



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(КарНЦ РАН)

ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, 185910
тел. (8142) 76-97-10, 76-60-40, факс 76-96-00 E-mail: krcras@krc.karelia.ru
ОКПО 02700018, ОГРН 1021000531133 ИНН/КПП 1001041594/100101001

УТВЕРЖДАЮ



И. о. Генерального директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук»
член-корреспондент РАН,
доктор биологических наук

О.Н. Бахмет

«19» декабря 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» на диссертационную работу Молина Александра Евгеньевича «Нейросетевые методы анализа азотного статуса зерновых культур по снимкам БПЛА в точном земледелии», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Актуальность темы, цель и задачи диссертации

Развитие технологий дистанционного зондирования Земли, интеллектуального анализа данных, а также развертывание систем спутниковой навигации позволяют внедрить в сельское хозяйство высокие технологии точного земледелия нацеленных на повышение урожайности при снижении трудовых и ресурсных затрат, и на снижение вреда наносимое экологии и здоровью человека. Точное земледелие является одной из наиболее современных форм сельского хозяйства, обеспечивающее управление урожайностью сельскохозяйственных культур (и далеко не только), и относится к основам продовольственной безопасности России. Одним из аспектов применения таких технологий является дистанционное измерение агрохимических показателей зерновых культур при помощи алгоритмов интеллектуального анализа данных. Поскольку диссертационная работа Молина Александра Евгеньевича посвящена вопросу мониторинга азотного питания зерновых культур как элементу точного земледелия, ее актуальность не вызывает сомнений.

Целью диссертационной работы является разработка и апробация нейросетевых методов анализа азотного статуса зерновых культур по снимкам сельскохозяйственных

полей, сделанных беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) и комплекса программ на их основе.

Для этого были сформулированы и решены следующие задачи:

- построен набор данных для обучения, тестирования и апробации методов анализа азотного статуса зерновых культур посредством закладки тестовых площадок с известным уровнем азота на опытных сельскохозяйственных полях, проведения мультиспектральной съемки БПЛА этих полей в течении периода созревания растений и построения ортофотопокрытий на их основе;
- разработана процедура извлечения и обработки изображений тестовых площадок на опытных сельскохозяйственных полях;
- разработан алгоритм генерации и расширения (аугментации) размеченных синтетических данных, представляющих собой фрагменты изображений тестовых площадок с разным уровнем азота, и необходимых для обучения и проверки качества методов сегментации уровня азота зерновых культур;
- разработаны нейросетевые методы анализа азотного статуса зерновых культур по снимкам БПЛА, основанные на современных нейросетевых архитектурах;
- проведены вычислительные эксперименты с обучением и тестированием разработанных нейросетевых методов анализа азотного статуса зерновых культур, дающих наиболее точные прогнозы в данной задаче;
- проведены вычислительные эксперименты с различной комбинацией каналов мультиспектрального изображения для выбора комбинации с максимальными значениями качественных показателей прогноза;
- на основе разработанного нейросетевого метода разработан комплекс программ для построения карты уровней азота зерновых культур на сельскохозяйственном поле.

Новизна полученных результатов

Выносимые на защиту результаты являются новыми, к ним можно отнести следующие.

Разработан подход к построению наборов данных для обучения нейронных сетей, тестирования и апробации методов анализа азотного статуса зерновых культур, основанный на следующих шагах:

1. реальной закладке тестовых площадок, размеченных агрономами-экспертами по уровню азота на опытных сельскохозяйственных полях,

2. мультиспектральной съемке с помощью БПЛА этих полей в течение периода созревания растений,

3. построения на основе фотоснимков ортофотопокрытий, то есть это цифровых трансформированных изображение местности, созданных по перекрывающимся исходным фотоснимкам.

Разработано методологическое и алгоритмическое обеспечение для обработки снимков БПЛА тестовых площадок на опытных сельскохозяйственных полях и генерации синтетических данных из фрагментов этих изображений с разным уровнем азота, необходимых для обучения и проверки качества методов сегментации уровня азота зерновых культур.

