3 Дәріс

Жер бетіндегі лазерлік сканерлерде енгізілген бұрыштық мәндерді өлшеу әдістері

Мақсаты

Жер бетіндегі лазерлік сканерлердің бұрыштық өлшеу жүйелерінің жұмыс істеу принциптерін зерттеу, горизонталь және вертикаль бұрыштарды анықтау әдістерін түсіндіру, сондай-ақ олардың үшөлшемді координаталарды есептеудегі рөлі мен өлшеу дәлдігіне әсерін талдау.

Міндеттері

- Жер бетіндегі лазерлік сканерлеудің теориялық негіздерін қарастыру.
- Лазерлік сканерлердің құрылымы мен негізгі өлшеу элементтерін сипаттау.
- Горизонталь және вертикаль бұрыштарды өлшеу әдістерін анықтау.
- Электрондық бұрыштық энкодерлердің жұмыс принципін түсіндіру.
- Бұрыштық өлшеулердің дәлдігін және қателік көздерін бағалау.
- Бұрыштық өлшеу технологияларының геодезиядағы қолданылуын көрсету.

Жоспар

01 Жер бетіндегі лазерлік сканерлеудің жалпы түсінігі.

02 Лазерлік сканердің құрылымы және бұрыштық өлшеу жүйесі.

03 Лазерлік сканердің бұрыштық өлшеу принципі

04 Оптикалық-электрондық бұрыш өлшеу әдісі

05 Бұрыштық энкодерлердің негізгі түрлері

06 Бұрыштық өлшеулердегі негізгі қателік көздері

07 Бұрыштық өлшеу технологияларының геодезиядағы қолданылуы

08 Қорытынды

09 Бақылау сұрақтары

10 Пайдаланылған әдебиеттер.



Жер бетіндегі лазерлік сканерлеудің жалпы түсінігі

Жер бетіндегі лазерлік сканерлеу (Terrestrial Laser Scanning — TLS) — жергілікті жердегі нысандардың кеңістіктік координаталарын лазер сәулесінің көмегімен қашықтан анықтайтын заманауи геодезиялық технология.

Бұл технология нысанның беткі қабатынан шағылған лазерлік сигналдарды тіркеуге және жоғары тығыздықтағы үшөлшемді нүктелер жиынтығын қалыптастыруға негізделген. Әрбір өлшенген нүкте қашықтық, горизонталь бағыт және вертикаль бұрыш арқылы анықталады.

Лазерлік сканерлеудің негізгі артықшылықтары — өлшеу жылдамдығының жоғары болуы, нысанның геометриялық пішінін толық сипаттау, күрделі құрылымдарды жанаспай өлшеу және алынған деректер негізінде 3D модельдер жасау мүмкіндігі.

