**ДӘРІС №11. Тақырыбы: Қашықтықтан зондтау және деректерді ЖИ арқылы талдау кезеңдері.**

Дәрістің мақсаты: студенттерге Жерді қашықтықтан зондтау технологияларының негізгі принциптерін, қашықтықтан зондтау деректерінің түрлері мен сипаттамаларын түсіндіру және оларды жасанды интеллект көмегімен өңдеу мен талдаудың негізгі кезеңдерін меңгерту.
Дәріс жоспары

1. Қашықтықтан зондтау туралы жалпы түсінік
2. Қашықтықтан зондтау жүйесінің негізгі элементтері
3. Қашықтықтан зондтау платформалары мен сенсорлары
4. Пассивті және активті қашықтықтан зондтау жүйелері
5. Қашықтықтан зондтау деректерінің негізгі түрлері
6. Кеңістіктік, спектрлік, радиометриялық және уақыттық айырымдылық
7. Қашықтықтан зондтау деректерін жинау кезеңі
8. Спутниктік кескіндерді алдын ала өңдеу
9. Деректерді ЖИ моделіне дайындау және нормализациялау
10. Оқыту, валидациялық және тестілік деректер жиындарын қалыптастыру
11. Машиналық оқыту әдістері
12. Терең оқыту және нейрондық желілер
13. CNN арқылы спутниктік кескіндерді талдау
14. ЖИ моделін оқыту және классификациялау
15. ЖИ нәтижелерінің дәлдігін бағалау
16. Қашықтықтан зондтау деректеріндегі өзгерістерді анықтау
17. Қашықтықтан зондтау мен ЖИ технологияларының қолданылу салалары
18. ЖИ қолданудың артықшылықтары мен шектеулері
19. Қорытынды

## 1. Кіріспе

Қазіргі ғарыштық технологиялардың маңызды бағыттарының бірі – **Жерді қашықтықтан зондтау (ҚЗЗ)**. Қашықтықтан зондтау дегеніміз – Жердің және оның бетіндегі объектілердің қасиеттері туралы ақпаратты объектімен тікелей байланысқа түспей, ғарыштық немесе әуе платформаларына орнатылған арнайы сенсорлар арқылы алу әдісі. Қашықтықтан зондтау жүйелері табиғи ресурстарды бақылауда, ауыл шаруашылығында, орман шаруашылығында, экологиялық мониторингте, төтенше жағдайларды бақылауда, метеорологияда, картографияда және қала инфрақұрылымын зерттеуде кеңінен қолданылады.
Жерді қашықтықтан зондтаудың негізгі платформалары:

- жасанды Жер серіктері;
- ұшақтар;
- ұшқышсыз ұшу аппараттары;
- биіктік платформалары.

Ғарыштық аппараттардағы сенсорлар Жер бетінен шағылған немесе шығарылған электромагниттік сәулеленуді тіркейді. Алынған ақпарат цифрлық кескіндерге немесе басқа сандық деректерге түрлендіріліп, кейін компьютерлік өңдеуден өтеді. Соңғы жылдары қашықтықтан зондтау деректерінің көлемінің күрт өсуіне байланысты оларды дәстүрлі әдістермен толық өңдеу қиындай түсті. Осыған байланысты **жасанды интеллект (ЖИ), машиналық оқыту және терең оқыту** технологиялары кеңінен қолданылуда. ЖИ көмегімен спутниктік кескіндерден объектілерді автоматты түрде анықтауға, жер жамылғысын жіктеуге, өзгерістерді бақылауға және болжау жасауға болады.

## 2. Қашықтықтан зондтау жүйесінің негізгі элементтері

Қашықтықтан зондтау жүйесі бірнеше негізгі құрамдас бөліктен тұрады:

1. зерттелетін объект немесе Жер беті;
2. электромагниттік сәулелену көзі;
3. ғарыштық немесе әуе платформасы;
4. сенсор;
5. деректерді беру жүйесі;
6. жердегі қабылдау станциясы;
7. деректерді өңдеу және талдау жүйесі.

