

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2022)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/UJEG4973>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

***М. Ж. Қалдарова¹, А. С. Аканова², Н. М. Кашкимбаева³**

^{1,2,3}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ЖЕРЛЕРІНІҢ ЕГІС АЛҚАПТАРЫН СЕГМЕНТТЕУДЕ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІНІҢ U-NET АРХИТЕКТУРАСЫНЫҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ

Жұмыстың зерттеу нысаны ауылшаруашылық жерлерінің егіс алқаптарын анықтауда гарыштық суреттерді сегменттеу болып табылады, қазіргі уақытта қарқынды дамуда. Бұл жұмыста қашықтықтан зондтау нәтижесінде алынған гарыштық (спутниктік) суреттерді сегменттеу арқылы ауылшаруашылық жерлерінің егістік алқаптарын бақылау қарастырылған. Сегменттеудің негізгі әдісі ретінде нейрондық желі, қате функциясы ретінде Intersection Over Union функциясы енгізілген модификацияланған U-net архитектурасы алынған. RGB и NIR арналары үшін орталық блокта біріктірілген екі кодтау блогы пайдаланылды. Intersection Over Union функциясын пайдалану сегменттеу жағдайында нақтырақ мәліметтер алуға көмектеседі және анықтау коэффициенті жоғарылайды. Бастапқы U-net архитектурасына қосымша қабат ретінде Intersection Over Union функциясын қосу гарыштық суреттердің көмегімен егістік алқаптары жайлы ақпарат және олардың негізгі шекараларын, яғни әр алқаптың белгіленген шекарасын сызып көрсетуге мүмкіндік береді. Бастапқы берілген белгіге сәйкес қиылысу-бұл белгілі бір мәліметтер жиынтығындағы тиісті нысандарды анықтау дәлдігінің өлшемі. Әдетте бұл әдісті HOG + Linear SVM және детекторлы конвуляцияланған нейрондық желілерде (R-CNN, Faster R-CNN, YOLO т.б.) қолданылады. Біздің жағдайымызда U-net архитектурасына қосымша қабат ретінде енгізіп егістік алқаптарын және олардың шекарасын анықтадық.

Кілттік сөздер: U-net архитектурасы, алгоритм, сегменттеу, қашықтықтан зондтау, нейрондық желі, машиналық оқыту.

Кіріспе

Ғарыштық суреттерді сегменттеу бағыты қарқынды дамуда қазіргі замандағы ғарыштық суреттерді зерттеу саласындағы мәселенің бірі болып табылады. Яғни бұл мәселені шешуде әр-түрлі нейрондық желілердің архитектуралары пайдалануда. Көп кездесетін U-net архитектурасын қолданып, пайдалы жер қазбаларын анықтау [1], су алқаптарын анықтау [2], ормандарды анықтау бағыттары қарастырылған [3]. Бірақ бұл архитектура қазіргі таңда егістік алқаптары үшін толық қаралмаған. Себебі егіс алқаптарын анықтауда әр бір алқаптың шекарасын анықтау, барлық алқаптардың бірдей болуына байланысты анықтау мүмкіндігі өте төмен. Сол себептен осы зерттеу барысында U-net архитектурасына қосымша қабаттар енгізу арқылы олардың дәлдігін жоғарлату қарастырылды.

Ғарыштық суреттер географиялық ақпараттарды таңуда маңызды роль атқарады. Ал компьютерлік көрудің негізгі міндеттерінің бірі ол суреттің дұрыс сегментациялануы. Бұл ақпарат заңдылығын дұрыс түсіну үшін қажет. Дұрыс жасалған сегментация суреттің әрбір бөлігі туралы ақпараттың талдауын жеңілдетеді. Сегментациялаудың қазіргі заманауи әдістерінің негізі бұл нейрондық желілерді қолдану. Инженерия және ауылшаруашылық бағытында (CNN) нейрондық желілер жерді қашықтықтан зондтау технологиясы негізінде ақпараттарды алуға маңызды роль атқарады [4]. CNN өте күрделі кеңістіктік сипаттамаларды және бірнеше деңгейлік үлкен ақпараттарды алуға мүмкіндік береді. Ауылшаруашылық жерлерінің егіс алқаптарының нақты сызбаларын да осы CNN-нің белгілі бір архитектурасын таңдап анықтауға болады. CNN бірнеше қабаттан тұратын нейрондық желі. Дегенмен, CNN жер жамылғысын жіктеуге арналған қосымшаларын қолдану егістік алқаптарының анық емес шекараларын анықтау мүмкіндіктерін, сондай-ақ деректерді дайындаудағы үлкен алшақтық негізгі шектеу болуы мүмкін және кеңістіктік сипаттамаларда әсер етеді.

