

Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение
города Москвы «Школа № 825 имени В.А. Караковского»

Проектная работа
«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ НАШЕЙ ТЕПЛИЦЫ»

Выполнил: ученик 9 класса «А»

ГБОУ «Школа №825»

Рябов Александр Константинович

Руководитель:

Алексеев Александр Владимирович

Москва, 2023

1 Оглавление

1	Оглавление	2
2	Введение	4
2.1	Обоснование выбора темы	4
2.2	Актуальность исследования	4
2.3	Методика выполнения работы	5
3	Теоретическая часть	6
3.1	Томаты (ботаническое описание и биологические особенности)....	6
3.2	Болезни томатов	9
3.3	Профилактика болезней томатов и рекомендации по их уменьшению	14
3.4	Выбор алгоритма классификатора	17
4	Практическая часть	18
4.1	Этапы создания нейронной сети.....	18
4.2	Сбор данных для обучения.....	19
4.3	Подготовка данных	19
4.4	Нормализация данных	20
4.5	Выбор топологии нейронной сети.....	21
4.6	Выбор размера нейронной сети	23
4.7	Контроль обобщающей способности сети	24
4.8	Выбор языка программирования	24
4.9	Анализ входные параметры	25
4.10	Выбор библиотек для реализации нейронной сети	25
4.11	Подготовка изображений	26

4.12 Экспериментальный подбор характеристик нейронной сети и параметров обучения	29
5 Создание мобильного приложения.....	36
6 Заключение.....	37
7 Список литературы.....	39

2 Введение

2.1 Обоснование выбора темы

Много лет на даче мы выращиваем различные растения, большую часть посадки занимают томаты. В последнее время появилась тенденция снижения урожайности томатов в нашей теплице, хотя объемы посадки не уменьшались, сорта томатов не менялись, процессы высадки саженцев и ухода за растениями оставались теми же. Мы заметили, что если раньше листья томатов были зеленые, то сейчас появились пораженные листочки. Такая картина наблюдается и у наших знакомых. Мы решили узнать, какие существуют болезни томатов, и какие способы их устранения.

2.2 Актуальность исследования

Начинающие огородники, выращивающие томаты, могут столкнуться с проблемой резкого уменьшения урожайности из-за поражения томатов болезнью. Это может значительно уменьшить урожай. Для того, чтобы легче было определить, какая болезнь томатов присутствует в конкретном случае, мы решили разработать собственную программу и мобильное приложение, которые не только определяют заболевания томатов, но и выдают рекомендации по устранению заболевания.

Проблема – снижение урожайности томатов из-за их болезней, позднего их обнаружения и незнания способов их устранения.

Продукт проектной работы – программная система для мобильных устройств с функцией классификации заболеваний томатов по внешнему виду листьев и выдающая рекомендаций по дальнейшему уходу за растениями.

Цель работы: создать программу для мобильных устройств, которая может определить заболевания томатов по внешнему виду листьев, и выдать рекомендации по дальнейшему уходу за растениями.

Задачи работы:

1. Изучить литературу по представленной теме.

2. Создать базу изображений болезней томатов по внешнему виду листьев.
3. Написать программу для обучения нейронной сети по определению болезней томатов по внешнему виду листьев.
4. Провести исследования по определению наиболее подходящих параметров (топологии) нейронной сети для нахождения компромисса между качеством распознавания заболеваний томатов и скоростью её работы.
5. Проанализировать результаты исследования.
6. Апробировать данную нейронную сеть для определения болезней томатов на тестовой выборке изображений с болезнями томатов.
7. Сформулировать выводы по результатам исследования.
8. Создание приложения для компьютера, использующего обученную нейронную сеть, для определения болезней томатов по изображению их листьев и выдачи рекомендаций по их лечению.
9. Создать приложение для мобильных устройств, использующую обученную нейронную сеть, для определения болезней томатов по изображению их листьев и выдачи рекомендаций по их лечению.
10. Представить результаты работы одноклассникам.

Метод:

- Теоретический
- Экспериментальный
- Аналитический

Материалы и оборудования: компьютер, язык программирования Python, библиотека Tensorflow, библиотека Keras, библиотека PyPlot, библиотека ImageMagick, язык программирования Kotlin, IDE для создания мобильных приложений Android Studio, лупа, фотоаппарат.

2.3 Методика выполнения работы

Была изучена литература по болезням томатов, выделены болезни, которые могут быть определены по внешнему виду листьев. Найдены и отобраны изображения с болезнями томатов. Изучена литература по разработке нейронных сетей. Выбраны топологии нейронных сетей, которые будут участвовать в исследовании. Выбран язык программирования и библиотека для написания программы. Изображения преобразованы к единому формату, разделены на тестовую и проверочную выборки и размещены в структуре директорий под требования используемой библиотеки. Разработана программа для изучения нейронной сети. Проведены исследования эффективности обучения выбранных топологий нейронных сетей с разными параметрами. Найдена топология, которая показала наибольшую точность определения болезней томатов на проверочной выборке, достигающая точности - 87%. Разработано приложение для мобильных устройств, использующее полученную нейронную сеть.

Над работой мы работали с июля 2021 года по февраль 2023 года.

3 Теоретическая часть

3.1 Томаты (ботаническое описание и биологические особенности)

Впервые томат был обнаружен в Южной Америке. После её освоения томат был завезён в Испанию и Португалию, затем в Италию и Францию, откуда распространился по всей Европе. В Россию томат завезли в 18 веке, в качестве декоративного ядовитого растения. Сначала вкус томата считали “неподходящим”, но благодаря великому русскому учёному Болотову томат распространился по России в качестве овощной культуры. Сначала томат высаживали только на юге страны, а теперь его высаживают повсеместно в промышленных масштабах и на садовых участках в открытом и закрытом грунте. [1]

Томат (*Solanum lycopersicum*) относится к роду Паслен (*Solanum*), семейству Пасленовые (*Solanaceae*). В народе томат называется помидором.

Стебель (полегающий или прямостоячий) достигает от 30 см до 2 метров. Лист рассеченный на крупные доли, непарноперистый, опушенный, зеленый с верхней стороны и светло-зеленый с нижней стороны.

Цветки мелкие, желтого цвета, собраны в соцветие – кисть. В цветке имеются и мужские и женские органы, поэтому томат считают факультативным самоопылителем.

Плод томата – многогнездная сочная ягода, округлой, приплюснутой, цилиндрической формы, желтого, зеленого или красного цвета. Семена мелкие, эллипсовидной формы, по краям заостренные, светло-коричневого или желтоватого цвета, опушенные. Прорастание семян при наличии благоприятных температур и влаги наступает через 3 - 4 дня, через 6 - 10 дней после всходов образуется первый настоящий лист, через 5 - 6 дней образуются еще 3 - 4 листа, затем каждый последующий лист образуется через 3 - 5 дней.

Томат имеет мощную стержневую корневую систему, которая уходит в глубину до 1 метра и распространяется в диаметре до 2,5 метров при безрассадном выращивании.

Самый распространенный способ размножения томата – семенами. Но, благодаря способности томата образовывать корни на любой части стебля, томат можно размножать черенками и боковыми побегами, которые также называют пасынками.

В культуре томат возделывают как однолетнее овощное растение.