Разработан комплекс нейросетевых методов анализа азотного статуса зерновых культур по снимкам БПЛА, основанных на использовании современных нейросетевых архитектур к задачам сегментации изображений.

Исучено влияние различных комбинаций каналов мультиспектральных снимков с камеры БПЛА на точность сегментации уровня азота и предложена методика

использования этих комбинаций для разработки точных нейросетевых методов в решении поставленных задач.

Разработаны и апробированы информационные технологии анализа состояния азотного питания растений зерновых культур на ортофотоплане выбранного сельскохозяйственного поля, составления карты заданий для сельхозмашин и дифференцированного внесения азотных удобрений в контексте задач точного земледелия.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость заключается в разработке комплекса методологических и алгоритмических подходов и программных инструментов на их основе, позволяющая повысить эффективность решений задач точного земледелия, связанных с точечной оценкой азотного статуса зерновых культур на сельскохозяйственном поле с помощью мультиспектральных и гиперспектральных данных дистанционного зондирования.

Практическая ценность разработанных нейросетевых методов определяется их сравнительно низкими трудозатратами за счет использования оптических показателей зерновых культур без необходимости проведения дорогих полевых исследований.

Содержание работы

Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Во введении сделан общий обзор и обсуждение задач, рассматриваемых в диссертационной работе, и проводится краткий анализ научных публикаций по теме исследования.

Первая глава посвящена рассмотрению вопросов, связанных со сбором данных и их подготовке для последующего применения в задачах точного земледелия. В ней производится обзор уже существующих наборов данных и возможность их применения в задачах, решаемых в диссертационной работе.

Дается описание экспериментального полигона, список используемого оборудования для съемок и его технические характеристики, а также условия, при которых проводились съемки.

Описывается процесс сбора данных и предобработки полученных снимков.

Представлены примеры применения полученных данных в задачах точного земледелия, а также результат эксперимента по задаче определения азотного режима посевов на основе анализа аэрофотоснимков методами машинного и глубокого обучения. Выявлено, что нейросетевые методы в рассмотренной задаче обладают намного большей точностью, чем классические методы машинного обучения.

В конце главы даны общие выводы, в которых выделяются основные преимущества созданного набора данных, и дается пример его практического применения в актуальных задачах точного земледелия.

Во второй главе исследуются методы увеличения объема данных для обучения нейросетей, необходимость которого является следствием ограниченного количества имеющихся исходных данных.

Рассматривается проблематика недостатка обучающих данных, производится обзор существующих методов сбора данных в области точного земледелия для обучения и их ограничений, а также обзор уже существующих методов аугментации изображений для расширения объема данных (то есть увеличение выборки данных для обучения посредством модификации имеющихся данных).

Подробно описывается предобработка собранных данных на примере снимков двух сельскохозяйственных полей и приводится общая схема предложенных методов генерации синтетических данных создающие новые изображения путем смешивания исходных снимков тестовых площадок. Затем описываются алгоритмы работы пяти предложенных методов: на основе построения рядов, парабол и три на основе построения пятен.

Перечислены алгоритмы, которые были использованы для тестирования методов генерации синтетических данных, параметры обучения нейросетевых моделей, метрики для оценки точности работы алгоритмов. В частности перечислены архитектуры сверточных нейронных сетей и трансформеров, а также классические алгоритмы машинного обучения.

Приведены результаты вычислительного эксперимента для алгоритмов глубокого обучения и классических алгоритмов машинного обучения, дающие возможность сравнительного анализа.

В конце главы даются общие выводы по выбору предпочтительного метода генерации синтетических данных согласно полученным результатам и планы по дальнейшим исследованиям.

В третьей главе рассматриваются аспекты практического применения нейросетевых алгоритмов в задаче точного земледелия: определения уровня азота с целью с целью принятия эффективных агроуправленческих решений.

Производится обзор методов сбора данных о состоянии сельскохозяйственных полей и методов их дальнейшего анализа. Дается обоснование, что использование мультиспектральных снимков поля и нейросетевых методов позволит решать многие задачи в области точного земледелия, в том числе и поставленную задачу по определению уровня азота при этом значительно экономя затраченные ресурсы и время.