Пассивті қашықтықтан зондтау жүйелерінде сенсор Күннен Жер бетіне түсіп, одан шағылған сәулеленуді немесе объектілердің өздері шығаратын жылулық сәулеленуді тіркейді. Ал активті жүйелерде сенсордың өзі электромагниттік сигнал жібереді және объектіден шағылған сигналды қабылдайды. Активті қашықтықтан зондтаудың негізгі мысалдарына **радарлық және лазерлік жүйелер** жатады.

## 3. Қашықтықтан зондтау деректерінің түрлері

Қашықтықтан зондтау деректері сенсордың түріне және электромагниттік спектрдің пайдаланылатын диапазонына байланысты бөлінеді.

Негізгі түрлері:

- оптикалық кескіндер;
- мультиспектралды кескіндер;
- гиперспектралды кескіндер;
- инфрақызыл кескіндер;
- радиолокациялық кескіндер;
- жылулық кескіндер;
- биіктік немесе рельеф туралы деректер.

Оптикалық және мультиспектралды кескіндер Жер бетінің әртүрлі спектрлік диапазондарындағы шағылысуын сипаттайды.

Мысалы, өсімдіктердің жағдайын бағалау кезінде қызыл және жақын инфрақызыл диапазондар ерекше маңызды.

Өсімдік жамылғысын бағалау үшін жиі қолданылатын көрсеткіштердің бірі – **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**.
Оның формуласы:
**NDVI = (NIR − Red) / (NIR + Red)** (1)
Мұндағы:

- NIR – жақын инфрақызыл диапазондағы шағылысу;
- Red – қызыл диапазондағы шағылысу.

NDVI мәні өсімдіктердің күйін және олардың салыстырмалы тығыздығын бағалауға мүмкіндік береді.

**4. Қашықтықтан зондтау деректерін өңдеу кезеңдері**
Қашықтықтан зондтау деректерін ЖИ көмегімен талдау бірден дайын кескінді нейрондық желіге беруден тұрмайды. Әдетте бірнеше дәйекті кезең орындалады. Жалпы өңдеу тізбегін былай көрсетуге болады:
**Деректерді жинау → алдын ала өңдеу → түзету → дайындау → белгілерді қалыптастыру → ЖИ моделін оқыту → классификация → нәтижені бағалау → визуализация** Әрбір кезеңнің өзіндік міндеті бар.

**5. 1-кезең – деректерді жинау**
Бірінші кезеңде зерттеу мақсатына сәйкес қашықтықтан зондтау деректері таңдалады.
Мысалы:

- ауыл шаруашылығын зерттеу үшін – мультиспектралды кескіндер;
- орман өрттерін анықтау үшін – жылулық және оптикалық деректер;
- жер бедерін зерттеу үшін – радарлық немесе лидарлық деректер;
- қала аумағын зерттеу үшін – жоғары кеңістіктік айырымдылықтағы оптикалық кескіндер.

Деректердің негізгі сипаттамалары:

- кеңістіктік айырымдылық;
- спектрлік айырымдылық;
- радиометриялық айырымдылық;
- уақыттық айырымдылық.

**Кеңістіктік айырымдылық** бір пиксельдің жер бетіндегі қандай өлшемге сәйкес келетінін көрсетеді.
**Спектрлік айырымдылық** сенсордың электромагниттік спектрдің қандай диапазондарын ажырата алатынын сипаттайды.
**Уақыттық айырымдылық** бір аумақтың қаншалықты жиі қайта түсірілетінін көрсетеді.
**6. 2-кезең – алдын ала өңдеу**
Спутниктен алынған бастапқы деректер бірден талдауға жарамды болмауы мүмкін. Сондықтан оларды алдын ала өңдеу қажет.
Алдын ала өңдеу кезінде:

- геометриялық қателер түзетіледі;
- радиометриялық түзету жасалады;
- атмосфералық әсерлер азайтылады;

- кескіндер географиялық координаттар жүйесіне келтіріледі;
- қажетсіз бөліктер жойылады;
- бұлттар мен көлеңкелер анықталады.

Геометриялық түзету кескіндегі объектілердің нақты географиялық орнына сәйкес орналасуын қамтамасыз етеді.

Радиометриялық түзету сенсордың өлшеу ерекшеліктерін және кескіннің жарықтылығына байланысты қателерді түзетуге бағытталған.