Бұл зерттеу жұмысының мақсаты U-Net архитектурасы негізінде нейрондық желіні тұрғызып, оны қолдану арқылы бірнеше жылдардағы егіс алқаптарын салыстыру болып табылады.

Мақсатқа жету барысында келесі міндеттер орындалады:

- U-Net архитектурасын қолдану туралы зерттеу жұмыстарына шолу;
- U-Net архитектурасына қателік функциясын енгізіп, модификациялау, оқыту және оны сегменттеуде қолдану.

Көрсетілген [3] жұмыста жоғары ажыратымдылықтағы ғарыштық (спутниктік) суреттер негізінде жеке ағаштарды тану үшін U-Net архитектурасын пайдалану мәселесі қарастырылған. Аралас ормандар үшін терең оқыту тәсілдері қолданылды.

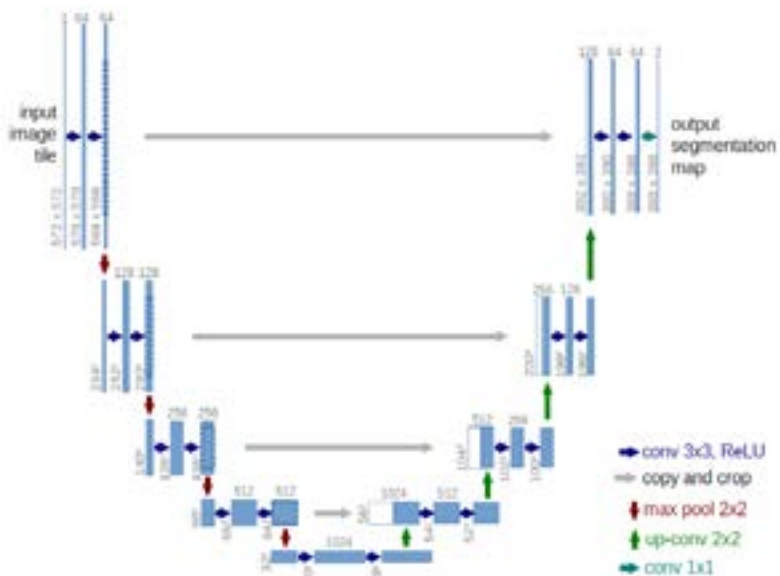
Ғалымдардың зерттеулерінде ғарыштық (спутниктік) суреттерді пайдалана отырып, көшкін аймақтарын анықтау және кескінге негізделген сегменттеуді, деректерге негізделген екі кезеңді құрылымды қарастырылады [5]. Үлкен өлшемді ғарыштық суреттердегі объектілерді және кең ауқымды көшкіндердің оранласқан жерін анықтау үшін Faster-RCNN алгоритмі және U-Net көмегімен сегменттеу өнімділігін жақсарту мақсатында анықталған әрбір көшкінінің жиегі туралы ақпаратты анықтау үшін жиекті анықтау алгоритмі қолданылған.

ROI тиімділігі негізінде егіс алқаптарының бар жоқтығын анықтайтын және белгілі бір кезеңде өңделген/өңделмеген егіс алқаптарын анықтау және оқыту моделін құру үшін кездейсоқ орманды технологиясы және U-Net алгоритмі пайдаланылған. Нақты қызығушылық тудырған аймақты анықтау үшін 18 жылдық Sentinel-2 кескіндерінің кең жинағы қиынды кескін масқаларымен пайдаланылды. Белгілі бір кезеңде жер жамылғысын анықтау үшін пикселдер деңгейінде сегменттеуде қолданылатын класстар негізінде жіктеу жасалған [6]. Көрсетілген жұмыста [7] деректерді тиімді таңбалау және Mask-RCNN моделін оқыту үшін белсенді оқытуды (AL-RASA) біріктіретін әдістерді қолдану мәселесі қарастырылады. Бұл модельдер U-Net үлгісінің құрамына кіреді. Ажыратымдылығы жоғары ғарыштық (спутниктік) суреттерден алтын барлау алаңдарын U-Net көмегімен сегменттеу әдісі қарастырылып Амазонка аймағында қолданылады [1]. Кескіндердегі ғимараттар мен құрылыстарды ерекшелендіру алгоритмі мультипликациялық спутниктік бейнелеуде саласында қолданылған [8]. Екі кодтауышпен U-Net конволюционды нейрондық желінің архитектурасының модификациясы қолданылды. Машиналық оқытудың k-орташа ең жақынын анықтау алгоритмі от жалынын анықтау үшін сегменттеуде U-net архитектурасын далалы және орманды алқаптарда өрт қауіпсіздігінің алдын алу мақсатында өрт басталған жерлерді анықтауда қолданылған [9]. Машиналық оқыту көптеген салалардағы зерттеулерде қолданылған, мысалы, зиянкесті арамшөптерді анықтау барысында K-NearestNeighbors, RandomForest және DecisionTree алгоритмдері пайдаланылған [10]. Бұл зерттеудің нәтижесінде ауыл шаруашылық алқаптарына арналған бағдарламаларда ұсынылған. Алайда U-Net нейрондық желі көмегімен ажыратымдылығы төмен арамшөп кескіндерінің жақсы жіктелу нәтижелерін алуға болатын еді. Бірақ ол бағыт бұл жұмыста қарастырылмаған.