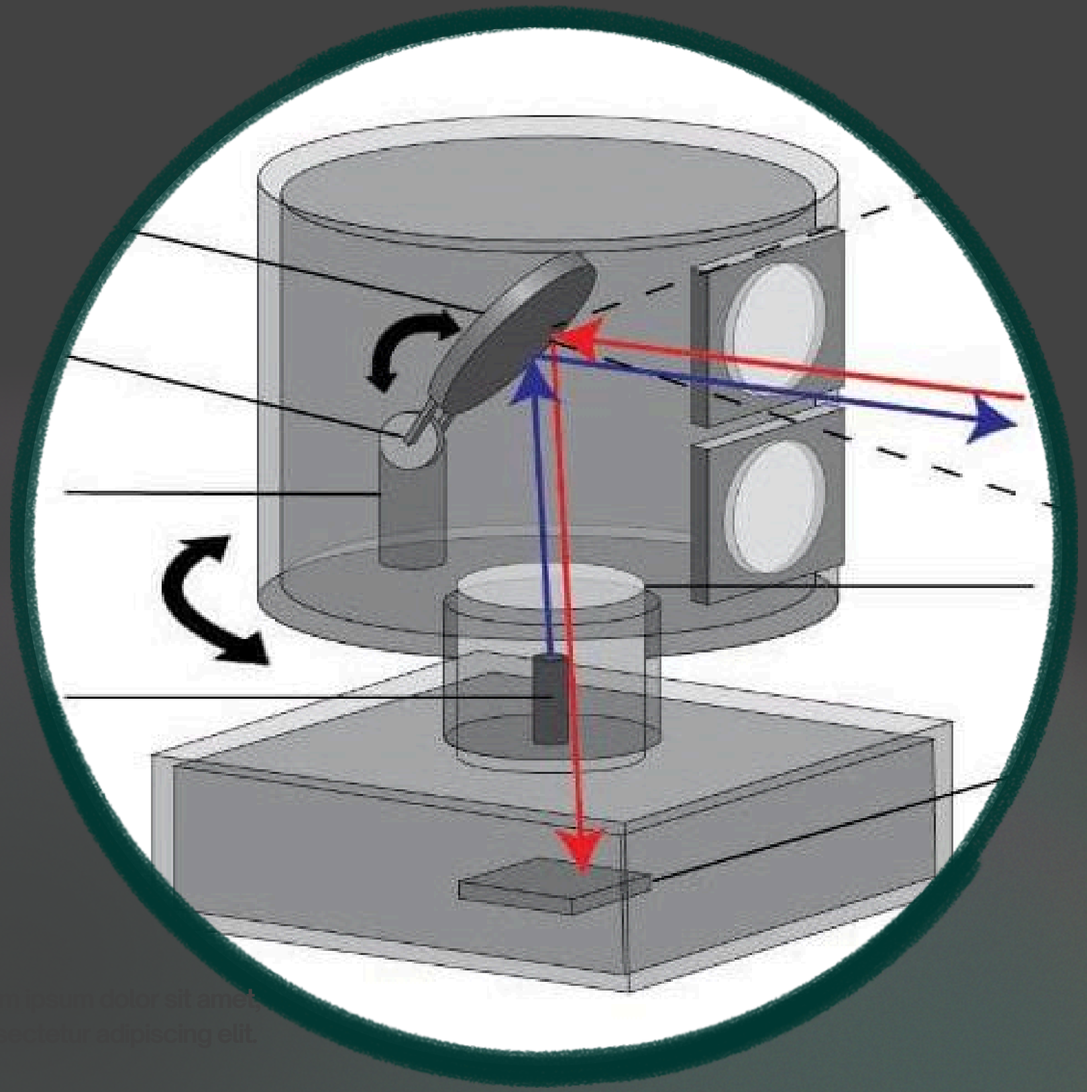
Бұрыштық өлшеулер лазер сәулесінің кеңістіктегі бағытын анықтайтындықтан, олар сканерлеудің геометриялық дәлдігін қамтамасыз ететін маңызды элемент болып саналады.

Лазерлік сканердің құрылымы және негізгі элементтері

Жер бетіндегі лазерлік сканер — оптикалық, механикалық және электрондық компоненттерден тұратын күрделі өлшеу аспабы. Оның құрылымы лазер сәулесін қажетті бағытқа жіберуге, шағылған сигналды қабылдауға және нысанның кеңістіктік координаталарын анықтауға мүмкіндік береді.

Негізгі құрамдас бөліктері:

- Лазерлік сәуле таратқыш — нысанға бағытталған лазерлік сигналды қалыптастырады.
- Оптикалық қабылдағыш — нысаннан шағылған сигналды қабылдайды.
- Айналмалы айна немесе призма — лазер сәулесінің бағытын өзгертеді.
- Бұрыштық энкодерлер — айналу бұрыштарын өлшеп, электрондық түрде тіркейді.
- Қашықтық өлшеу блогы — сканер мен нысан арасындағы арақашықтықты анықтайды.
- Басқару және есептеу жүйесі — өлшеу нәтижелерін өңдеп, кеңістіктік координаталарды есептейді.