По силе роста сорта томата разделяют на:

- - детерминированные – сорта, прекращающие свой рост после образования 2 - 6 кисти на главном и боковых побегах. Пасынки у таких сортов расположены только в нижней части стебля. Высота растений от 60 до 180 см. Выведены также супердетерминированные сорта, прекращающие свой рост после образования 2 - 3 кисти.
- - индетерминированные – сорта с неограниченным ростом стебля: основной побег завершается образованием цветочной кисти, пасынок, ближайший к цветочной кисти, продолжает рост стебля в

высоту, заканчивается цветочной кистью, затем новый пасынок продолжает рост стебля в высоту и так до первых морозов. Высота стебля может достигать 2 и более метров. Урожайность у таких сортов ниже, чем у детерминированных.

Сорта томатов разделяют по срокам созревания на раннеспелые, среднеспелые и поздние, по способам применения - на столовые, для консервирования, производства сока и другие.

В России получено большое количество сортов томатов (в Государственном реестре насчитывается более 700 сортов и гибридов этой культуры).

Томаты широко используются в России как в свежем, так и в переработанном виде (маринованные, соленые, в виде соусов, сока, томатной пасты и в составе различных блюд). Плоды томата содержат в себе сахара, органические кислоты, витамины, белки, аминокислоты, минералы, пектины, клетчатку и биологические активные вещества. В зависимости от спелости они могут содержать от 2,5 до 8,7 % сахаров. Плоды томата содержат в себе кислоты (яблочную, лимонную, янтарную и винную), что позволяет им при употреблении в пищу повышать аппетит и улучшать пищеварение.

Плоды томата также богаты на витамины: витамины С, А, В, В₂, В₆, В₃, В₉, Р, Е, К, калий, магний и железо, в них содержатся и никотиновая кофейная кислота, ликопин и биотин.

Томаты относятся к тепло-, свето- и влаголюбивой культуре. Оптимальный диапазон температур для их выращивания 22 - 25°C.

При выращивании томатов следует очень аккуратно относиться к соблюдению оптимальной влажности почвы. Не следует пересушивать почву и злоупотреблять поливом. Необходимо уделять внимание также уровню освещенности растений. При ее дефиците цвет листы бледнеет, бутоны опадают. Рассада выращивается при 12 - 14 часовом световом дне, а вызревание плодов при – 16 - 18 часовом.

Зимой выращивают рассаду, весной пересаживают в грунт или парники, где она будет находиться весь вегетативный сезон. При выращивании томатов внимание следует уделять рыхлению почвы, поливке, прополке, подкормке, обработке пасынков, сбору плодов, борьбе с болезнями и вредителями. К благоприятным удобрениям для томатов относятся азот и калий (в период интенсивного роста плодов), фосфор (в начале вегетации), микроэлементам - бор, медь, марганец, железо, магний, сера. [1]

3.2 Болезни томатов

Выращивая на своем участке овощи, каждый огородник получает удовольствие, когда их изобилие украшает обеденный стол. К сожалению, вырастить томаты бывает далеко не просто. Зачастую снижается урожайность из-за болезней томатов.

Болезни томатов желательно выявить как можно раньше, они могут повредить и другие растения. Причины, из-за которых поражаются томаты, могут быть различны: зараженный грунт, из-за использования зараженных семян или посадочного материала, разнесение заразы насекомыми - клещами, тлей, жуками, попадание сока больного растения здоровый томат. [2]

Также увеличить риски заражения томатов могут следующие факторы:

- переувлажнение почвы;
- механические повреждения растений, через которые проникает инфекция;
- частая посадка кустов томата;
- плохая вентиляция кустов.

Поэтому при выращивании томатов следует особое внимание уделять умеренному содержанию влаги, отсутствие резкой смены температур, дезинфицирующей обработке садового инвентаря, своевременная уборка спелых сорняков.

Выделяют следующие болезни томатов: грибковые, бактериальные и вирусные.

К грибковым относятся: фитофтороз, альтернариоз, фомоз или бурая на гниль, дидимеллёз (рак стеблей), септориоз или белая пятнистость, стебфилум или серая пятнистость, серая гниль, фузариозное и вертицилезное увядание, фузариозная корневая гниль, белая гниль или склеротиниоз, бурая (оливковая) пятнистость, антракноз, черная ножка томата, пробковая гниль корней, мучнистая роса.


К вирусным – столбур, мозаика, сложный или двойной стрик, бессемянность (аспермия) или кустистость верхушки, пятнистое увядание томата.

К бактериальным – бактериальный рак, черная бактериальная пятнистость, бактериальная крапчатость, бактериальное увядание томата. [3]

Болезни томатов определяются по внешнему виду листьев, плодов, стеблей и корней томатов.


В нашей работе мы решили создать нейронную сеть, которая будет определять болезни томатов по внешнему виду листьев растений.

Таблица 1 “Определение болезней томатов по внешнему виду листьев”. [4]

Название болезни томатов	Возбудители	Особенности внешнего вида листьев	Изображение
Фитофтороз	Споры грибов Phytophthora parasitica, Phytophthora capsici, Phytophthora dreschleri.	Коричнево-бурые пятна (расплывчатые или чёткие очертания).	

Альтернариоз	Грибок <i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>Lycopersici</i> .	Округлые пятна размером до 1,5 см коричневого или тёмно-бурого, иногда сероватого цвета с желтоватым ореолом.	
Мучнистая роса	2 грибка: <i>Oidium lycopersicum</i> и <i>Laveillula taurica</i> .	Пятна с белым налётом (верхняя и нижняя часть листа).	
Бурая (оливковая) пятнистость, кладоспориоз или листовая плесень томата	Грибок <i>Alternaria solani</i> .	На верхней стороне появляются мелкие, светло-зеленые пятна. Со временем они увеличиваются и становятся желтовато-коричневыми. На обратной части листовой пластины формируются пятна с серо-оливковым налетом, который потом переходит и на верхнюю часть листа. Потом эти пятна буреют и становятся темно-коричневыми. Больные листья скручиваются, засыхают и опадают.	

<p>Фузариозное и вертицилезное увядания</p>	<p>Грибы рода <i>Fusarium</i>.</p>	<p>Эти патогены при попадании в растение вызывают закупорку сосудов и как результат увядание всего куста. Позже односторонний или общий хлороз на листьях приводит к их скручиванию и усыханию, которое распространяется от нижних листьев к верху.</p>	
<p>Стемфилиум или серая пятнистость листьев</p>	<p><i>Stemphylium solani</i>, S. <i>Lycopersici</i>, S. <i>botryosum</i></p>	<p>Темно-серые или черные пятна размером около 3 мм, с хлоротичным ореолом на верхней стороне листьев. На нижней стороне листовой пластины хорошо видно расположение пятен, а во влажную погоду эти пятна покрываются налетом из грибного мицелия. Эти признаки очень схожи с альтернариозом и септориозом томата. Но в отличие от септориоза, при серой пятнистости пятна крупнее и расположены не так густо. В сравнении с альтернариозом пятна мельче и светлее.</p>	

Септориоз или белая пятнистость листьев	Грибок <i>Septoria lycopersici</i> .	Круглые некротические пятна, размером в 2-4 мм, темно-серого цвета, которые со временем увеличиваются. Потом они засыхают и на них появляются белые, серые или черные точки с темно-коричневой каймой.	
Фомоз или бурая гниль томата	Гриб <i>Phoma destructiva</i>	Темно-серые пятна с желтой каймой. Понемногу они разрастаются и зарастают черным спороношением. Фомоз по внешним признакам похож на альтернариоз, дидимеллёз и бурую пятнистость. Точный диагноз можно поставить только в специализированной лаборатории.	
Мозаика томатов	Палочковидный вирус <i>Tomato mosaic tobamovirus</i>	Листья имеют крапчатую окраску, затем деформируются и приобретают нитевидную форму. Растение замедляется в росте, не может завязать плоды и вскоре погибает.	

