Дәріс № 4. Жер серіктік навигацияның физикалық негіздері.

Дәріс жоспары:

1. Кіріспе
2. Жер серіктік навигацияға негіз болатын негізгі ұғымдар
3. Электромагниттік толқындар және сигнал таралуы
4. Уақыт пен кеңістіктегі дәлдіктің рөлі
5. Радиотолқындардың таралуына әсер ететін физикалық факторлар
6. Атмосфералық қабаттар (ионосфера, тропосфера) және олардың әсері
7. Доплер эффектісі және оның навигациядағы маңызы
8. Спутниктік орбиталар және гравитациялық әсерлер
9. Сигнал кешігуі мен көпсәулелі (multipath) әсер
10. Қорытынды

Дәріс мақсаты — студенттерге жер серіктік навигациялық жүйелердің (ЖСРН, немесе GNSS) жұмыс істеуіне негіз болатын физикалық процестер мен заңдылықтар туралы жан-жақты түсінік беру. Атап айтқанда, электромагниттік толқындардың таралуы, уақытты дәл өлшеу, атмосфералық әсерлер, гравитациялық және орбиталық динамика сияқты факторлардың ЖСРН қызметіндегі маңызын ашып көрсету.

1. Кіріспе

Жер серіктік навигация (GNSS) — объектінің кеңістіктегі орнын, жылдамдығын және уақытын анықтауға арналған заманауи технология. Бұл жүйенің негізінде күрделі физикалық процестер мен дәл уақытты өлшеу әдістері жатыр. ЖСРН тиімді жұмыс істеуі үшін физиканың бірнеше салалары — электромагнетизм, толқындық құбылыстар, гравитация және атмосфералық физика — бірлесе қызмет етеді.

2. Жер серіктік навигацияға негіз болатын негізгі ұғымдар

- **Жер серіктік навигациялық жүйе (GNSS)** — орбитада айналып жүрген спутниктердің сигналдарын пайдаланып жердегі қабылдағыштар арқылы координаталарды, жылдамдық пен уақытты анықтау жүйесі.
- **Навигациялық сигнал** — белгілі бір жиілікте және кодталған түрде спутниктен жіберілетін электромагниттік толқын.
- **Уақытты синхрондау** — спутник пен қабылдағыш арасындағы сигнал кешігуін дәл есептеу арқылы арақашықтықты анықтау негізі.

3. Электромагниттік толқындар және сигнал таралуы

- GNSS спутниктері радиодиапазондағы электромагниттік сигналдарды (L1, L2, L5 жиіліктері) таратады.
- Бұл сигналдар кеңістікте **жарық жылдамдығымен** таралады: $c = 299792458$ м/с $= 299\,792\,458$ \text{ м/с}

- Қабылдағыш пен спутник арасындағы қашықтықты анықтау үшін сигналдың таралу уақыты қолданылады: $d=c\cdot\Delta t$ Мұндағы Δt — сигналдың кешігу уақыты.

4. Уақыт пен кеңістіктегі дәлдіктің рөлі

- Навигациялық жүйелердің дәлдігі **наносекундтық деңгейдегі уақытты өлшеуге** тәуелді.
- Мысалы, 1 наносекунд (10^{-9} с) дәлсіздік ≈ 30 см позициялық қате туғызады.
- Сондықтан спутниктерде өте дәл **атомдық сағаттар** орнатылған (цезий немесе рубидий сағаттары).
- Қабылдағыштардағы сағаттар жиі синхрондалып отырады.

5. Радиотолқындардың таралуына әсер ететін физикалық факторлар

- **Атмосфералық әсерлер** — сигналдың таралу жылдамдығын өзгертеді.
- **Гравитациялық өріс** — сигналға салыстырмалы теория тұрғысынан әсер етеді (уақыттың баяулауы).
- **Жердің айналуы (Кориолис әсері)** және **релятивистік түзетулер** — нақты есептеулер үшін маңызды.

6. Атмосфералық қабаттар (ионосфера, тропосфера) және олардың әсері

Ионосфералық әсер:

- 50–1000 км биіктікте орналасқан ионосфера иондалған газдардан тұрады.
- Радиотолқындар осы қабаттан өткенде **дисперсиялық кешігуге** ұшырайды.
- Бұл кешігу сигнал жиілігіне байланысты.
- ЖСРН жүйелері бұл әсерді **екі жиілікті өлшеулер** арқылы түзетеді (мысалы, L1 және L2).

Тропосфералық әсер:

- Тропосфера (0–50 км) — бу мен су молекулалары бар қабат.
- Сигнал мұнда да **кешігеді**, бірақ ионосфералықтан айырмашылығы — **жиілікке тәуелсіз**.
- Бұл кешігуді метеодеректер немесе эмпирикалық модельдер арқылы түзетуге болады.