Осылайша, зерттелген ғылыми дереккөздер U-Net архитектурасын арнайы егістік алқаптарының шекарасын анықтау үшін пайдаланылмағанын көрсетті, бұл қазіргі уақытта ауыл шаруашылығы саласындағы аналитикалық жүйені әзірлеуде өзекті мәселе болып табылады.

Материалдар мен әдістер

Әрине семантикалық сегменттеу – жан-жақты зерттелген мәселе. Конволюциялық желілер пайда болғалы ол негізінен нейрондық желілерді қолдану арқылы шешіледі. Суреттерді сегментациялауың кең таралған бірнеше әдістері мен модельдері бар. Суреттерді бинарлы сегментациялауға U-Net архитектурасын қолдану жақсы нәтиже береді. Осы зерттеу жұмысында модификацияланған белгілі U-Net архитектурасы қолданылды [11].



Сурет 1 – Нейрондық желінің U-Net архитектурасы [9]

Негізгі U-Net кодтау және декодтау бөлімдерінен тұрады. Кодтау бөлімінің өзі бес блоктан тұратын конволюциялық нейрондық желі: әрбір блогы 3×3 өлшемдегі фильтрлі екі конволюциялық қабаттан тұрады, әрбір қабатқа қолданылатын белсендіру ReLU функциясынан және әрбір 2×2 өлшемді төмендету қабаты бар batch normalization функциясы енгізілген қабаттан тұрады. Декодтауда кодтау секілді бес блоктан тұрады: әрбір 2×2 өлшемді жоғарлату қабаты, кодтау белгілеріне сәйкес біріктіру қабаты, 3×3 өлшемдегі фильтрлі екі конволюциялық қабаттан және әрбір қабатқа қолданылатын белсендіру ReLU функциясынан және максималды біріктіру (max pooling) қабаттарынан тұрады. Соңғы қабат суретті пиксель деңгейінде жіктеу үшін сигмаидты белсендіру функциясын қолданады [12].

Зерттеу барысында U-Net архитектурасын одан әрі модификациялау арқылы оны негіз ретінде пайдалану, қате функциясы ретінде Intersection Over Union функциясы енгізілген архитектура қолданылды. RGB и NIR арналары үшін орталық блокта біріктірілген екі кодтау блогы пайдаланылды. Соңғы нейрондық желі 47 конволюциялық, 47 белсендіру ReLU функциясынан, 47 қалыпқа келтіру операциясынан, 10 дискретизацияны жоғарлату амалынан, 5 дискретизацияны төмендету амалынан, 1 сигмаоидты белсендіру функциясынан және 11 біріктіру операциясынан тұрды.

Сегменттеу кезінде ғарыштық суреттердегі барлық пикселдердің маңызы зор, кейбір пикселдер масканы сипаттауда негізгі рөл атқарады. Мұндай маскалық мәселелер қайта қалпына келтіру блогында жүзеге асырылады [13]. Қайта қалпына келтіру блогының соңғы қабаты келесі формулада көрсетілген сигмаоидты белсендіру функциясы.

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (1)$$

Сигмаоидтың қабылдайтын мәні (0,1)аралығы.

Бұл жұмыста ұсынылып отырған екі сатылы кодтаушы элементі қосылған желі кескіндерді сегменттеуде үлкен рөл атқарады. Бірінші кезең бірнеше кеңейтілген конволюциялық қабаттастырылған қабаттар толық ажыратымдылықпен кодтайды, ал екінші кезең желідегі қабылдау өрісін арттыру үшін біріктіру қабаттарын пайдаланатын мүмкіндіктерді жылдам төмендетеді.

Желіні оқыту 15 деңгейлік түрде суретті ұлғайтусыз жүргізілді. Келесі 2 суреттегі график сынақ жиынындағы дәлдік және қателік мәндерін көрсетеді.