Микоплазмоз, или столбур, томатов	Mollicutes	<p>Листья недоразвитые, хлоротичные, розоватого или фиолетового оттенков. Чашелистики увеличены, сростаются и приобретают фиолетовый оттенок, а лепестки цветка зеленые. При прогрессировании болезни на поле визуально заметны пораженные участки, на которых не формируются плоды. Листья скручены, имеют неестественную окраску, со временем мельчают.</p>	
Бактериальная пятнистость	Бактерия <i>Xanthomonas</i> <i>campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i> (Doide) Dy.	Водянистые темные пятна, увеличивающиеся в размерах. Затем эти участки подсыхают и трескаются.	

3.3 Профилактика болезней томатов и рекомендации по их уменьшению

Совершенно неудивительно, что избавиться от болезней томатов очень тяжело, в некоторых случаях - фактически невозможно. Именно поэтому большое внимание следует уделять профилактике болезней томатов. К ним относятся:

- соблюдать севооборот – высаживать томаты на прежнее место не раньше, чем через 4 года, а также не размещать посадки после

картофеля, перца, баклажана и капусты; лучшие предшественники для томата – бобовые культуры, многолетние травы, огурцы и лук.

- проводить регулярный осмотр томатов, и убирать пораженные кусты.
- вовремя убирать прополотые растения.
- высаживать картофель и томаты на максимально удаленных друг друга участках;
- мульчировать органикой грядку с томатами;
- не загущать посадки, тем самым обеспечив растениям хорошую циркуляцию воздуха;
- регулярно прищипывать и пасынковать нижние листья на кустах томатов: в открытом грунте – до 1-й плодовой кисти, в защищенном – до 2 – 3-й;
- поливать растения только под корень, отказавшись от орошения кустов методом дождевания;
- обрабатывать томаты специальными препаратами, предотвращающими возникновение заболевания;
- следовать всем необходимым правилам агротехники: рыхление почвы, удаление сорняков, систематические поливы и внесение полезных элементов питания;
- после сбора последнего урожая и подготовке участка к зимовке проводить обеззараживание почвы биопрепаратами (например, Триходермин).

Рекомендации по устранению заболевания томатов, которые можно определить по внешнему виду листа.

Фитофтора

Обнаружив следы фитофторы на томатах, оборвите потемневшие листья или загнившие плоды, затем опрыскайте кустик солевым раствором (1 стакан поваренной соли на 10 л воды). Подсохнув, раствор образует на плодах

защитную пленку, которая сдерживает распространение инфекции. Также рекомендуется обработать пораженные кусты и соседние кусты фунгицидами (например, фитоспорином).

Альтернариоз

Грибок, проникая в растение, распространяет по нему ядовитый токсин, который разрушает сосудистую систему томатов. Это приводит к потере сока и высыханию, а также отмиранию листьев. Болезнь может не проявляться на зеленых плодах, но употреблять их в пищу нельзя.

Лечение следует проводить незамедлительно, чтобы не допустить дальнейшего распространения болезни. Лучшим средством для борьбы с сухой пятнистостью являются специальные фунгициды. Самыми эффективными препаратами считаются Ридомил Голд МЦ, Акробат МЦ, Квадрис, Танос, и Татту.

Первые обработки растений фунгицидами рекомендуется проводить сразу же после обнаружения пятен альтернариоза на листьях томата. Повторять процедуру необходимо каждые две недели 3 - 4 раза за сезон. [5]

Мучнистая роса

Для начала нужно удалить заражённые кисти и листья, после чего рекомендовано их сжечь. А также стоит аккуратно заменить грунт под побегом томата, так как именно в почве находится большинство грибниц возбудителя. Только после этого можно приступать к обработке культуры каким-либо средством.

Лечить мучнистую росу на помидорах можно опрыскиванием фунгицидами (Квадрис, Тиовит, Привент, Строби, Кумулус, Байлетон, Топаз, Джет). Советуют проводить обработку при первых признаках заболевания. [4]

Бурая пятнистость

Так как бурая пятнистость листовой является грибковым заболеванием, то для борьбы с ним используют противогрибковые препараты, а точнее, медьсодержащие фунгициды. [4]

Септориоз

Лечение септориоза проводят противогрибковыми средствами на основе меди и других компонентов. При использовании одного и того же фунгицида патогены становятся устойчивыми к его действию, поэтому агротехники рекомендуют чередовать препараты. Опрыскивание фунгицидами проводят 3 - 5 раз за сезон.

Лечение септориозной пятнистости заключается в обработке фунгицидами. Например, «Фундазолом», «Орданом» или «Превикуром». [4]

Мозаика томатов

Заметив первые признаки болезни необходимо немедленно уничтожить пораженные растения или отделить их от здоровых. Пораженные участки обрезают до здоровой ткани, а срезы обрабатывают марганцовкой, перекисью водорода или хлоргексидином. На начальной стадии заболевания растений плантацию можно обработать «Карбофосом» – это поможет защитить здоровые растения, поскольку патогенная микрофлора перестанет образовываться. Для приготовления такого раствора 75 г препарата растворяют в 10 литрах воды. Повторно обработку проводят через декаду. [2]

3.4 Выбор алгоритма классификатора

Задача классификации на сегодняшний день достаточно хорошо изучена, и разработано много методов для решения таких задач. У каждого из этих методов есть свои достоинства и недостатки, поэтому перед нами стоит задача подбора метода классификации наиболее подходящего для нашего случая.

Методы классификации можно разделить на статистические методы и методы машинного обучения. Достоинством статистических методов является их хорошая математическая обоснованность, но при этом их сложно использовать, т.к. требуют знания вероятностного распределения исходных данных, оценки параметров и фиксированную модель, поэтому эти методы еще называют параметрическими.

Классификация, основанная на методах машинного обучения, не требует оценки вероятностного распределения исходных данных, оценка категорий происходит с помощью функции расстояния, поэтому такие методы называют метрическими. Недостатком их является неточность и неоднозначность решений, т.е. результатом может быть несколько категорий. Поэтому нужно учитывать эту особенность. Такие методы, обычно, проще использовать и реализовывать.

Средним между параметрическими и метрическими методами является классификация данных с помощью нейронных сетей. Нейронные сети - непараметрическая модель, которая не требует знаний о вероятностном распределении классифицируемых данных. Также нейронные сети не используют функции расстояния. Все это позволяет использовать нейронные сети в качестве универсального классификатора, который способен выдавать результаты, в том числе и в случаях, когда параметрические и метрические методы не дают удовлетворяющего решения. [6]

4 Практическая часть

4.1 Этапы создания нейронной сети

Можно выделить следующие этапы создания нейронной сети:

- 1) сбор данных для обучения;
- 2) подготовка и нормализация данных;
- 3) выбор топологии сети;
- 4) экспериментальный подбор характеристик сети и параметров обучения;
- 5) обучение нейронной сети;
- 6) проверка адекватности обучения;
- 7) создание удобного инструмента для дальнейшего использования нейронной сети.

4.2 Сбор данных для обучения

Для обучения нейронной сети было сделано множество собственных фотографий, а также были собраны изображения томатов, взятых из Интернет источников. Заниматься данным проектом мы начали еще летом 2021 года. Мы сфотографировали пораженные листья томатов в нашей теплице и попросили знакомых и родственников прислать нам фотографии листьев их пораженных томатов. В сети интернет выбирались специализированные сайты, например, сайты агрокомпаний, справочники и т.д. и избегались сайты любительской и не профильной тематики.