Лазерлік сканердің бұрыштық өлшеу принципі

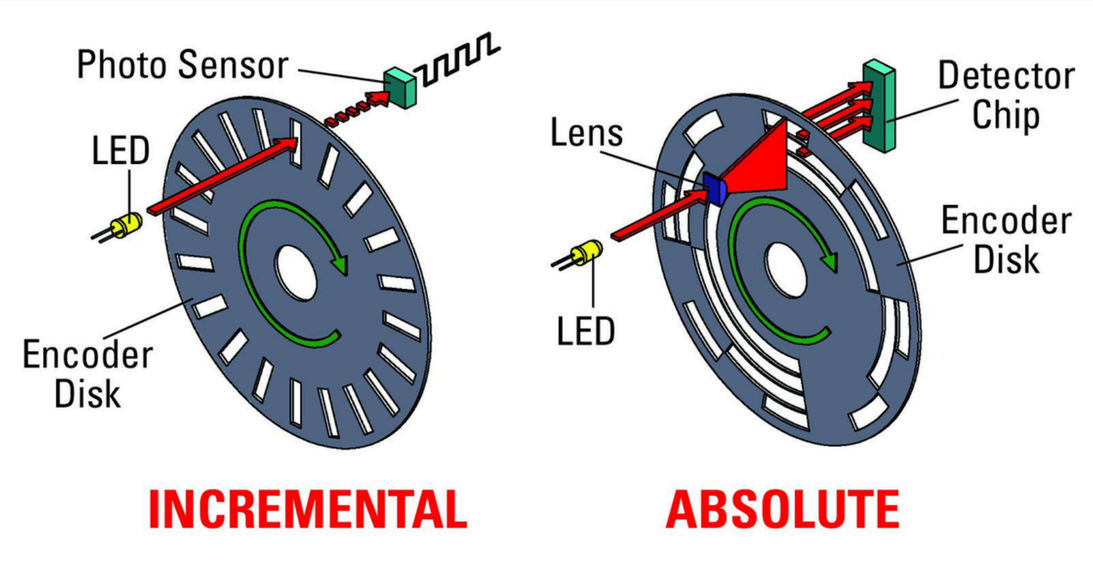
Лазерлік сканердің бұрыштық өлшеу принципі сәуленің горизонталь және вертикаль жазықтықтардағы бағытын дәл анықтауға негізделеді. Құрылғының айналмалы механизмдері лазер сәулесін әртүрлі бағыттарға жібереді, ал бұрыштық датчиктер сол сәттегі бұрылу шамаларын үздіксіз тіркейді.
Өлшеу процесінде сканердің корпусы вертикаль ось бойымен айналады. Сонымен қатар айналмалы айна лазер сәулесін вертикаль бағытта бұрады. Осы екі қозғалыстың нәтижесінде аспап қоршаған кеңістіктегі көптеген нүктелерді сканерлейді.

ГОРИЗОНТАЛЬ БҰРЫШТАРДЫ ӨЛШЕУ ӘДІСІ

Горизонталь бұрыш — сканердің горизонталь жазықтықтағы бастапқы бағыты мен нысанға бағытталған лазер сәулесінің горизонталь проекциясы арасындағы бұрыш.
Жер бетіндегі лазерлік сканерлерде горизонталь бұрыш, әдетте, аспаптың вертикаль ось айналасында бұрылуы арқылы өлшенеді. Айналу бұрышы арнайы электрондық энкодер көмегімен тіркеледі.
Энкодердің өлшеу шкаласы белгілі бұрыштық бөліктерге бөлінеді. Аспап айналған кезде датчик бұрыштық орын ауыстыруды анықтап, оның сандық мәнін басқару жүйесіне береді.
Горизонталь бұрыштық өлшеудің негізгі ерекшеліктері — автоматты тіркеу, жоғары жиілікте өлшеу мүмкіндігі және аспаптың толық шеңбер бойымен сканерлеуі.
Горизонталь бағыттарды өлшеу әсіресе ғимараттардың жоспарлық координаталарын, нысандардың орналасуын және горизонталь деформацияларын анықтауда маңызды.