**7. 3-кезең – деректерді дайындау**

ЖИ алгоритміне берілетін деректер белгілі бір форматқа келтірілуі қажет.

Бұл кезеңде кескін:

- қажетті аумақ бойынша қиылады;
- өлшемі стандартталады;
- пиксель мәндері нормализацияланады;
- қажет болған жағдайда бірнеше спектрлік арна біріктіріледі.

Пиксель мәндерін нормализациялаудың қарапайым түрі:

$$x' = (x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) \quad (2)$$

Мұнда x – бастапқы мән, ал $x_{min}$ және $x_{max}$ – деректер жиынындағы минималды және максималды мәндер.

Нормализация ЖИ моделінің оқу процесін тұрақтандыруға көмектеседі.

**8. 4-кезең – оқыту деректерін дайындау**

Машиналық оқыту моделіне дұрыс жауапты көрсету үшін таңбаланған деректер қажет.

Мысалы, спутниктік кескіндегі пиксельдер немесе объектілер келесі кластарға бөлінуі мүмкін:

- су;
- орман;
- ауыл шаруашылығы алқабы;
- құрылыс;
- жол;
- жалаңаш топырақ;
- қар.

Әрбір объект немесе пиксель тиісті класқа белгіленеді.

Бұл процесс **таңбалау (annotation)** деп аталады.

Деректер әдетте үш бөлікке бөлінеді:

- оқыту жиыны;
- валидациялық жиын;
- тестілік жиын.

Оқыту жиыны модель параметрлерін үйрету үшін қолданылады.

Валидациялық жиын модельдің оқу барысында сапасын бақылауға мүмкіндік береді.

Тестілік жиын соңғы модельдің нақты тиімділігін бағалау үшін пайдаланылады.

**9. 5-кезең – ЖИ моделін таңдау**

Қашықтықтан зондтау деректерін талдау үшін әртүрлі машиналық оқыту алгоритмдері қолданылады.

Классикалық алгоритмдерге:

- шешімдер ағашы;
- Random Forest;
- Support Vector Machine;
- k-жақын көршілер әдісі

жатады.

Үлкен көлемдегі кескіндерді өңдеу кезінде терең оқыту әдістері кеңінен пайдаланылады.

Олардың ішінде:

- жасанды нейрондық желілер;
- CNN – конволюциялық нейрондық желілер;
- автоэнкодерлер;
- U-Net;
- басқа да терең нейрондық архитектуралар.

ерекше орын алады.

**10. Конволюциялық нейрондық желілер**

Спутниктік кескіндерді талдауда **CNN (Convolutional Neural Network)** архитектурасы өте тиімді. CNN кескіннің кеңістіктік ерекшеліктерін автоматты түрде анықтай алады. Жалпы CNN құрылымында:

**Кіріс кескін → конволюциялық қабат → белсендіру функциясы → pooling → келесі қабаттар → толық байланысқан қабат → нәтиже**

тізбегі қолданылады.

Конволюциялық операцияның қарапайым түрде көрсетілуі:

$$y(i,j) = \Sigma\Sigma\, x(i+m,j+n) \cdot w(m,n) \quad (3)$$

Мұндағы:

- x – бастапқы кескін;
- w – конволюциялық фильтр;
- y – алынған ерекшелік картасы;
- i, j – пиксель координаттары.

CNN алғашқы қабаттарда қарапайым белгілерді, мысалы шекаралар мен текстураларды, ал терең қабаттарда күрделі объектілерді анықтай алады.

**11. 6-кезең – ЖИ моделін оқыту**

Модельді оқыту кезінде нейрондық желіге көптеген мысалдар беріледі.

Әрбір мысалда:

**кіріс дерегі → дұрыс жауап**

байланысы көрсетіледі.

Модельдің мақсаты – болжам мен нақты жауап арасындағы айырмашылықты азайту.

Бұл айырмашылық **шығын функциясы (Loss Function)** арқылы бағаланады.

Жалпы түрде:

$$L = f(y, \hat{y}) \quad (4)$$

Мұндағы:

- y – нақты нәтиже;
- ŷ – модельдің болжамы;
- L – шығын функциясы.