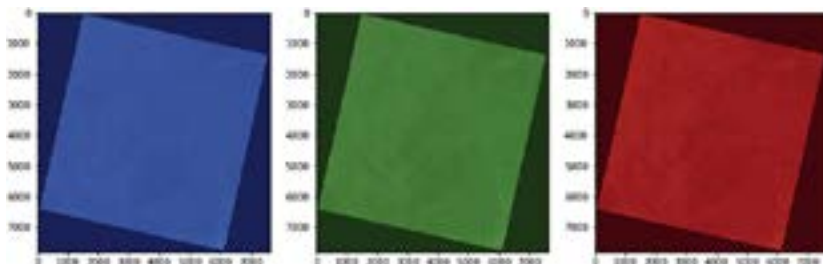


Сурет 2 – Сынақ жиынындағы дәлдік және қателік мәндері

Көрсетілген графиктен дәлдік мәні оқыту деңгейін жоғарлатқан сайын нақтырақ мән алуға болатынын, яғни мәннің 1-ге жақындаған сайын мән нақтырақ болатынын байқауға болады. Ал қателік мәні де оқыту деңгейі көбейген сайын (эпоха саны) азаятындығы көрсетілген.

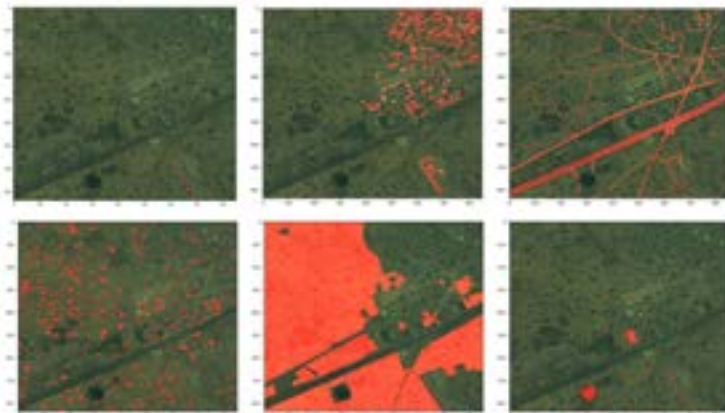
Оқытылған деректер жиынтығы SpaceNet деректер жиынынан алынған 8 каналды ғарыштық суреттер. Суреттер көлемі 28 км болатын бірнеше жергілікті жерлердегі егістік алқаптарын көрсететін 10980x10980x3 кеңейтіліміндегі 24 суреттен тұратын tiff файл түрінде сақталған. Ғарыштық суреттердің ажыратымдылығы 16 бит, ал файлдар маскасы 8 биттік. Суреттер 23x23 өлшемінде егіс алқаптары мен өңделмейтін жерлерге белгі қою мақсатында бірнеше сегменттерге қиындыланған.

Python және gdal кітапханалары көмегімен кескіндер 3- суреттегідей RGB пішімге түрлендіріледі.



Сурет 3 – Ғарыштық суреттер қиындысының көк, жасыл және қызыл жолақ түрінде белгіленуі

Деректерді дайындаудың келесі кезеңі қалыпқа келтіру жүргізілген 0-ден 1-ге дейінгі мәндер диапазонында бастапқы жарықтық мәндерін қайта есептеу болды. Қолданылған алгоритмінің арнадағы (каналдағы) максималды мәнге дейін және арнадағы орташа жарықтық мәнін анықтау мақсатында U-net архитектурасына енгізу. Архитектураның бірінші жұмысы кескіндерден алдын ала ауылшаруашылық алқаптарындағы жолдар мен қолданыстағы жерлердің негізгі сызбаларын көрсетті және максималды мәнмен нормаланған SpaceNet кескіндерінде жақсы нәтижелерге қол жеткіздік (4-суреттер). Өкінішке орай, дәлдік коэффициенті қолданылған суреттер мен кескіндер сапасына да байланысты. Қазіргі кезде жыл мезгіліне байланысты немесе үлкен көлемдегі суреттерді алу коммерциялық бағытта болғандықтан, бұл жұмыста тегін түрде жүктеп алынатын Sentinel -2 спутнигінен және SpaceNet базасынан алынған кескіндер қолданылды.



Сурет 4 – Сегменттеу кезінде кескіндердегі объектілерді анықтау этаптары

Зерттеудің әрбір кезеңінде жерлерді салыстыру және анықтау белгілері нақтылана түсті. Intersection Over Union функциясын U-net архитектурасына қосымша қабат ретінде енгізіп, ғарыштық суреттердің көмегімен егістік алқаптары жайлы ақпарат және олардың негізгі шекараларын, яғни әр алқаптың белгіленген шекарасын сызып көрсетуге мүмкіндік беретін сегменттеу нәтижесін алуға тырыстық. Суреттерді нақты кескіндерге боліп олардың бастапқы берілген белгіге сәйкестігі анықталды. Берілген суреттерден алдын-ала болжанған шектеуші жақтауды алып, оларды 5-суреттегідей сценарийге кодтадық.

```

def intersection_over_union ( bbox1, bbox2 ):
    # сыртқы және ішкі координаттар
    x1 = bbox1 [ 0 ] , x2 = bbox1 [ 2 ]
    y1 = min ( bbox2 [ 1 ] , bbox1 [ 1 ] )
    y2 = min ( bbox2 [ 3 ] , bbox1 [ 3 ] )
    y3 = max ( bbox2 [ 1 ] , bbox1 [ 1 ] )
    # сыртқы және ішкі координаттар
    intersection = max ( 0 , x2 - x1 + 1 ) * max ( 0 , y2 - y1 + 1 )
    # сыртқы және ішкі координаттар
    union = ( bbox1 [ 2 ] - bbox1 [ 0 ] ) * ( bbox1 [ 3 ] - bbox1 [ 1 ] ) + ( bbox2 [ 2 ] - bbox2 [ 0 ] ) * ( bbox2 [ 3 ] - bbox2 [ 1 ] )
    # сыртқы және ішкі координаттар
    # сыртқы және ішкі координаттар
    # сыртқы және ішкі координаттар
    iou = intersection / float ( union )