ВЕРТИКАЛЬ БҰРЫШТАРДЫ ӨЛШЕУ ӘДІСІ

Вертикаль бұрыш — лазер сәулесінің горизонталь жазықтыққа қатысты көлбеу бұрышы. Ол нысанның биіктігін, кеңістіктегі орналасуын және беткі қабатының геометриясын анықтау үшін пайдаланылады.
Көптеген панорамалық жерүсті лазерлік сканерлерде вертикаль бағыттағы сканерлеу айналмалы айна немесе призма арқылы іске асырылады. Айна айналған кезде лазер сәулесі әртүрлі биіктіктегі нүктелерге бағытталады.
Айна механизмінің бұрыштық орны электрондық энкодер арқылы өлшенеді. Оптикалық жүйенің геометриясы ескеріле отырып, осы мәліметтерден лазер сәулесінің вертикаль бағыт бұрышы анықталады.
Вертикаль бұрыштарды өлшеу ғимарат биіктігін, қабырғалардың еңістігін, құрылыс элементтерінің ауытқуын, жер бедерінің өзгерістерін және инженерлік нысандардың деформацияларын зерттеуде қолданылады.



Оптикалық-электрондық бұрыш өлшеу әдісі

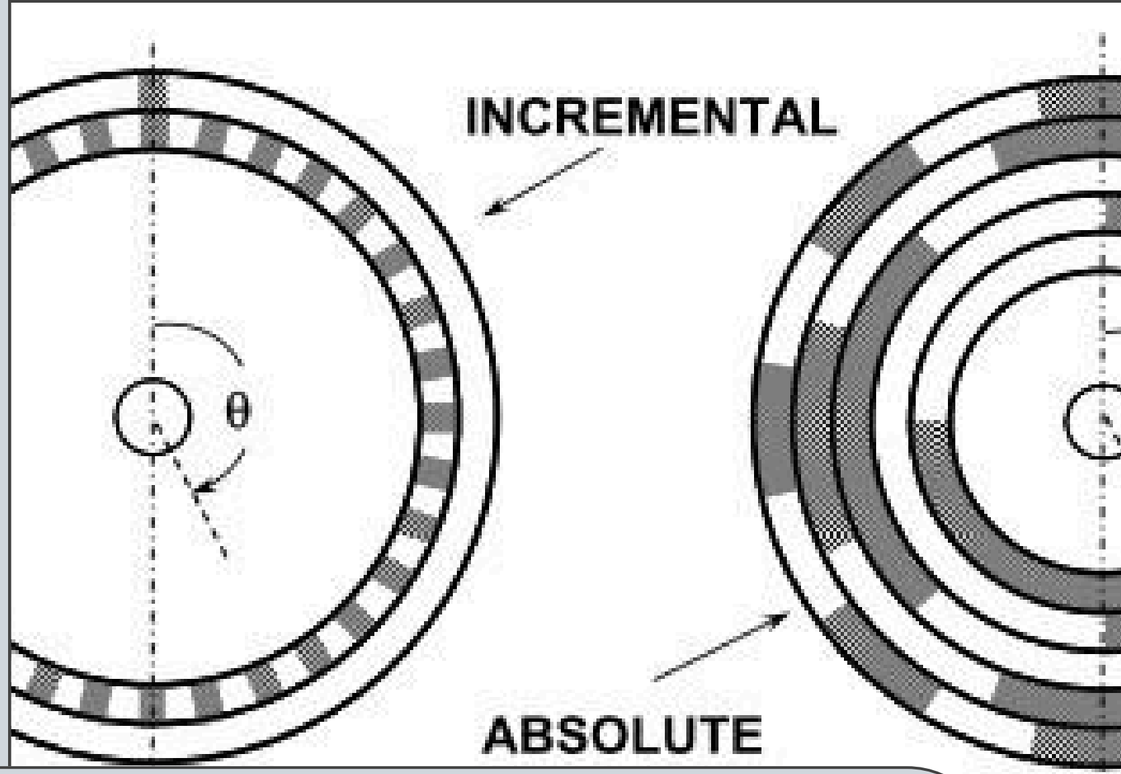
Оптикалық-электрондық әдіс — лазерлік сканердің айналмалы бөліктерінің бұрыштық орнын жарық сигналдары арқылы анықтау технологиясы.