Классификация есептерінде кросс-энтропия сияқты шығын функциялары кеңінен қолданылады.

Оқыту барысында модельдің салмақтары оптимизация алгоритмдері арқылы өзгертіледі.

**12. 7-кезең – Кескінді классификациялау**

ЖИ моделін оқытып болғаннан кейін оны жаңа, бұрын көрмеген спутниктік кескіндерге қолдануға болады.

Мысалы, модель әр пиксельді немесе кескін бөлігін белгілі бір класқа жатқызады.

Нәтижесінде жер жамылғысының картасы алынады.

Мысалы:

**1 – су**

**2 – орман**

**3 – егістік**

**4 – елді мекен**

**5 – жол**

Осылайша бастапқы спутниктік кескін тақырыптық картаға айналады.

**13. 8-кезең – Нәтижелердің дәлдігін бағалау**

ЖИ моделінің нәтижесін міндетті түрде тексеру қажет.

Классификация сапасын бағалау үшін:

- Accuracy;
- Precision;
- Recall;
- F1-score;
- IoU;
- Confusion Matrix

сияқты көрсеткіштер қолданылады.

Жалпы дәлдік:

**Accuracy = $N^{grect}$ / $N^{total}$** (5)

мұндағы $N^{grect}$ – дұрыс классификацияланған объектілер саны, ал $N^{total}$ – барлық объектілер саны.

Precision көрсеткіші модель белгілі бір класты болжап, оның қаншасы дұрыс болғанын көрсетеді.

Recall нақты осы класқа жататын объектілердің қаншасын модель дұрыс тапқанын сипаттайды.

F1-score Precision мен Recall көрсеткіштерін біріктіреді:

**F1 = 2 · Precision · Recall / (Precision + Recall)** (6)

**14. 9-кезең – Нәтижелерді визуализациялау**

Талдаудың соңғы кезеңдерінің бірі – алынған нәтижелерді пайдаланушыға түсінікті түрде көрсету.

Нәтижелер:

- тақырыптық карта;
- классификация картасы;
- өзгерістер картасы;
- график;
- статистикалық кесте;
- 3D модель

түрінде ұсынылуы мүмкін.
Мысалы, бірнеше жылдағы спутниктік кескіндерді салыстыру арқылы орман алқабының өзгеруін анықтауға болады.
Екі уақыт кезеңіндегі кескіндерді салыстыру **өзгерістерді анықтау (change detection)** деп аталады.
Бұл әдіс:

- орманның кесілуін;
- қала аумағының кеңеюін;
- су айдындарының өзгеруін;
- өрттен кейінгі аумақты;
- ауыл шаруашылығы жерлерінің өзгеруін

анықтауда қолданылады.

**15. Қашықтықтан зондтауда ЖИ қолданудың артықшылықтары**

Жасанды интеллект технологияларын қолданудың негізгі артықшылықтары:

- үлкен көлемдегі деректерді автоматты өңдеу;
- адамның қол еңбегін азайту;
- күрделі кеңістіктік заңдылықтарды анықтау;
- объектілерді автоматты классификациялау;
- өзгерістерді жылдам анықтау;
- болжау жасау мүмкіндігі;
- өңдеу нәтижелерінің қайталанғыштығы.

Мысалы, бірнеше жүз немесе мың спутниктік кескінді қолмен талдау өте көп уақытты қажет етеді. Ал дұрыс оқытылған ЖИ жүйесі мұндай деректерді автоматты түрде өңдей алады.

**16. ЖИ қолданудың шектеулері**

Жасанды интеллекттің артықшылықтарымен қатар белгілі бір шектеулері де бар.
Біріншіден, ЖИ моделіне сапалы оқыту деректері қажет.
Екіншіден, таңбаланған деректерді дайындау көп уақыт алуы мүмкін.
Үшіншіден, модель бір аймақта жақсы жұмыс істеп, басқа географиялық немесе климаттық жағдайда дәлдігі төмендеуі мүмкін.
Төртіншіден, нейрондық желілердің шешімін түсіндіру кейде қиын. Бұл мәселе **Explainable AI (түсіндірілетін жасанды интеллект)** бағытының дамуына себеп болды.
Сонымен қатар үлкен нейрондық модельдерді оқыту үшін жоғары есептеу ресурстары қажет.