```

Сурет 5 – Intersection Over Union функциясының қолданылуы

Бұл әдіс екі параметрді қажет етеді: А қорабы және В қорабы, олар біздің шынайы және болжамды шектеуші жақтауымыз болып табылады (бұл параметрлердің нақты тәртібі `bb_intersection_over_union`- да ұсынылады. Зерттеудің 1-кезеңінде сегменттеу барысы тек көлемі жағынан үлкен болып келетін және көрсетілген жердегі бір-бірінен айырмашылығы бар объектілерді анықтады. 3-6 жолдар қиылысу тіктөртбұрышының координаттарын (x, y) анықтайды, содан кейін біз қиылысу ауданын есептеу үшін 8 жолды қолданамыз. `interArea` ауданаралық айнымалы енді `Intersection Over Union` есептеуіндегі алымды білдіреді. Белгішті есептеу үшін алдымен алдын-ала болжанатын шектеуші жақтаудың да, жердегі шектеуші жақтаудың да ауданын алу керек (9 және 10 жолдар). Соңында, `Intersection over Union` функциясының мәні қайтарылады. Осы функцияны пайдаланып көру үшін `HOG + Linear SVM` детекторынан шектеуші жақтаудың болжамды координаттарын алдық. Бұл болжамды шектеу шеңберлері 4 суреттің бірінші және үшінші кезең аралығында көрінген.

2 – кезеңде салыстыру мәндері нақтылана түсіп, егіс алқаптары анықтала бастады және оларды да қызыл нүктелермен белгілеп көрсетті. Бұл белгілеулер суреттің бастапқы мән кезінде қойылған белгілеулерге сәйкес келетінін көрсетеді. Бұл кезеңнен кейін суреттердің анықталған нүктелері жоғала бастайды оны қайта қалыпқа келтіру, яғни белсендіру мақсатында `ReLU` -функциясы қолданылды. Сурет бірнеше кезеңнен өткен соң өз сапасын жоғалтуы қалыпты жағдай. 3-кезеңде жолдық нақты сегменттелген аумағы анықталды. 4-кезеңде жол айналасындағы егістік алқаптары сегменттеле бастады. Соңғы кезеңде жол мен егіс алқабын бір-бірінен ажыратып көрсетті. Оларды қызыл нүктелермен белгілеп көрсетті.

Бұл құжатта болжамды сегменттеу маскаларын және жол жиектерін анықтауда қолданылатын маскалар пайдаланылды. Қалыпты жағдайда жердің әртүрлі құрылымды болатыны, олардың ерекшеліктерін, ауа-райының әсерін ескерсек суреттерді талдау біраз қиындықтар тудыруы мүмкін. Алайда қолданылып отырған алгоритм көмегімен суреттердегі шу кедергілерінсіз қажетті нәтижелерге қол жеткізуге болады [14].

Ажыратымдылығы жоғары кескіндерді пайдалану идеясы сегменттеуде қазірдің өзінде белгілі шешім болып табылады. Бұл зерттеу осы мәселелермен күресу жолын ұсынады. Дегенмен, бұл әдіс мәселені шешу жолында жады көлемі үлкен суперкомпьютерлерді қолдану қажеттілігін көрсетеді.

Қашықтықтан зондтау арқылы жерлерді сегменттеуде таңбаланған деректер жиындары әдетте өлшемі бойынша кішкентай, сондықтан солай таңбаланбаған деректерді пайдалану үшін жартылай бақылаудағы оқытуды қарастыру орынды. Біздің генеративті желідегі кодтау мүмкіндіктері және жиектерді генерациялау әдістері бақыланатын объектілер үшін тамаша

мүмкіндік. Оның оқытылған дайын желілерді басқа бағытта да пайдалануға болады.

Нәтижелер мен талқылау

Оқытылатын параметрлер саны көп нейрондық желілерді оқыту кезінде қайта оқуды болдырмау үшін үлкен мәліметтер жиынтығының болуы маңызды. Қолданыстағы бар деректерді пайдаланып, деректер жиынтығының үлгілер санын көбейту қажет, яғни дәлдік мәндерінің нақты болуы үшін. 5 суретте қолданған деректердің сегменттелген кескіні көрсетілген.