Подробно и скрупулезно описывается область исследований и работа с полученными данными. Дается описание биополигона: географическое расположение и условия роста растений; сельскохозяйственных полей, на которых проводились исследования по получению мультиспектральных снимков и закладке тестовых площадок – небольшие участки поля, на которые вносилась известная доза азотных удобрений. Указана корреляция между оптическими характеристиками зерновых культур и реальным содержанием азота в растениях. Описан включающий в себя четыре этапа общий процесс составления карты уровней азота для сельскохозяйственного поля. Перечислено оборудование, используемое в авиационном комплексе и его технические характеристики. Описаны этапы сбора аэрофотоснимков. Предоставлены параметры аэрофотосъемки для каждой мозаики снимков, из которых в дальнейшем были собраны ортофотопокрывтия. Была проведена дополнительная обработка для улучшения качества и созданы дополнительные слои для расширения набора данных. Дано описание каналов мультиспектральной камеры с помощью, которой были сделаны аэрофотоснимки, а также дополнительный слой обучающих данных, на котором отмечены тестовые площадки с градацией уровня азота. Дано описание процесса получения исходных данных для двух сельскохозяйственных полей, которые в дальнейшем используются для создания синтетических данных при помощи разработанного алгоритма, описанного в предыдущей главе. Перечислены параметры дополнительной аугментации данных во время процесса обучения. Приводится общая схема процесса обучения нейронных сетей. Перечислен ряд параметров обучения и техник позволяющих добиться качественных моделей с наиболее точным прогнозом сегментации уровня азота.

Дан подробный обзор и описание пяти нейросетевых архитектур, использованных в вычислительных экспериментах данного исследования: U-Net и производные модификаций, имплементирующие различные техники улучшения точности сегментации.

Приведены общие параметры, при которых проводилось обучение нейросетевых моделей. Перечислены наиболее популярные метрики для оценки точности результатов сегментации и приведены формулы двух дополнительных коэффициентов. Перечислено аппаратное и программное обеспечение, использованное в вычислительных экспериментах. Представлены результаты вычислительного эксперимента для двух сельскохозяйственных полей при разных размерах батча. На основании полученных результатов была выбрана нейросетевая модель, показавшая наилучшие результаты и также были выбраны наиболее оптимальные параметры её обучения. Представлены результаты вычислительного эксперимента, целью которого было выявить наилучшую комбинацию каналов из мультиспектральных снимков для обучения нейросетевых моделей. Дана визуализация результатов сегментации двух сельскохозяйственных полей сделанные при помощи нейросетевых моделей показавших наилучшие результаты.

Указаны ограничения предложенного метода для решения рассмотренной задачи, приведены дальнейшие направления исследований для улучшения и универсализации метода, подробно писан набор технологий и дана общая концепция конечного продукта, в рамках которого будет реализован метод.

В конце главы даются общие выводы по результатам проведенных исследований продемонстрировавшие практическую осуществимость предложенного решения. В конечном итоге были выбраны алгоритмы, параметры и набор данных, позволившие достигнуть наилучших результатов и создать общий метод для улучшения питания сельскохозяйственных культур и повышения урожайности.

В заключении подведены итоги исследования и сформулированы основные выводы.

Основные выводы диссертации полностью соответствуют целям, задачам и положениям, выносимым на защиту.

Апробация работы и публикации

Основные результаты по теме диссертации изложены в 7 печатных изданиях, 1 из которых издана в журнале, рекомендованном ВАК, 2 — в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 4 — в тезисах докладов.

Результаты диссертационной работы были представлены на 4 конференциях, в том числе двух профильных, и международной выставке «КАРТОФЕЛЬ И ОВОЩИ АГРОТЕХ».

Замечания

Имеется ряд замечаний:

1. Наблюдается терминологическая путаница в базовых определениях компьютерных наук. На стр. 8 говорится «... Разработанный программный комплекс будет интегрирован в единую систему ...», а на стр. 13 в положениях, выносимых на защиту, говорится о «комплексе программ». Как известно, программный комплекс — это набор взаимодействующих программ, согласованных по функциям и форматам, имеющих единообразные, точно определённые интерфейсы и составляющих полное средство для решения больших задач. Очевидно, что в работе не разработан программный комплекс, речь может идти о «комплексе программ» как некоторым наборе «инструментов», предназначенных для решения определенной последовательности задач.