Бұл әдісте оптикалық энкодер пайдаланылады. Энкодер жарық көзі, арнайы белгіленген диск немесе сақина, фотосезімтал қабылдағыш және электрондық сигнал өңдеу жүйесінен тұрады. Айналмалы механизм қозғалған кезде оптикалық шкала датчикке қатысты орын ауыстырады. Жарық сигналының өзгерістері электрондық импульстерге немесе кодталған позициялық ақпаратқа түрлендіріледі.

Нәтижесінде аспаптың есептеу жүйесі айналу бағытын, бұрыштық орын ауыстыруды немесе абсолюттік бұрыштық орынды анықтайды.

Оптикалық бұрыш өлшеу технологиясының басты ерекшелігі — механикалық қозғалысты жоғары дәлдікпен электрондық сандық ақпаратқа айналдыру

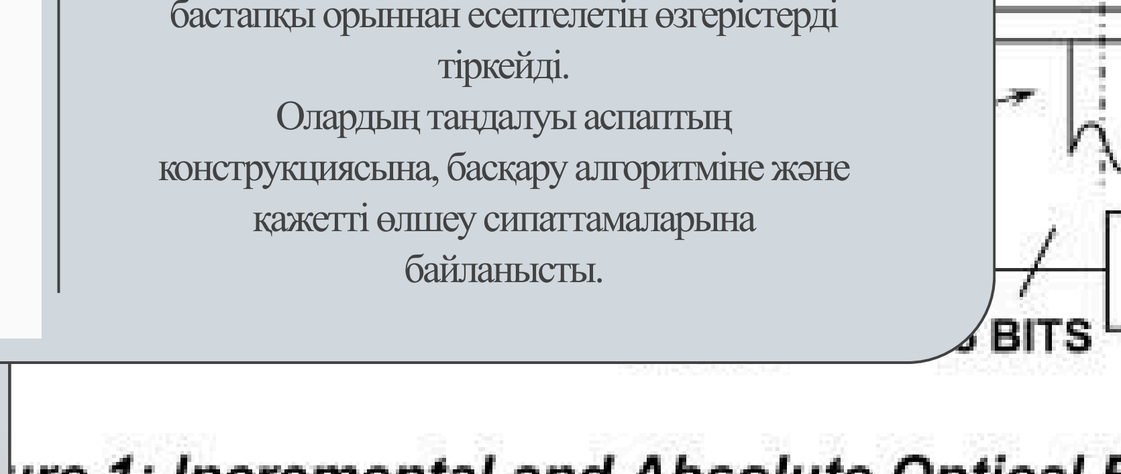
Бұрыштық энкодерлердің негізгі түрлері



Электрондық бұрыштарды өлшеуде қолданылатын энкодерлер жұмыс принципіне қарай абсолюттік және инкременттік болып бөлінеді.