Сурет 6 – Жол мен егістік алқаптарының сегменттелген кескіні

Осы зерттеу нәтижесінде U-Net архитектурасын қолдану туралы зерттеу жұмыстарына шолу жасалып, оның қазба байлықтарын, су алқаптарын, ормандарды өрт шалған жағдайда өрттің өршу шекарасын анықтау барысында қолданылғандары белгілі болды. Көрсетілген зерттеулер U-net архитектурасын ғарыштық суреттерді сегменттеуде шекара нүктелерін анықтаудағы қолданысы толық ашылмаған, яғни архитектураны модификациялау арқылы (белгілі қабаттармен толықтыру) шекара нүктелерін де, анықтау аймағы туралы да толық мәлімет алуға болатындығы қарастырылмаған. Осы мәліметтерді ескере отырып, біздің жағдайымызда U-Net архитектурасын модификациялау арқылы ғарыштық суреттерді сегменттеу барысында егістік алқаптарының қолданылуы, шекарасын анықтау нәтижесіне қол жеткіздік

U-Net архитектурасына қателік функциясы енгізіліп нәтижесінде қате 0,2345 тең болды, ал дәлдік 0,8123 тең болды. Соңғы қолданылған нейрондық желі 47 орама қабаттан, 47 белсендіру ReLU функциясынан, 47 қалыпқа келтіру операциясынан, Intersection Over Union функциясынан, 10 дискретизацияны жоғарлату амалынан, 5 дискретизацияны төмендету амалынан, 1 сигмаоидты белсендіру функциясынан және 11 біріктіру операциясынан тұрды. Ғарыштық суреттерді сегменттеу нәтижесінде жол мен егістік алқаптарын бірбірінен ажырата алатындай және олардың шекараларын анықтай алатындай мәліметке ие болдық.

Қорытынды

1 U-Net архитектурасын қолдану туралы зерттеу жұмыстарына шолу үшін әлемдік ғылыми зерттеулер қарастырылды. Зерттеу нәтижесінде U-Net архитектурасы ауылшаруашылық саласындағы көптеген жағадайлардың деректері оқытылса да, егістік алқаптарының шекарасын сегментациялау деректері егістік көлемін анықтау үшін қолданылмаған.

2 U-Net архитектурасына жинақталған деректер оқытылып қателік функциясы мен нақтылаудың нәтижесінде модификацияланған U-Net нейрондық оқыту процесі және 8 арналы(каналды) ғарыштық суреттерді сегменттеу алынды.

ПАЙДАЛЫНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Boaro, J. M. C., Santos, dos P. T. C., Serra, A., Rego, V. G., Martins, C. V. и Júnior, G. B.** *Satellite Image Segmentation of Gold Exploration Areas in the Amazon Rainforest Using U-Net //2021 IEEE International Humanitarian Technology Conference (IHTC)*. – IEEE, 2021. – P. 1–8. doi: 10.1109/IHTC53077.2021. 9698927

2 **Курганович, К. А., Шаликовский, А. В.** Использование сверточных нейронных сетей для анализа интенсивности освоения паводкоопасных территорий Забайкальского края по данным дистанционного зондирования [Текст] // Материалы XV международной научно-практического симпозиума и выставки «Чистая вода России». – 2019. – С. 122–127

3 **Korznikov, K. A., Kislov, D. E., Altman, J., Doležal, J., Vozmishcheva, A. S., Krestov, P. V.** Using U-Net-like deep convolutional neural networks for precise tree recognition in very high resolution RGB (red, green, blue) satellite images [Текст] // *Forests*. – 2021. – Т. 12. – №. 1. – P. 66

4 **Neupane, B., Horanont, T., Aryal, J.** Deep learning-based semantic segmentation of urban features in satellite images: A review and meta-analysis [Текст] // *Remote Sensing*. – 2021. – Т. 13. – №. 4. – P. 808

5 **Li, H., He, Y., Xu, Q., Deng, J., Li, W., Wei, Y.** Detection and segmentation of loess landslides via satellite images: A two-phase framework [Текст] // *Landslides*. – 2022. – Т. 19. – №. 3. – P. 673–686.

6 **Kumar, S., Jayagopal, P.** Delineation of field boundary from multispectral satellite images through U-Net segmentation and template matching [Текст] // *Ecological Informatics*. – 2021. – Т. 64. – P. 101370.

7 **Park, J., Li, S., Li, Z., Steven, X.** A Novel Active-Learning Based Residential Area Segmentation Algorithm [Текст] // *2021 IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Engineering Technology (CCET)*. – *IEEE*, 2021, – P. 96-100, doi: 10.1109/CCET52649. 2021.9544495.

