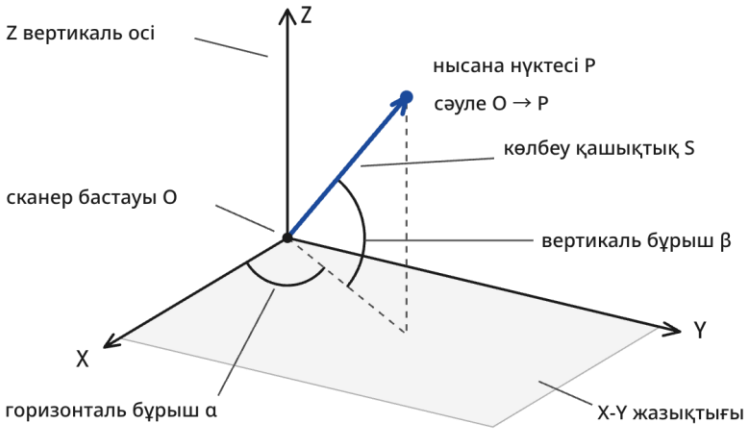
ЖОСПАР

Жалпы түсінік
→ қателіктер көздері
→ ұйымдастыру және өңдеу
→ дәлдікті бағалау
→ қорытынды

TLS ұғымы және жұмыс істеу принципі

TLS — жер бетінде орналасқан лазерлік аспап арқылы нысанның үшөлшемді координаталарын қашықтан анықтау технологиясы.

Сканерлеу нәтижесі миллиондаған нүктеден тұратын нүктелер бұлтына айналады.



Қателіктердің жіктелуі және аспаптық көздер

Жүйелік

Калибрлеу, оптикалық және геометриялық сәйкессіздіктен заңды түрде қайталанады.

Кездейсоқ

Сигнал шуынан және орта тұрақсыздығынан туындайды.

Өрескел

Қате орнату, нысанды дұрыс тіркемеу немесе өңдеу қатесі.

Аспаптық себептер: қашықтық блогы, энкодерлер, айналу осьтері, оптика және температура әсері.



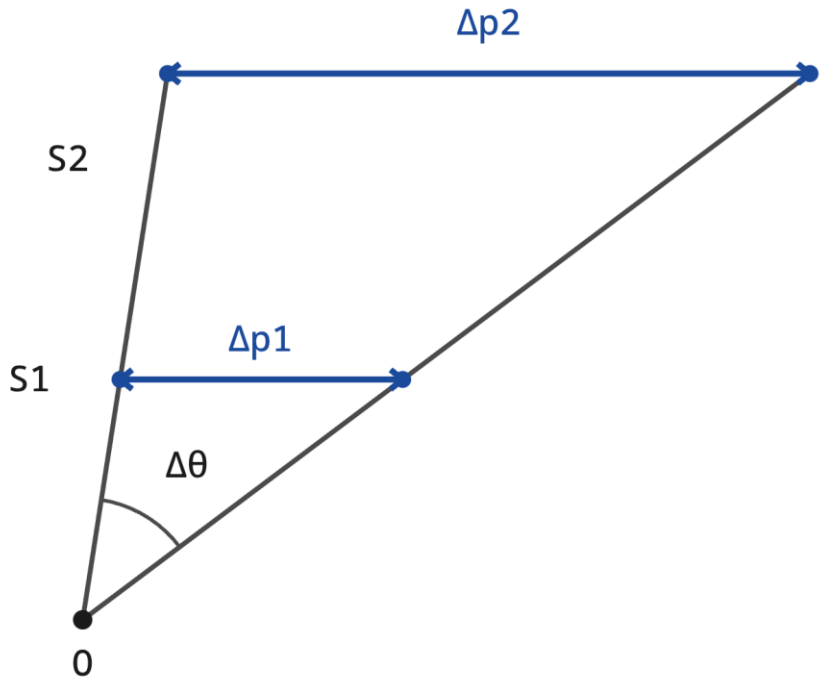
Аспаптық түйіндер және калибрлеу аймақтары

Қашықтық және бұрыштық өлшеу қателіктері

- *Қашықтық қатесі сигналдың таралуы, әлсіз шағылу, шу және көпсәулелі қабылдаудан пайда болады.*
- *Бұрыштық қате энкодерге, айналу механизміне және осьтер калибріне байланысты.*
- *Қашықтық артқанда бірдей бұрыштық қате үлкен сызықтық ығысу береді.*

$$\Delta p \approx S \times \Delta\theta$$

Жуық формула: Δθ — радианмен берілген бұрыштық қате.