В процессе сбора данных изображения сразу классифицировались и помещались в отдельную директорию, предназначенную для выбранного класса.

4.3 Подготовка данных

После сбора изображений удалось получить изображения для следующих категорий:

- Здоровые томаты
- Фитофтороз
- Альтернариоз
- Бурая пятнистость
- Мучнистая роса
- Септориоз
- Мозаика томатов
- Фомоз или бурая гниль
- Стемфилиум или серая пятнистость
- Микопламоз или столбур
- Фузариозное увядание
- Бактериальная пятнистость

Для последних пяти заболеваний достаточного количества примеров изображений найти не удалось:

- Фомоз или бурая гниль
- Стемфилиум или серая пятнистость
- Микоплазмоз или столбур
- Фузариозное увядание
- Бактериальная пятнистость

Поэтому было принято решение исключить их из списка категорий.

Изображения были приведены к единому формату хранения изображений JPEG для упрощения обработки. Для конвертирования изображений применялась утилита `magick` из пакета ImageMagick. [7]

Далее изображения были переименованы по шаблону <идентификатор категории>_<идентификатор изображения>.jpg

Для каждой категории была создана директория с названием категории. Изображения рассортированы по директориям.

4.4 Нормализация данных

Нейронная сеть имеет строго заданное количество входных параметров, поэтому необходимо преобразовать имеющиеся изображения к единому размеру. Тут необходимо соблюсти баланс: если изображение будет маленьким, нейронная сеть не будет иметь достаточно данных для классификации, если изображение будет большим, это сильно замедлит обучение и работу нейронной сети. Поэтому размер изображения будем подбирать экспериментальным путем.

При считывании изображения мы получаем трехмерную матрицу $M[x, y, z]$, где x - координата точки изображения по оси x , y - координата точки изображения по оси y , z - значение от 0 до 2 являющееся индексом списка каналов из трех значений RGB (Red, Green, Blue).

Следующим шагом необходимо будет привести размер изображения к единому размеру, чтобы все изображения имели одинаковое количество точек.

4.5 Выбор топологии нейронной сети

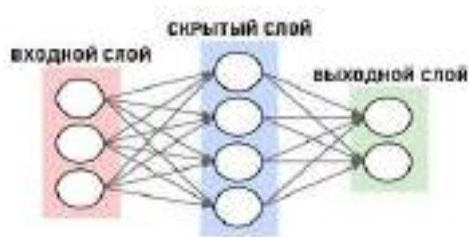
Выбор топологии нейронной сети будет зависеть от решаемых ею задач. Задачей для нашей нейронной сети является задача классификации входящих данных, а именно классификация болезней томатов по изображениям их листьев. Задачи классификации можно разделить на бинарную классификацию и на множественную. Бинарная классификация, как можно понять по названию, разделяет входные данные на 2 класса. Множественная классификация может использовать больше классов. Мы будем использовать множественную классификацию, т.к. у нас количество классов больше двух.

Специальных нейронных сетей для решения задач классификации не существует. Чаще всего для решения задач классификации используются нейронные сети прямого распространения. В таких нейронных сетях все связи направлены от входных нейронов в сторону выходных. Обычно используется многослойный персептрон.

Многослойный персептрон - нейронная сеть прямого распространения, в которой данные передаются одном направлении от одного слоя к другому. Многослойный персептрон можно условно разделить на следующие составляющие:

- входной слой, который образует множество входных параметров, так называемый слой сенсоров, который еще называют S-слой;
- один или несколько скрытых слоев, которые называют ассоциативными или А-слоями;
- выходной результирующий слой, формирующий результат работы нейронной сети, также называемый R-слой.

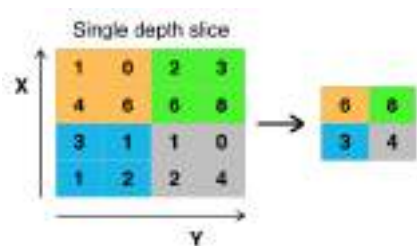
Схематично многослойный персептрон можно представить следующим образом:



В нашем случае выходной слой будет содержать строго определенное количество нейронов, равное количеству категорий, которые мы определяем. Каждый нейрон выходной сети будет сопоставлен одной из определяемых категорий. Результатом для каждой категории будет значение от 0 до 1, которое будет содержать вероятность того, что данные принадлежат к этой категории. Успешным результатом считается высокая вероятность для одной из категорий. Если две или более категорий имеют большие вероятности, такой результат считается “не уверенным”.

Количество слоев и их размер будем подбирать экспериментальным путем, сравнивая результаты. Основным критерием при подборе будет размер обучающих данных и способность сети к обобщению. Для обучения сети будем использовать алгоритм обратного распространения с проверкой на отдельном множестве. Также экспериментальным путем будем подбирать активационную функцию нейронов.

Если не получится обучить многослойный персептрон до необходимой точности, попробуем использовать сверточные нейронные сети. Сверточная сеть – специальная архитектура нейронной сети, которую предложил Ян Лекун в 1988 году. Целью данной сети является распознавание образов, т.е. сеть оптимизирована для работы с изображениями. В данной сети чередуются сверточные слои и пулинг слои. Сверточные слои для каждого канала изображения (R, G, B) используют свой отдельный фильтр, который обрабатывает входные параметры по фрагментам и уменьшает размер входных данных. Пулинг слой или слой субдискретизации уплотняет входные параметры, например, фрагмент 2x2 пикселя уплотняется до 1 пикселя. Чаще всего для этого используется функция максимума.



После нескольких сверточных слоев, данные передаются на обычную полносвязную нейронную сеть, при этом пространственное представление пикселей утрачивается и используются данные с малой размерностью.

4.6 Выбор размера нейронной сети

Количество связей между нейронами в нейронной сети влияет на достоверность получаемых результатов. Если связей будет мало, нейронная сеть не сможет выполнять задачу классификации входных данных с изображением томатов. При этом, если связей будет много, веса начнут работать как память, и, если количество связей превысит количество элементов в обучающей выборке, нейронная сеть просто запомнит и будет выдавать на каждый обучающий набор данных свой правильный ответ и не будет определять категорию данных, не участвующих в обучении. Такая нейронная сеть будет прекрасно работать на данных из обучающих примеров, но на другие данные будет выдавать произвольные ответы. В этом случае говорится, что сеть не приобрела обобщающих способностей. На практике такую нейронную сеть будет использовать бессмысленно.

Для выбора размера нейронной сети используют конструктивный подход и деструктивный подход. Конструктивный подход исходит из минимального размера нейронной сети. Сначала берется самый минимум и постепенно размер увеличивают, пока не добьются удовлетворительной точности. После каждого изменения размера сети, ее переобучают. При деструктивном подходе используется нейронная сеть с заведомо большим количеством связей, и постепенно удаляют связи, которые меньше влияют на результат. Стоит не

забывать правило, что количество примеров в обучающем наборе не должно быть больше, чем количество весов в настраиваемой сети.

4.7 Контроль обобщающей способности сети

Для контроля обученной сети необходимо использовать данные, которые не участвовали в обучении. Для этого случайным образом из обучающих примеров выбирается набор данных, которые исключаются из обучения, чтобы они не оказывали влияния на формирование весов нейронной сети в процессе обучения.

После обучения контрольные данные подаются на вход нейронной сети вместе с обучающими данными. Если результаты показывают достаточную точность на обучающих данных и на контрольной выборке, считается что сеть приобрела обобщающую способность. Если достаточная точность выдается только на обучающих данных, и плохая точность на тестовых данных, считается, что нейронная сеть не приобрела обобщающую способность.