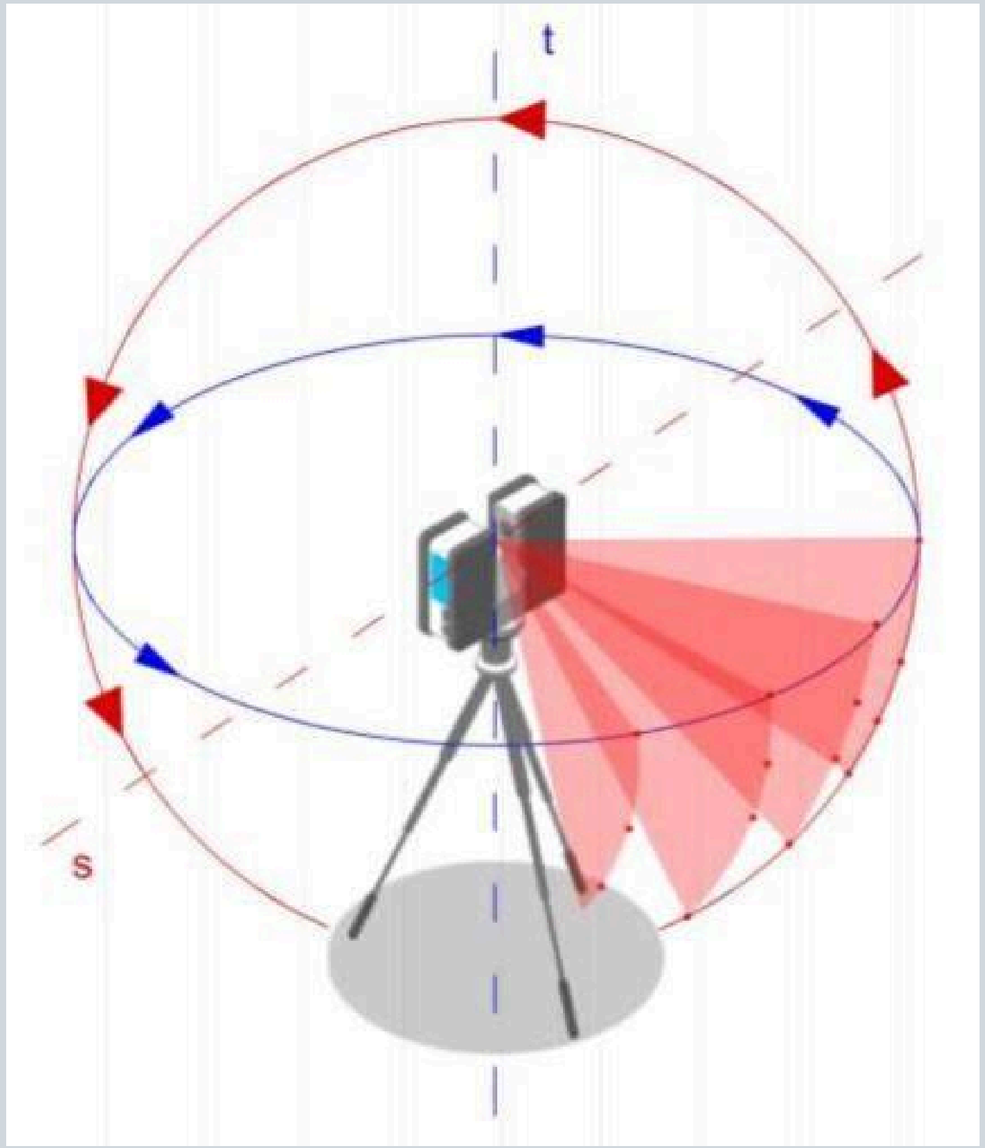
Көрсеткіш	Абсолюттік энкодер	Инкременттік энкодер
Өлшеу принципі	Нақты бұрыштық орынды кодпен анықтайды	Бұрыштық орын ауыстыруды тіркейді
Бастапқы есеп	Ағымдағы орынды бірден анықтай алады	Бастапқы тірек нүктесі қажет
Ақпарат	Абсолюттік бұрыш мәні	Импульстер немесе салыстырмалы орын ауыстыру
Ерекшелігі	Қуат қайта қосылғанда орынды анықтауға мүмкіндік береді	Қарапайым салыстырмалы бұрылуды бақылауға ыңғайлы

Абсолюттік энкодерлер бұрыштың нақты мәнін анықтауға мүмкіндік береді, ал инкременттік энкодерлер белгілі бір бастапқы орыннан есептелетін өзгерістерді тіркейді.
Олардың таңдалуы аспаптың конструкциясына, басқару алгоритміне және қажетті өлшеу сипаттамаларына байланысты.



Лазер сәулесінің бағытын өзгерту әдістері

Лазерлік сканерлердегі бұрыштық өлшеу сәуле бағытын өзгерту механизмдерімен тікелей байланысты. Айналмалы айна әдісі. Лазер сәулесі айналмалы айнаға түсіп, шағылу нәтижесінде басқа бағытқа таралады. Айна механизмінің бұрыштық орны анықталып, сәуленің кеңістіктегі бағыты есептеледі. Бұл әдіс көптеген панорамалық сканерлерде пайдаланылады. Айналмалы корпус әдісі. Аспаптың сканерлеу бөлігі вертикаль ось айналасында қозғалып, горизонталь бағыттағы сканерлеуді қамтамасыз етеді. Корпустың бұрылу шамасы горизонталь энкодер арқылы тіркеледі. Екі осьті сканерлеу. Горизонталь және вертикаль бағыттағы қозғалыстар біріктіріледі. Нәтижесінде лазер сәулесі кеңістіктегі көптеген нүктелерге бағытталып, нысанның толық геометриялық моделі жасалады.