Нысан беті мен атмосфераның әсері

Бет қасиеттері

Түс, шағылдыру қабілеті, кедір-бұдырлық және материал сигнал сапасын өзгертеді.

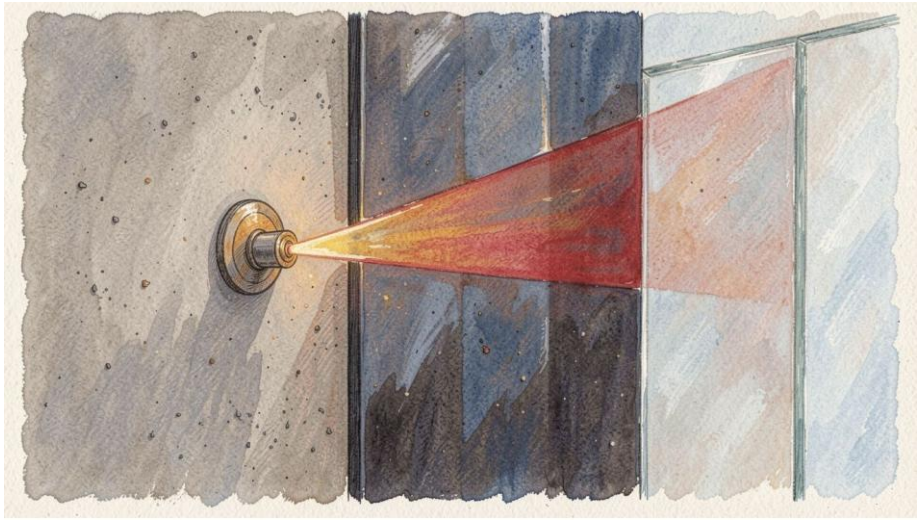
Қиын беттер

Қара, жылтыр, мөлдір беттер және жиектер аралас сигнал мен жалған нүкте тудыруы мүмкін.

Атмосфера

Температура, қысым, ылғалдылық, тұман, шаң, жаңбыр және қар өлшеуге әсер етеді; жел штатив тұрақтылығын бұзады.

Шешім: *бірнеше бағыттан сканерлеу, қолайлы метеожағдайды таңдау және атмосфералық түзету.*



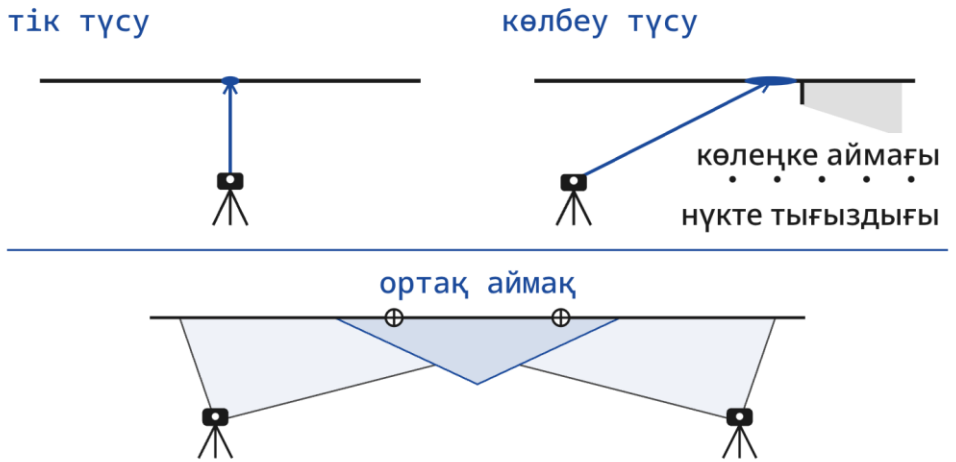
Беттен шағылу және атмосфералық орта

Сканерлеу геометриясы және станцияны жоспарлау

Сәуле бетке тік түскенде дақ ықшам, көлбеу түскенде созылыңқы болады. Алыс қашықтық нүкте аралығын ұлғайтып, ұсақ бөлшектерді тіркеуді қиындатады.