Ошибки, полученные на обучающих данных, называют ошибкой обучения, а ошибки, полученные на контрольных данных, называют ошибкой обобщения.

Обобщающую способность нейронной сети можно улучшать увеличением количества обучающих данных или сокращением количества связей сети. Увеличивать количество данных не всегда возможно и ведет к дополнительным вычислительным операциям, а, следовательно, к увеличению времени, затрачиваемого на обучение. Сокращение числа связей нейронной сети приводит к снижению точности результатов, выдаваемых нейронной сетью. Поэтому, подбор размера нейронной сети – это компромисс между точностью и сложностью и требует проведения множества экспериментов.

4.8 Выбор языка программирования

Я выбрал язык программирования Python, т.к. он содержит большое количество библиотек и инструментария для работы с нейронными сетями, также язык Python обладает большим и развитым сообществом, а это значит, что будет легче найти информацию по интересующей нас теме.

4.9 Анализ входные параметры

Т.к. мы будем обучать нашу нейронную сеть много раз с различными параметрами, необходимо создать удобный для этого инструмент. Каждый раз исправлять программу и перезапускать неудобно, практичнее изменять параметры используя аргументы командной строки.

Параметры, которые будем подбирать:

- топология нейронной сети:
 - количество слоев;
 - тип каждого слоя;
 - количество нейронов в каждом слое;
- размер нормализованного изображения;
- количество эпох обучения.

Топологию нейронной сети затруднительно описать в аргументе командной строки. Даже если это реализовать, трудоемкость изменения такого параметра будет сравнима с трудоемкостью изменения кода программы. Но мы можем выделить создание модели нейронной сети в отдельные функции, и в дальнейшем, чтобы менять топологию, можно просто использовать разные функции.

4.10 Выбор библиотек для реализации нейронной сети

Во время исследования вопроса категоризации, я находил множество примеров использования нейронных сетей для распознавания изображений. При этом использовались различные библиотеки, в одних случаях профессиональные, которые позволяют настраивать множество параметров, в

других случаях менее профессиональные библиотеки, целью которых является упрощение создания нейронной сети ценой уменьшения настраиваемых параметров. В результате такие библиотеки получаются достаточно простыми для ознакомления и использования.

Больше всего документации и статей было найдено по библиотеке tensorflow, написанной сотрудниками Google и выложенной в открытый доступ. Существует библиотека надстройкой над tensorflow, которая называется Keras. Эта надстройка содержит множество простых в использовании функций и методов, которые скрывают множество настроек, выставленными значениями по умолчанию.

Помимо легкости использования есть еще один значительный плюс: после обучения нейронной сети, как результат, мы получим веса нейронной сети, сохраненные в формате tensorflow, который является очень распространённым форматом. Существует множество программ, преобразующие веса, сохраненные в tensorflow в другие форматы, что значительно расширит выбор программных средств для создания приложения для распознавания болезней томатов.

Еще одним несомненным плюсом в пользу выбора Keras будет наличие у него мощной библиотеки обработки изображений. Например, генератор ImageDataGenerator на вход может получать директорию, которая содержит для каждой категории изображений свою директорию. Библиотека автоматически считывает изображения нормализует их по заданным параметрам и, как результат, выдает набор данных для обучения нейронной сети в нужном формате с описанием категорий. Так же ImageDataGenerator может вносить шумы в исходные изображения путем внесения различных искажений (изменение масштаба, сдвиг, увеличение, поворот, зеркальное отражение по горизонтали и вертикали), чтобы как можно дольше избегать переобучения нейронной сети.

В силу вышеописанных плюсов было решено использовать библиотеку Keras.

4.11 Подготовка изображений

Т.к. Библиотека Keras уже имеет необходимый нам функционал в виде обработки изображения ImageDataGenerator, подготовим изображения к требуемому виду.

Изображения были рассортированы по отдельным папкам. Для каждой категории отдельная папка.

Структура директории с изображениями:

```
./training_set
  ./0/0_*.jpg
  ./1/1_*.jpg
  ./2/2_*.jpg
  ./3/3_*.jpg
  ./4/4_*.jpg
  ./5/5_*.jpg
  ./6/6_*.jpg
```

Чтобы номеру категории сопоставить название, был создан JSON файл с описанием категорий и соответствующих им папок.

```
{
  "name": "tomato",
  "categories": [
    {
      "id": 0,
      "name": "Здоровый",
      "path": "0",
      "hint": "Мы не обнаружили болезней на данном изображении."
    },
    {
      "id": 1,
      "name": "Фитофтороз",
```

```

    "path": "1",
    "hint": "Описание лечения фитофтороза"
  },
  {
    "id": 2,
    "name": "Альтернариоз",
    "path": "2",
    "hint": "Описание лечения Альтернариоза"
  },
  {
    "id": 3,
    "name": "Бурая пятнистость",
    "path": "3",
    "hint": "Описание лечения Бурой пятнистости"
  },
  {
    "id": 4,
    "name": "Мучнистая роса",
    "path": "4",
    "hint": "Описание лечения Мучнистой росы"
  },
  {
    "id": 5,
    "name": "Септориоза",
    "path": "5",
    "hint": "Описание лечения Септориоза"
  },
  {
    "id": 5,
    "name": "Септориоза",

```

```

        "path": "5",
        "hint": "Описание лечения Септориоза"
    },
    {
        "id": 6,
        "name": "Мозаика томатов",
        "path": "6",
        "hint": "Описание лечения Мозаика томатов"
    }
}

```

где:

name – название набора данных;

categories – объект с описанием категорий: ключ – название категории,

значение – объект с информацией о категории;

id – идентификатор категории;

path – название директории с изображениями для данной категории.

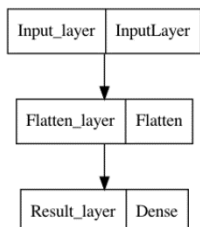
4.12 Экспериментальный подбор характеристик нейронной сети и параметров обучения

Для обучения выбираем метод обратного распространения ошибок, это один из видов обучения “с учителем”. В такой модели связи в нейронной сети не изменяются, до тех пор, пока реакция будет правильно. При неправильной реакции нейронной сети, связи немного изменяются, чтобы уменьшить ошибку.

Это один из самых популярных методов обучения многослойных персептронов. Достоинство этого метода в том, что он может обучить сразу все слои нейронной сети. Недостатком является медленная скорость расчетов.

Начнем с конструктивного подхода, т.е. создадим нейронную сеть, заведомо не способную выполнить нашу задачу, и подадим на нее картинки небольшого размера. Будем наблюдать результат и изменять параметры.

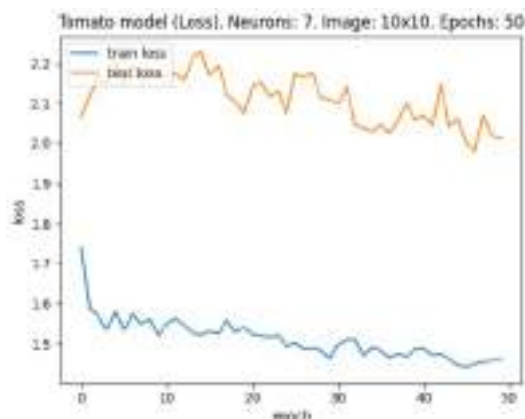
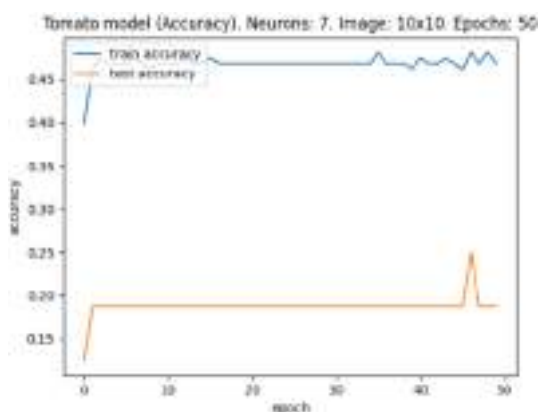
Для начала возьмем нейронную сеть с одним слоем, состоящим из 7 нейронов. Данный слой будет играть роль слоя с выходными данными.