2. В работе отсутствуют свидетельства о регистрации программ и/или баз данных, что существенно подкрепило бы содержательную часть работы с формальной стороны и закрепило бы правообладателя.

3. Утверждение на стр. 8 «Практическая ценность разработанных нейросетевых методов определяется их низкими трудозатратами за счет использование оптических показателей зерновых культур без необходимости проведения дорогих полевых исследований» представляется поверхностным, поскольку нигде далее в работе не сравниваются затраты, требуемые для предлагаемых методов и для полевых исследований.

4. Гораздо больше о практической ценности работы могло бы дать заключение Агрофизического научно-исследовательского института, учитывая, что «... сельскохозяйственные поля находятся на биополигоне Агрофизического научно-исследовательского института» (стр. 30). Однако такое заключение отсутствует.

5. В тексте используются термины, не имеющие отношения к сути работы и служащие как «украшения», например, «тензорный процессор», «интернет вещей».

6. Имеется большое количество опечаток, неточностей и лишних фраз, укажем некоторые из них:

- на стр. 12 отдельный абзац представляет собой слово «Благодарности», непонятно кому и зачем;

- на стр. 80 зачем-то еще раз сформулирована цель диссертационной работы, полностью дублирующая цель, изложенную на стр. 6;

- на стр. 80 дважды употребляется фраза «Основные результаты работы заключаются в следующем» (второй абзац сверху и второй абзац снизу), причем в первом случае после нее следует ряд достаточно очевидных утверждений, не имеющих прямого отношения к результатам.

Выводы

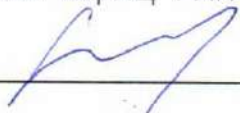
Диссертационная работа «Нейросетевые методы анализа азотного статуса зерновых культур по снимкам БПЛА в точном земледелии» является законченным самостоятельным научным исследованием, выполненным на хорошем научном уровне. В работе представлено решение задачи, имеющей большое значение для обеспечения продуктовой безопасности Российской Федерации – повышение урожайности зерновых культур и снижение содержания нитратов в продуктах. Результаты опубликованы в авторитетных научных журналах и доложены на ряде научных конференций.

Перечисленные в замечаниях недостатки не влияют на окончательную положительную оценку работы.

Диссертация Молина Александра Евгеньевича на тему «Нейросетевые методы анализа азотного статуса зерновых культур по снимкам БПЛА в точном земледелии» по специальности 2.3.1. – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика соответствует основным требованиям, установленным Приказом № 11181/1 от 19.11.2021 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете» (с изменениями и дополнениями), а ее автор – Молин А.Е. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Доклад Молина Александра Евгеньевича по теме диссертации заслушан на научном семинаре ИПМИ КарНЦ РАН 29 октября 2024 года.

Отзыв составлен доктором технических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории математической кибернетики ИПМИ КарНЦ РАН Печниковым Андреем Анатольевичем.


_____ А.А. Печников

Отзыв на диссертацию Молина Александра Евгеньевича обсужден и поддержан на заседании Ученого совета Института прикладных математических исследований КарНЦ РАН 26 ноября 2024 г., протокол № 10.

Отзыв на диссертацию Молина Александра Евгеньевича рассмотрен и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН» 12 декабря 2024 г., протокол № 11.

Председатель Ученого Совета КарНЦ РАН
Член-корр. РАН, д.б.н.


_____ О.Н. Бахмет

Собственноручные подписи
А.А. Печникова и О.Н. Бахмет удостоверяю:

Ученый секретарь КарНЦ РАН
19 декабря 2024 г.




_____ Н.Н. Фокина

Сведения о ведущей организации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» (КарНЦ РАН)

Адрес: 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11

Телефон: +7(8142)766040

Факс: +7(8142)769600

Электронная почта krcras@krc.karelia.ru

Web -сайт: <http://www.krc.karelia.ru>