8 **Хрящев, В. В., Приоров, А. Л., Павлов, В. А., Ларионов, Р. В.** Модификация архитектуры свёрточной нейронной сети U-Net в задаче сегментации мультиканальных спутниковых изображений [Текст] // *Цифровая обработка сигналов*. – 2019. – №. 3. – С. 39–45.

9 **Братухин, Д.** Сегментация пламени на изображении с использованием свёрточной нейронной сети U-Net [Текст] // *Norwegian Journal of Development of the International Science*. – 2021. – №. 64. – С. 31-33.

10 **Бурибаев, Ж., Амиргалиева, Ж., Атаниязова, А., Мелис, З., Даулетия, Д.** Применение алгоритмов машинного обучения для классификации разновидностей сорных растений [Текст] // *Физико-математические науки*. – 2021. – Т. 75. – №. 3. – С. 83–93

11 **Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T.** U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation [Текст] // *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*. Springer, LNCS. – 2015. – vol. 9351. – P. 234-241.

12 **Gulli, A., Pal, S.** Deep Learning with Keras [Текст] // Packt Publishing. – 2017. – P. 320.

13 **Ghandorh, H., Boulila, W., Masood, S., Koubaa, A., Ahmed, F., Ahmad, J.** Semantic Segmentation and Edge Detection—Approach to Road Detection in Very High Resolution Satellite Images [Текст] // *Remote Sensing*. – 2022. – Т. 14. – №. 3. – P. 613.

14 **Lian, R., Wang, W., Mustafa, N., Huang, L.** Road Extraction Methods in High-Resolution Remote Sensing Images: A Comprehensive Review [Текст] // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2020. – Т. 13. – P. 5489–5507.

REFERENCE

1 **Boaro, J.M. C., Santos, dos P.T.C., Serra, A., Rego, V. G., Martins, C. V. и Júnior, G.B.** *Satellite Image Segmentation of Gold Exploration Areas in the Amazon*

Rainforest Using U-Net //2021 IEEE International Humanitarian Technology Conference (IHTC). – IEEE, 2021. – P. 1–8. doi: 10.1109/IHTC53077.2021.9698927

2 Kurganovich, K. A., SHalikovskij, A. V. Ispol'zovanie svyertochnyh nejronnyh setej dlya analiza intensivnosti osvoeniya pavodkoopasnyh territorij Zabajkal'skogo kraja po dannym distancionnogo zondirovaniya [The use of convolutional neural networks to analyze the intensity of development of flood-prone areas of the Trans-Baikal Territory according to remote sensing data] [Text] // *Materialy XV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskogo simpoziuma i vystavki «CHistaya voda Rossii».* – 2019. – P. 122–127

3 Korznikov, K. A., Kislov, D. E., Altman, J., Dolezal, J., Vozmishcheva, A. S., Krestov, P. V. Using U-Net-like deep convolutional neural networks for precise tree recognition in very high resolution RGB (red, green, blue) satellite images [Text] // *Forests.* – 2021. – T. 12. – №. 1. – P. 66

4 Neupane, B., Horanont, T., Aryal, J. Deep learning-based semantic segmentation of urban features in satellite images: A review and meta-analysis [Text] // *Remote Sensing.* – 2021. – T. 13. – №. 4. – P. 808

5 Li, H., He, Y., Xu, Q., Deng, J., Li, W., Wei, Y. Detection and segmentation of loess landslides via satellite images: A two-phase framework [Text] // *Landslides.* – 2022. – T. 19. – №. 3. – P. 673–686.

6 Kumar, S., Jayagopal, P. Delineation of field boundary from multispectral satellite images through U-Net segmentation and template matching [Text] // *Ecological Informatics.* – 2021. – T. 64. – P. 101370.

7 Park, J., Li, S., Li, Z., Steven, X. A Novel Active-Learning Based Residential Area Segmentation Algorithm [Text] // *2021 IEEE 4th International Conferece on Computer and Communication Engineering Technology (CCET). – IEEE, 2021, – P. 96-100, doi: 10.1109/CCET52649. 2021.9544495.*

8 Hryashchev, V. V., Priorov, A. L., Pavlov, V. V., Larionov, R. V. Modifikaciya arhitektury svyortochnoj nejronnoj seti U-Net v zadache segmentacii mul'tikanal'nyh sputnikovyh izobrazhenij [Modification of the architecture of the convolutional neural network UNet in the task of segmentation of multichannel satellite images] [Text] // *Cifrovaya obrabotka signalov.* – 2019. – №. 3. – P. 39–45.

9 Bratuhin, D. Segmentaciya plameni na izobrazhenii s ispol'zovaniem svyortochnoj nejronnoj seti U-Net [Segmentation of the flame in the image using the convolutional neural network UNet] [Text] // *Norwegian Journal of Development of the International Science.* – 2021. – №. 64. – P. 31–33.