Количество нейронов в слое: 7

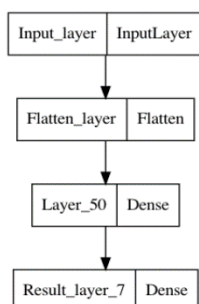
Размер изображений: 10x10

Количество эпох - 50



Как и предполагалось, сеть не показала никаких возможностей к обучению на наших данных. На первом графике показана точность нейронной сети на обучающих данных и на тестовых данных. На втором графике отображена функция потерь, эту функцию и пытается минимизировать нейронная сеть при обучении. Чем меньше этот показатель, тем лучше прошло обучение. В нашем случае функция потерь – это категориальная перекрестная энтропия (кросс-энтропия), чем меньше этот показатель, тем ближе предсказанное значение находится к обучающему значению. Как мы видим выше, на графике функция потерь для обучающих данных (train loss) уменьшается, но для тестовых данных (test_loss) остается примерно на одном уровне.

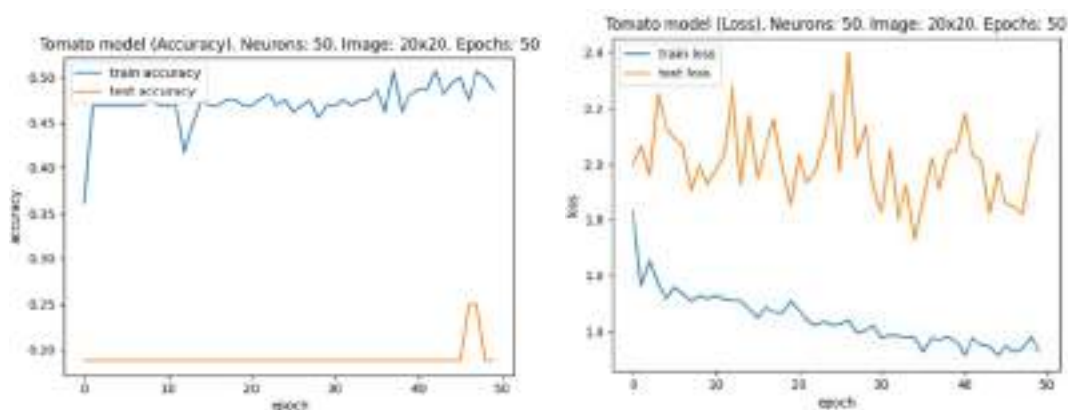
Увеличим количество связей в сети увеличив количество нейронов до 50 и размер картинки 20x20. Т.к. наш слой одновременно является результирующим, у него строго зафиксировано количество нейронов равное количеству категорий. Поэтому введем скрытый слой с 50-ю нейронами.



Количество нейронов в слое: 50

Размер изображений: 20x20

Количество эпох - 50

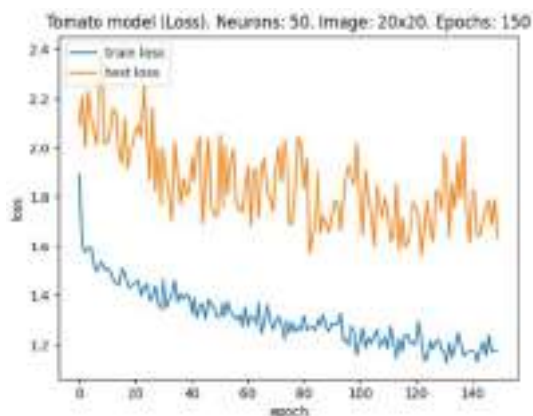
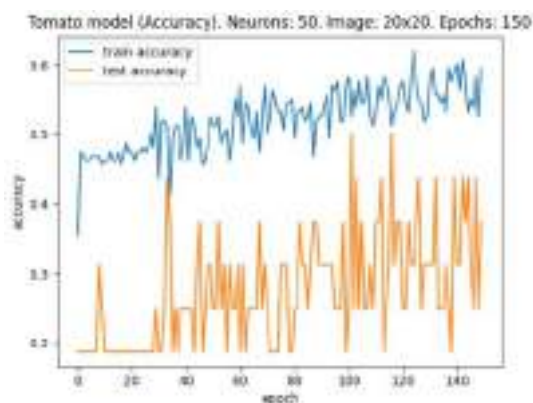


На графике можно наблюдать незначительное улучшение. Возможно не хватает количества эпох, можно сделать попытку с той же топологией, но продлить обучение.

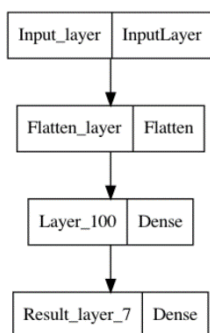
Количество нейронов в слое: 50

Размер изображений: 20x20

Количество эпох - 150



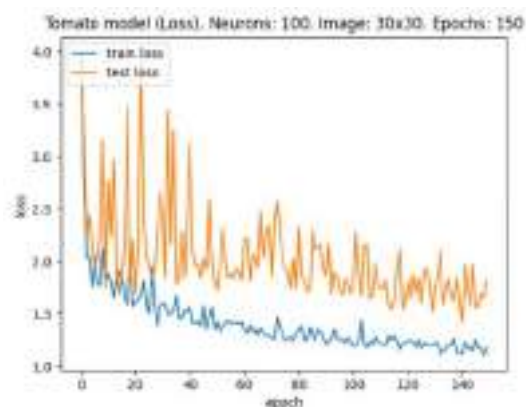
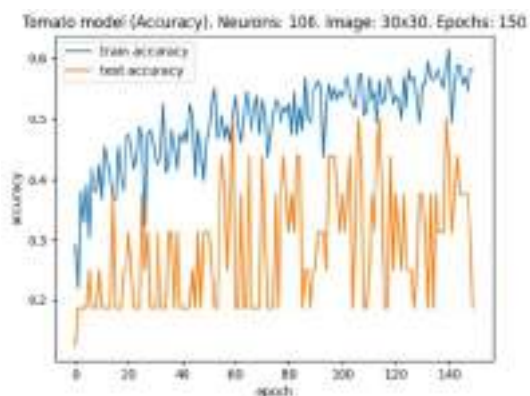
Увеличенная продолжительность обучения чуть улучшили, но это почти не повлияло на результат. Результат не превышает 50%. Значит необходимо дальше улучшать топологию. Еще немного увеличим размер изображений и количество нейронов в слое.