## 17. Қашықтықтан зондтау мен ЖИ қолданудың практикалық мысалдары

Қашықтықтан зондтау мен ЖИ біріктіріліп көптеген практикалық міндеттерді шешеді.

**Ауыл шаруашылығы**

Спутниктік кескіндер арқылы егістіктің жағдайын бақылауға, өсімдіктердің күйін бағалауға және өнімділікті болжауға болады.

**Орман шаруашылығы**

Орман аумағын картаға түсіру, ағаштардың жағдайын бақылау және орман өрттерін анықтау үшін ЖИ қолданылады.

**Қалалық мониторинг**

Қала аумағының өсуін, жаңа құрылыс объектілерін және жол желісінің өзгерістерін автоматты анықтауға болады.

**Төтенше жағдайлар**

Су тасқыны, орман өрті, көшкін және басқа табиғи апаттардан зардап шеккен аумақтарды жедел анықтау мүмкіндігі бар.

**Экологиялық мониторинг**

Су айдындарының жағдайын, өсімдік жамылғысын, топырақтың өзгеруін және басқа да экологиялық көрсеткіштерді бақылауға болады.

## 18. Қорытынды

Қашықтықтан зондтау – Жер және оның бетіндегі объектілер туралы ақпаратты ғарыштық және әуе платформаларындағы сенсорлар арқылы алудың маңызды технологиясы.

Қашықтықтан зондтау деректерін ЖИ көмегімен талдау бірнеше негізгі кезеңнен тұрады:

**Деректерді жинау → алдын ала өңдеу → деректерді дайындау → таңбалау → ЖИ моделін таңдау → модельді оқыту → классификация → дәлдікті бағалау → нәтижені визуализациялау.**

Бұл процестің әрбір кезеңі соңғы нәтиженің сапасына әсер етеді.

Жасанды интеллект, әсіресе машиналық оқыту және терең оқыту әдістері, спутниктік кескіндерді автоматты түрде классификациялауға, объектілерді анықтауға және уақыт бойынша өзгерістерді бақылауға мүмкіндік береді.

Болашақта ғарыштық деректер көлемінің өсуіне байланысты ЖИ технологиялары қашықтықтан зондтау жүйелерінің маңызды құрамдас бөлігіне айналады. Ғарыш аппараттарынан алынған деректерді автоматты түрде өңдеу, борттық ЖИ қолдану және нақты уақыт режимінде ақпарат алу ғарыштық технологиялардың одан әрі дамуының маңызды бағыттары болып табылады.

**Бақылау сұрақтары**

1. Қашықтықтан зондтау дегеніміз не?
2. Қашықтықтан зондтаудың негізгі мақсаты қандай?
3. Қашықтықтан зондтау жүйесінің негізгі құрамдас бөліктерін атаңыз.
4. Қашықтықтан зондтау үшін қандай платформалар пайдаланылады?

5. Пассивті және активті қашықтықтан зондтау жүйелерінің айырмашылығы қандай?
6. Қашықтықтан зондтауда қандай электромагниттік спектр диапазондары қолданылады?
7. Оптикалық және радиолокациялық деректердің айырмашылығы неде?
8. Мультиспектралды және гиперспектралды кескіндердің ерекшеліктері қандай?
9. Кеңістіктік айырымдылық дегеніміз не?
10. Спектрлік айырымдылық нені сипаттайды?
11. Радиометриялық және уақыттық айырымдылық дегеніміз не?
12. NDVI көрсеткіші қандай мақсатта қолданылады?
13. Спутниктік кескіндерді алдын ала өңдеу не үшін қажет?
14. Геометриялық және радиометриялық түзетудің айырмашылығы қандай?
15. Атмосфералық түзету дегеніміз не?
16. Қашықтықтан зондтау деректерін ЖИ моделіне дайындаудың негізгі кезеңдері қандай?
17. Деректерді нормализациялау не үшін қажет?
18. Оқыту, валидациялық және тестілік деректердің айырмашылығы қандай?
19. Машиналық оқыту дегеніміз не?
20. Терең оқыту дегеніміз не?