Орнықсыз штатив, горизонттаудың сақталмауы, қозғалыстағы нысандар және ортақ аймақтың аздығы дерек сапасын төмендетеді.

Станциялар, қашықтық, нүкте тығыздығы және бақылау нысаналары алдын ала жоспарланады.

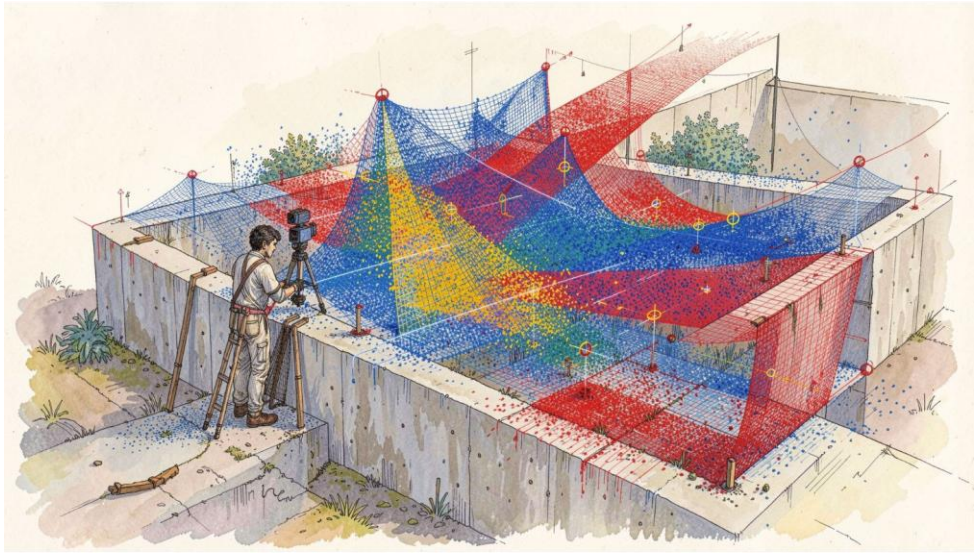


Нүктелер бұлтын біріктіру және өңдеу

Registration әр станциядан алынған бұлттарды бірыңғай координаталар жүйесіне келтіреді.

- *Қателер бақылау нысаналарын қате танудан, ортақ геометрияның аздығынан және түрлендіру параметрлерінен пайда болады.*
- *ICP бастапқы сәйкестендіру сапасына және нысан геометриясына тәуелді.*

Сүзгілеу, артық нүктелерді жою және бақылау нүктелерімен тексеру қажет. Төмен тіркеу қалдығы абсолюттік дәлдікті толық дәлелдемейді.



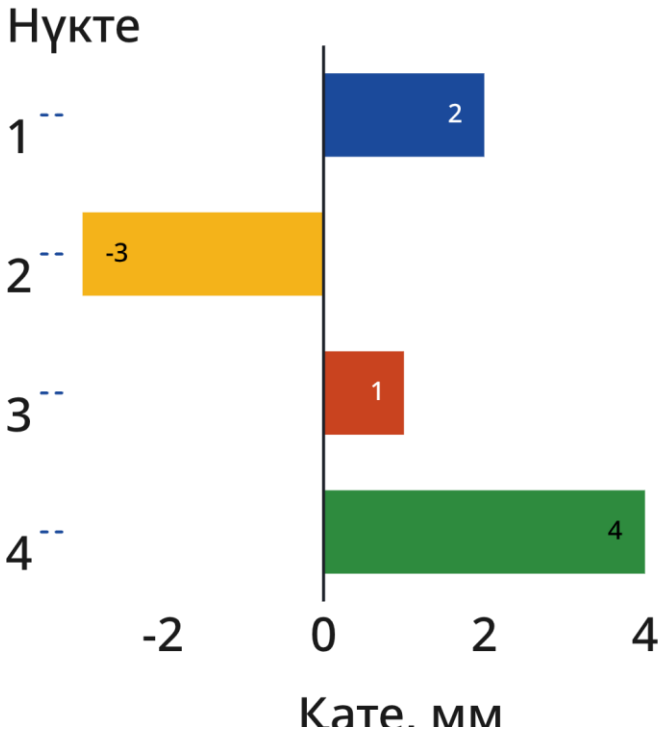
Тіркеу алдындағы және кейінгі нүктелер бұлты