Количество нейронов в слое: 100

Размер изображений: 30x30

Количество эпох - 150



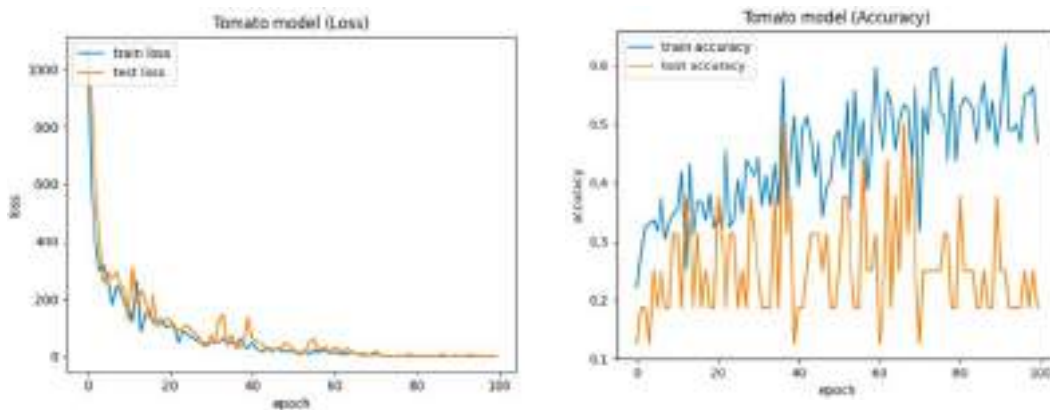
Наблюдаем улучшение: все чаще график достигает до 50%, но результат еще неудовлетворительный. Давайте значительно повысим количество

нейронов до 1000 и увеличим размер изображения. Это сильно увеличит количество весов в модели.

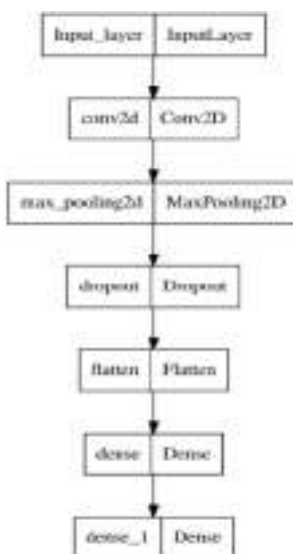
Количество нейронов в слое: 1000

Размер изображений: 300x300

Количество эпох - 100



Дальнейшее увеличение размеров картинки и количества нейронов, не привели к улучшению результата. Далее я решил попробовать сверточную нейронную сеть. Она должна работать эффективнее, т.к. сверточные слои учитывают взаимное расположение точек на изображении. Рекомендуется размер входного слоя брать так, чтобы он делился на 2 множество раз. Обычно берут 32, 64 для распознавания силуэтов, например, рукописного письма. Для более информационных изображений используют 224, 384, 512. [8]



Топология:

Входные сенсоры

Сверточный - слой 32 фильтра с фреймами 2x2

Поллинг - фреймами 2x2 с функцией max

Внесение шумов в результат

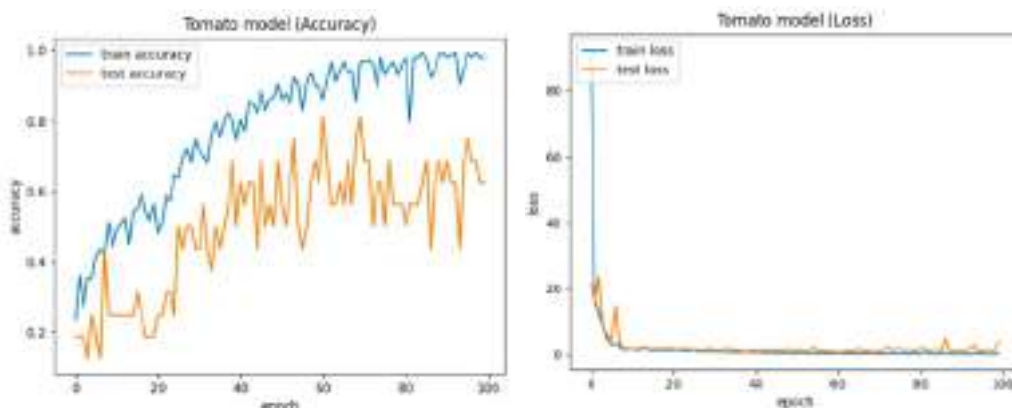
Развертка в одномерный массив

Персептрон - 32 нейрона

Выходной слой - 7 нейронов

Размер изображений: 244x244

Количество эпох - 100

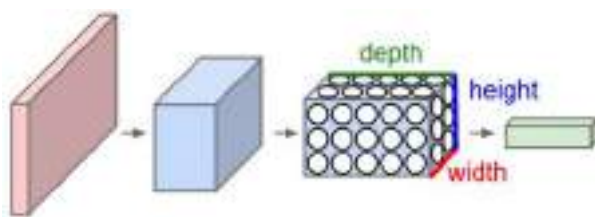


Тут мы видим значительный прирост точности до 87.5%. Хотя сеть в конце и потеряла точность, но у нас сохраняются лучшие результаты по проверочным данным.

Вывод программы при достижении лучшего результата.

Epoch 00053: val_accuracy improved from 0.75000 to 0.87500, saving model to ./checkpoint 7/7 - 4s - loss: 0.1659 - accuracy: 0.9367 - val_loss: 1.4815 - val_accuracy: 0.8750 - 4s/epoch - 619ms/step

Попробуем усложнить топологию и добавить еще один сверточный слой. Существуют рекомендации с послойным уменьшением данных увеличивать глубину. [8]



Поэтому попробуем следующую топологию:

Входные сенсоры

Сверточный – слой 32 фильтра с фреймами 2x2

Поллинг – фреймами 2x2 с функцией max

Внесение шумов в результат

Сверточный – слой 64 фильтра с фреймами 2x2

Поллинг – фреймами 2x2 с функцией max

Внесение шумов в результат

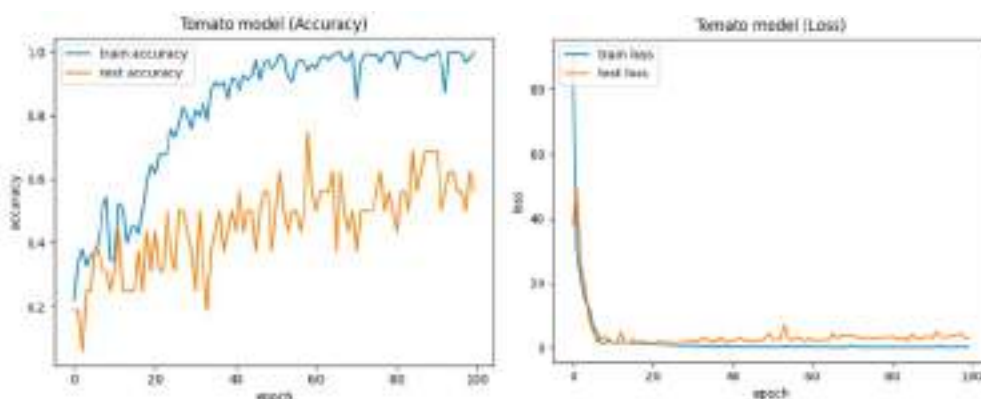
Развертка в одномерный массив

Персептрон – 32 нейрона

Выходной слой – 7 нейронов

Размер изображений: 244x244

Количество эпох – 100



Результат чуть хуже предыдущего. Вернемся к одному сверточному слою, который показал лучше результат, и попробуем увеличить количество связей за счет персептрона.