Бұрыштық өлшеулердің дәлдігі және оны есептеу

Бұрыштық өлшеу дәлдігі — лазерлік сканердің нысанға бағытталған сәуле бұрышын қаншалықты дұрыс анықтай алатынын сипаттайтын көрсеткіш.
Бұрыштық дәлдік көбіне градус, минут және секунд арқылы беріледі. Геодезиялық өлшеулерде бұрыштық секунд жиі қолданылады.

Кіші бұрыштық қателіктің нүктенің көлденең бағыттағы орнына әсерін жуықтап есептеу формуласы:

$$\Delta p \approx S \cdot \Delta\theta$$

Мұндағы:

- Δp — бұрыштық қателіктен пайда болатын сызықтық ауытқу;
- S — нысанға дейінгі қашықтық;
- $\Delta\theta$ — радианмен өрнектелген бұрыштық қателік.

Бұрыштық өлшеулердегі негізгі қателік көздері

01 Аспаптық қателіктер

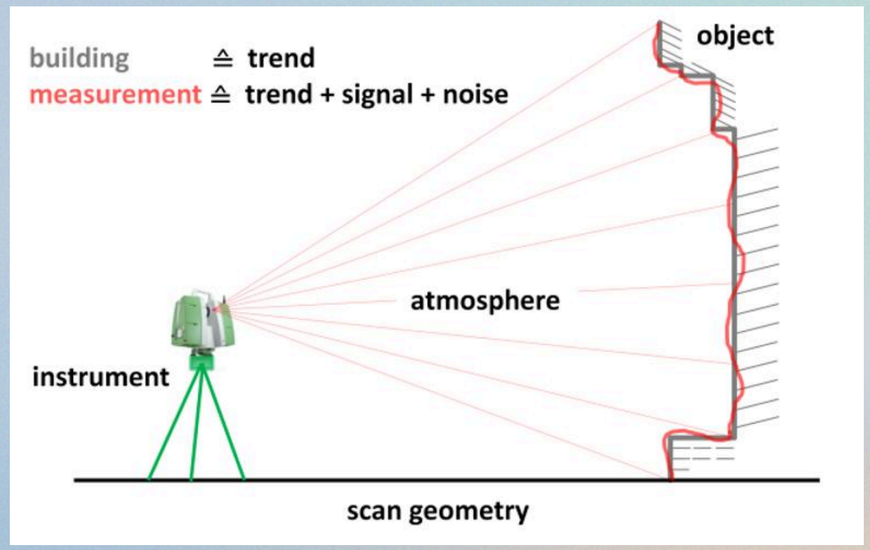
энкодер шкаласының дәлсіздігі, айналу осьтерінің өзара перпендикуляр болмауы, айна механизмінің дұрыс орналаспауы және оптикалық жүйенің геометриялық ауытқулары.

02 Орнату қателіктері

аспаптың дұрыс горизонтталмауы, штативтің тұрақсыздығы және өлшеу кезіндегі механикалық тербелістер.

03 Сыртқы орта әсерлері:

температуралық өзгерістер, діріл, желдің әсерінен аспап орнының өзгеруі және оптикалық сигналдың таралу жағдайлары.