7. Доплер эффектісі және оның навигациядағы маңызы

- Спутник қозғалыста болғандықтан қабылдағышқа қатысты оның сигналының жиілігі өзгереді.
- Бұл құбылыс — **Доплер эффектісі**.
- Жылдамдықты анықтауда негізгі құрал: $\Delta f=\frac{v}{c}\cdot f$

Мұндағы Δf\Delta f — жиіліктің ығысуы, vv — салыстырмалы жылдамдық.
- Доплер эффектісі арқылы нақты жылдамдық және бағыт анықталады.

8. Спутниктік орбиталар және гравитациялық әсерлер
- Спутниктер орбитада **Ньютон заңы** мен **Кеплер заңдары** бойынша қозғалады.
- Гравитациялық өріс және Жердің геоидтық пішіні орбитада ауытқулар тудырады.
- Бұл ауытқулар орбиталық модельдер мен эфемеридтер арқылы түзетіледі.
- Қозғалыстың тұрақтылығы үшін спутниктер орта жер орбитасында (≈ 20 200 км) орналасады.

9. Сигнал кешігуі мен көпсәулелі (multipath) әсер
- **Multipath эффекті** — сигнал тікелей емес, ғимараттар, жер, су беті сияқты беттерден шағылып қабылдағышқа жетуі.
- Бұл позицияны анықтауда **қателік тудырады**, әсіресе қалалық және тау аймақтарында.
- Арнайы антенналар мен сүзгілер multipath әсерін азайту үшін қолданылады.

10. Қорытынды

Жер серіктік навигация – физика заңдарына негізделген күрделі технология. Оның сәтті жұмыс істеуі үшін электромагниттік толқындардың таралуы, уақыт өлшеу дәлдігі, атмосфералық қабаттардың әсері, гравитация және орбиталық механика сияқты көптеген факторлар ескеріледі. Бұл физикалық негіздерді жақсы түсіну — навигациялық жүйелерді жобалау, жетілдіру және дұрыс қолдану үшін өте маңызды.

Бақылау сұрақтары
1. Жер серіктік навигацияның жұмыс істеуіне қандай негізгі физикалық заңдылықтар негіз болады?
2. Электромагниттік толқындардың навигациялық жүйелердегі рөлі қандай?
3. GPS және басқа ЖСРН жүйелерінде қашықтықты қалай анықтайды?
4. Уақыт өлшеу дәлдігі позицияны анықтауға қалай әсер етеді?
5. Атомдық сағаттардың ЖСРН жүйелеріндегі маңызын түсіндіріңіз.
6. Ионосфералық және тропосфералық әсерлер навигациялық сигналдарға қалай әсер етеді?
7. Доплер эффектісі дегеніміз не және ол объектінің жылдамдығын анықтауда қалай қолданылады?
8. Гравитациялық өріс спутниктік сигналдардың таралуына қандай әсер етеді?

9. Көпсәулелі (multipath) эффекті дегеніміз не және ол қандай жағдайларда байқалады?
10. Жер серіктері қандай орбиталарда орналасады және неге дәл сол биіктіктер таңдалады?
11. Навигациялық жүйелерде қандай физикалық модельдер қолданылады?
12. Радиотолқындардың таралу жылдамдығына қандай факторлар әсер етуі мүмкін?

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. **Kaplan E. D., Hegarty C. J.**
   Understanding GPS: Principles and Applications. 2nd ed. — Artech House, 2006.
   — GPS жүйесінің жұмыс принциптері мен физикалық негіздері.
2. **Misra P., Enge P.**
   Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance. — Ganga-Jamuna Press, 2006.
   — GNSS сигналдарының таралуы мен өлшеу қателері.
3. **Leick A.**
   GPS Satellite Surveying. — John Wiley & Sons, 2015.
   — Орбиталық механика және спутниктік өлшеулер.
4. **Teunissen P. J. G., Montenbruck O. (Eds.)**
   Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. — Springer, 2017.
   — GNSS жүйелерінің толық ғылыми және техникалық мазмұны.
5. **Сұлтанғазин Ө. А., Медеу А. Р.**
   Спутниктік геодезия және навигация негіздері. — Алматы: ҚазҰТУ баспасы, 2010.
   — Қазақ тіліндегі ЖСРН жүйесіне кіріспе.
6. **Қазақстан Республикасы Ұлттық ғарыш агенттігінің материалдары**
   https://gharysh.kz
   — Қазақстандағы ғарыштық және навигациялық технологиялар.