Топология:

Входные сенсоры

Сверточный – слой 32 фильтра с фреймами 2x2

Поллинг – фреймами 2x2 с функцией max

Внесение шумов в результат

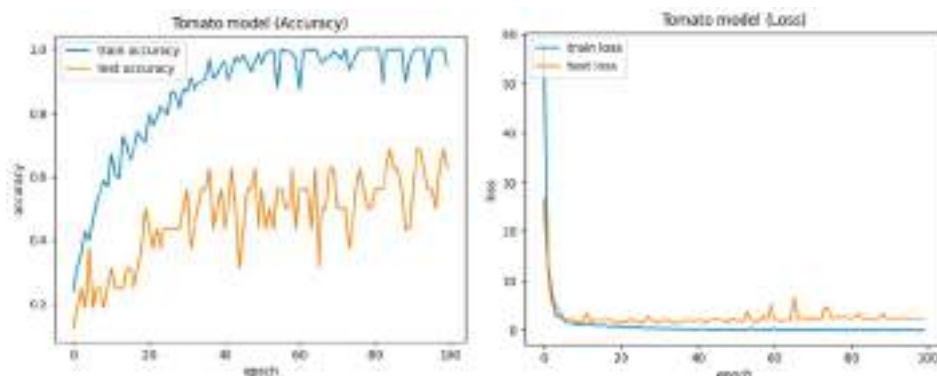
Развертка в одномерный массив

Персептрон – 64 нейрона

Выходной слой – 7 нейронов

Размер изображений: 244x244

Количество эпох – 100



Результат ухудшился. На данный момент лучший результат показала топология с одним сверточным слоем с 32 фильтрами и одним скрытым персептроном с 32 нейронами.

5 Создание мобильного приложения

Написание мобильного приложения, которое поддерживает несколько мобильных операционных систем, это сложный процесс. В рамках моей работы, я решил выбрать одну, самую распространенную мобильную операционную систему что бы приложение было доступно для максимального количества мобильных устройств.

По данным Statcounter Global Stats операционная система Android установлена на более 70% мобильных устройств по всему миру, а также в России. [9] [10] Поэтому я выбрал для написания мобильного приложения операционную систему Android.

За основу приложения я взял пример приложения предоставленный в документации библиотеки Tensorflow. Так же из документации стало понятно, что полученную нейронную сеть не получится использовать в мобильном приложении, т.к. библиотека Tensorflow для системы Android использует формат хранения нейросети tensorflow lite (tflite). Поэтому пришлось добавить функционал сохранения результатов обучения в необходимом формате.

Программа получает изображение из системной библиотеки, которая получает изображение с камеры мобильного устройства. Далее изображение

приводится к нужному формату и поступает на обработку в нейросеть. По результатам работы нейронной сети мы получаем оценки вероятностей для каждой категории. Если одна из категорий имеет вероятность значительно больше чем другие категории, такая категория считается искомым результатом. Чтобы в результат не попадали категории с низкой вероятностью, вводится порог (threshold) ниже которого результаты отбрасываются. Допустим, все категории получили равную вероятность, это значит, что нейросеть не может выделить один результат. В таком случае программа по порогу отбросит все результаты и не будет выводить категории в результат.

В результате получаем программу для мобильного устройства, которая позволяет делать анализ листьев непосредственно на месте выращивания растений.

6 Заключение

В результате анализа источников информации, разработки программы и проведении исследований, мы сформулировали следующие выводы.

Из рассмотренных видов нейронных сетей наибольшую точность в обучении показали сверточные нейронные сети. Исследование с количеством слоев и различными параметрами показало, что сильное увеличение количества связей не всегда приводит к лучшему результату.

В нашем случае, лучший результат показала одна из самых простых топологий сверточной нейронной сети следующего вида:

Входные данные: 224x224x3 (RGB)

Сверточный слой: 32 фильтра с фреймом (2x2)

Пуллинг слой с фреймом (2x2)

Слой с добавлением шумов

Слой уменьшения размерности данных

Персептрон с 32 нейронами

Выходной слой

Продукт данной работы – разработанная мобильная программа для распознавания болезней томатов, определяемых по внешнему виду листьев и выдачей рекомендаций по их уменьшению. В результате исследований и обучения нейронной сети удалось достигнуть точности распознавания 87%. Код программы был загружен на GitHub (<https://github.com/asasryabov/tomato>) [9].

В дальнейшем мы планируем увеличить количество изображений для обучения, что позволит повысить точность работы программы. Провести дополнительные исследования с другими топологиями нейронных сетей и различными параметрами, не затронутыми в данной работе, например, оптимизаторами. Расширить банк изображений томатов для определения болезней не только по внешнему виду листьев, но и по внешнему виду томатов и стеблей.

Добавить в программу блок распознавания образа листьев растения, и подавать на вход нейронной сети только часть изображения с листом, это поможет исключить влияние посторонних предметов и шумов на точность распознавания заболеваний.

7 Список литературы

1. Томат. *Агространа*. [В Интернете] 08 11 2013 г. <https://agrostrana.ru/wiki/280>.
2. Табачная мозаика томатов: описание и лечение вируса. *Строй-подсказка*. [В Интернете] <https://stroy-podskazka.ru/tomaty/bolezni/tabachnaya-mozaika/>.
3. Болезни томатов, фото, описание, и способы их лечения. *SEMENA.CC*. [В Интернете] 02 11 2020 г. <https://semena.cc/blog/bolezni-ovoshhnyh-kultur/bolezni-tomato-i-metody-borby-s-nimi/>.
4. Болезни помидор: 50+ заболеваний томатов с фотографиями и способами лечения, методы борьбы с помидорными вредителями, меры профилактики. *Дачный журнал "Моя сотка"*. [В Интернете] <https://moyasotka.com/ogorod/ovoshhevodstvo/tomatnye/pomidory/bolezni-tomato>.
5. Агроэнциклопедия: Альтернариоз у томатов. *How to grow news*. [В Интернете] <https://howtogrow.news/7-encyclopedia/176-alternarioz-u-tomato>.
6. Орешков, В. Классификация данных при помощи нейронных сетей. [В Интернете] <https://loginom.ru/blog/neural-classification>.
7. ImageMagick. *ImageMagick Studio*. [В Интернете] <https://imagemagick.org/index.php>.
8. Шмиг, А. Лекция курса CS231n: Свёрточные нейронные сети для распознавания образов. *Хабр*. [В Интернете] <https://habr.com/ru/post/456186/>.
9. Рябов, А. Tomato. *GitHub*. [В Интернете] <https://github.com/asasryabov/tomato>.
10. Табачная мозаика томатов: описание и лечение вируса. *Строй подсказка*. [В Интернете] <https://stroy-podskazka.ru/tomaty/bolezni/tabachnaya-mozaika/>.
11. В.С. Тутыгин, Аль Винди Басим Халид Мохаммед Али, И. А. Рябцев. Система распознавания болезней растений по изображениям листьев на основе нечеткой логики и нейронных сетей. *Журнал «Современная наука: актуальные*

проблемы теории и практики». [В Интернете] 03 2019 г. <http://www.nauteh-journal.ru/files/53526e76-2910-44c8-b3cf-28be2aa8b6aa>.

12. *Распознавание заболеваний растений на основе анализа их изображений глубокими нейронными сетями*. Щетинин, Е.Ю. Москва : RUDN University, 2020.

13. А. Джули, С. Пал. *Библиотека Keras - инструмент глубокого обучения. Реализация нейронных сетей с помощью библиотек Theano и TensorFlow*. Москва : ДМК Пресс, 2018.

14. Brownlee, J. Dropout Regularization in Deep Learning Models With Keras. *Machine learning Mastery*. [В Интернете] 20 06 2016 г. <https://machinelearningmastery.com/dropout-regularization-deep-learning-models-keras/>.