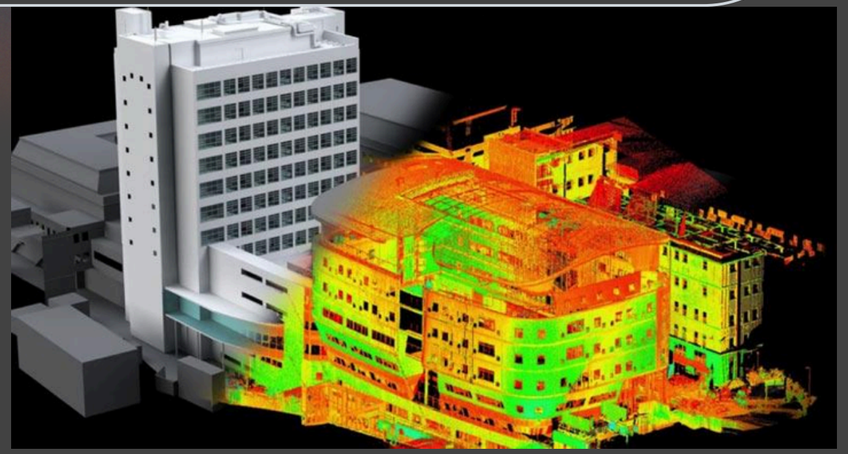


Бұрыштық өлшеу технологияларының геодезиядағы қолданылуы

Лазерлік сканерлердегі бұрыштық өлшеу жүйелері инженерлік-геодезиялық жұмыстарда, құрылыс саласында, сәулет нысандарын зерттеуде және жер бедерін модельдеуде кеңінен қолданылады. Құрылыс саласында олар ғимарат қабырғаларының вертикальдығын, құрылымдардың еңістігін, бағаналардың орналасуын және нысандардың жобалық геометриядан ауытқуын анықтауға мүмкіндік береді. Топографиялық жұмыстарда бұрыштық өлшеулер жер бедерінің үшөлшемді моделін жасауға, күрделі нысандардың координаталарын анықтауға және кеңістіктік ақпаратты жинауға пайдаланылады. Заманауи сканер мысалы: Leica RTC700 моделінің ресми сипаттамасында горизонталь сканерлеу өрісі 360°, вертикаль өрісі 300°, ал бұрыштық дәлдігі 10″ деп көрсетілген. Бұл нақты көрсеткіштер әр сканер моделі үшін жеке белгіленетінін көрсетеді







Қорытынды

Жер бетіндегі лазерлік сканерлерде бұрыштық мәндерді өлшеу үшөлшемді кеңістіктік ақпаратты алудың негізгі технологиялық кезеңдерінің бірі болып табылады. Горизонталь және вертикаль бұрыштар лазер сәулесінің бағытын анықтап, қашықтық өлшеу нәтижелерімен бірге нүктелердің кеңістіктік координаталарын есептеуге мүмкіндік береді.

Қазіргі лазерлік сканерлерде бұрыштық мәндерді тіркеу үшін электрондық энкодерлер, оптикалық өлшеу жүйелері және автоматтандырылған айналу механизмдері қолданылады. Бұл құрылғылар өлшеу процесінің жылдамдығын арттырып, адам факторының әсерін азайтады.

Бұрыштық дәлдік лазерлік сканерлеудің жалпы сапасына тікелей әсер етеді. Сондықтан өлшеу барысында аспаптың техникалық жағдайын тексеру, калибрлеу және жүйелік қателіктерді ескеру маңызды.

Осылайша, бұрыштық өлшеу әдістерін дұрыс қолдану құрылыс, геодезия, картография және инженерлік мониторинг салаларында сенімді үшөлшемді деректер алуға жағдай жасайды.

Бақылау сұрақтары

1. Жер бетіндегі лазерлік сканерлерде горизонталь және вертикаль бұрыштар қандай принцип бойынша өлшенеді?
2. Абсолюттік және инкременттік бұрыштық энкодерлердің жұмыс істеу принциптерінің негізгі айырмашылықтары қандай?
3. Бұрыштық өлшеу қателіктері үшөлшемді координаталардың дәлдігіне қалай әсер етеді және оларды қандай әдістер арқылы бағалауға болады?

Пайдаланылған әдебиеттер:

- Muralikrishnan B. және басқалар. Performance Evaluation of Terrestrial Laser Scanners — A Review. Ғылыми мақала
- Sensitivity Analysis and Minimal Measurement Geometry for the Target-Based Calibration of High-End Panoramic Terrestrial Laser Scanners. Remote Sensing, 2019. Ғылыми мақала
- Renishaw. Rotary Optical Encoders. Техникалық мәлімет
- ISO 17123-9:2018. Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments — Terrestrial Laser Scanners. Халықаралық стандарт
- Leica Geosystems. Leica RTC Series — Laser Scanner Specifications. Аспаптың техникалық сипаттамасы