Қателіктерді есептеу және RMSE

$$\Delta X = X_{\text{өлш}} - X_{\text{эталон}}, \quad \Delta Y = Y_{\text{өлш}} - Y_{\text{эталон}}, \quad \Delta Z = Z_{\text{өлш}} - Z_{\text{эталон}}$$

$$\mathrm{RMSE} = \left(\frac{\Sigma(\Delta_i^2)}{n} \right)^{1/2}$$

2, −3, 1 және 4 мм үшін: √[(4+9+1+16)/4] = √7,5 ≈ **2,74 мм**.



Бақылау нүктелеріндегі координаталық қателіктер

Қателіктерді азайту және сапаны бақылау

1

Техникалық жағдай

Аспаптың техникалық жағдайы мен калибрлеуін тексеру.

2

Станция жоспары

Станцияларды тиімді орналастыру және нысанды бірнеше бағыттан түсіру.

3

Өңдеу бақылауы

Артық нүктелерді сүзгілеу, тіркеуді бағалау, бақылау нүктелерімен тексеру.

4

Стандарт

Қайталану дәлдігін бағалауда ISO 17123-9:2018 стандартын ескеру.

Негізгі қорытынды

Қателіктерді толық жою мүмкін емес, бірақ оларды анықтап, сандық бағалап, түзетуге болады.



Қорытынды

Жердегі лазерлік сканерлеу нәтижелеріндегі қателіктер кеңістіктік деректердің сапасына және өлшеу дәлдігіне тікелей әсер ететін маңызды факторлар болып табылады. Зерттеу барысында негізгі қателік көздеріне аспаптық дәлсіздіктер, қашықтық пен бұрыштық өлшеу қателіктері, нысан бетінің физикалық қасиеттері, атмосфералық жағдайлар, сканерлеу геометриясы және деректерді өңдеу кемшіліктері жататыны анықталды.

Қателіктерді дұрыс жіктеу олардың пайда болу себептерін түсінуге және тиісті түзету әдістерін таңдауға мүмкіндік береді.

Өлшеу дәлдігін қамтамасыз ету үшін аспаптарды тексеру, сканерлеуді дұрыс жоспарлау, бақылау өлшеулерін орындау және нүктелер бұлтын сапалы өңдеу қажет.

Осылайша, лазерлік сканерлеу нәтижелерінің қателіктерін зерттеу және бағалау инженерлік геодезияда, құрылыс мониторингінде, картографияда және үшөлшемді модельдеу жұмыстарында жоғары сапалы кеңістіктік ақпарат алудың маңызды шарты болып табылады.

Бақылау сұрақтары

1. Жердегі лазерлік сканерлеу нәтижелеріндегі қателіктер қандай негізгі топтарға бөлінеді және олардың пайда болу себептері қандай?
2. Аспаптық қателіктер, атмосфералық жағдайлар және нысан бетінің физикалық қасиеттері лазерлік сканерлеудің дәлдігіне қалай әсер етеді?
3. Лазерлік сканерлеу нәтижелерінің дәлдігін бағалау үшін қандай әдістер мен математикалық көрсеткіштер қолданылады?

Пайдаланылған әдебиеттер

1.Muralikrishnan, B. (2021). *Performance Evaluation of Terrestrial Laser Scanners — A Review.* Measurement Science and Technology. https://doi.org/10.1088/1361-6501/abdae3

2.ISO 17123-9:2018. *Optics and Optical Instruments — Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments — Part 9: Terrestrial Laser Scanners.* https://www.iso.org/standard/68382.html

3.A Comprehensive Review of Mathematical Error Characterization and Mitigation Strategies in Terrestrial Laser Scanning. Remote Sensing, 2025. https://www.mdpi.com/2072-4292/17/14/2528

4.Scanning Geometry: Influencing Factor on the Quality of Terrestrial Laser Scanning Points. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2011. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.01.005

5.Lichti, D. D. (2007). *Error Modelling, Calibration and Analysis of an AM–CW Terrestrial Laser Scanner System.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2006.10.004