10 Buribaev, Zh., Amirgalieva, Zh., Atanyazova, A., Melis, Z., Dauletya, D. Primenenie algoritmov mashinnogo obucheniya dlya klassifikacii raznovidnostej sornyh rastenij [Application of machine learning algorithms for classification of weed varieties] [Text] // *Fiziko-matematicheskie nauki.* – 2021. – T. 75. – №. 3. – P. 83-93

11 **Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T.** U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation [Text] // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). Springer, LNCS. – 2015. – vol. 9351. – P. 234–241.

12 **Gulli, A., Pal, S.** Deep Learning with Keras [Text] // Packt Publishing. – 2017. – P. 320.

13 **Ghandorh, H., Boulila, W., Masood, S., Koubaa, A., Ahmed, F., Ahmad, J.** Semantic Segmentation and Edge Detection—Approach to Road Detection in Very High Resolution Satellite Images [Text] // Remote Sensing. – 2022. – Т. 14. – №. 3. – P. 613.

14 **Lian, R., Wang, W., Mustafa, N., Huang, L.** Road Extraction Methods in High-Resolution Remote Sensing Images: A Comprehensive Review [Text] // IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. – 2020. – № 13. – P. 5489–5507.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

М. Ж. Қалдарова¹, А. С. Аканова², Н. М. Қашқимбаева³

^{1,2,3}Қазақстан Республикасының аграрлық техникалық университетінің атындағы С. Сейфуллина,

Қазақстан Республикасы, Астана

Материал редакцияға 15.12.22.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ U-NET НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ СЕГМЕНТИРОВАНИИ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

Объектом исследования работы является сегментация космических снимков при определении посевных площадей сельскохозяйственных угодий, которые в настоящее время интенсивно развивается. В данной работе предусмотрен мониторинг посевных площадей сельскохозяйственных угодий путем сегментации космических (спутниковых) изображений, полученных в результате дистанционного зондирования. В качестве основного метода сегментации взята нейронная сеть, модифицированная архитектура U-net, в которой в качестве функции ошибки реализована функция Intersection Over Union. Для каналов RGB и NIR использовались два блока кодирования, объединенных в центральный блок. Использование функции Intersection Over Union помогает получить более точные данные в случае сегментации, и коэффициент детализации увеличивается. Добавление функции Intersection Over Union в качестве дополнительного слоя к исходной архитектуре U-net позволяет с

помощью космических снимков отображать информацию о посевных площадях и их основных границах, т. е. обозначенных границах каждой долины. Пересечение по исходному заданному признаку является мерой точности определения соответствующих объектов в определенном наборе данных. Обычно этот метод используется в HOG + Linear SVM и детекторных конвективных нейронных сетях (R-CNN, Faster R-CNN, YOLO и т. д.). В нашем случае мы ввели архитектуру U-net в качестве дополнительного слоя и определили границы полей.

Ключевые слова: архитектура U-net, алгоритм, сегментация, дистанционное зондирование, нейронная сеть, машинное обучение.

M. Zh. Kaldarova¹, A. S. Akanova², N. M. Kashkimbayeva³

^{1,2,3}S. Seifullin Kazakh Agro Technical University,

Republic of Kazakhstan, Astana

Material received on 15.12.22

USING THE U-NET ARCHITECTURE OF A NEURAL NETWORK WHEN SEGMENTING THE ACREAGE OF AGRICULTURAL LAND

The object of the research is the segmentation of satellite images in determining the acreage of agricultural land, which is currently being intensively developed. In this work, monitoring of the acreage of agricultural land is provided by segmentation of space (satellite) images obtained as a result of remote sensing. The main segmentation method is a neural network, a modified U-net architecture, in which the Intersection Over Union function is implemented as an error function. For RGB and NIR channels, two coding blocks were used, combined into a central block. Using the Intersection Over Union function helps to get more accurate data in the case of segmentation, and the granularity coefficient increases. Adding the Intersection Over Union function as an additional layer to the original U-net architecture allows using satellite images to display information about the cultivated areas and their main boundaries, i.e. the designated boundaries of each valley. The intersection by the initial specified feature is a measure of the accuracy of determining the corresponding objects in a certain data set. This method is usually used in HOG + Linear SVM and convective neural network detectors (R-CNN, Faster R-CNN, YOLO, etc.). In our case, we introduced the U-net architecture as an additional layer and defined the boundaries of the fields.

Keywords: U-net architecture, algorithm, segmentation, remote sensing, neural network, machine learning.

Теруге 15.12.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

3,44 Мб RAM

Шартты баспа табағы 23.59. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4019

Сдано в набор 15.12.2022 г. Подписано в печать 30.12.2022 г.

Электронное издание

3,44 Мб RAM

Усл. печ. л. 23.59. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4019

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz