Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования

«Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина»

(ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина»)

Институт точных наук и информационных технологий

Кафедра информационных систем

Курсовая работа по дисциплине «Информационные системы»

**Использование нейронных сетей для классификации изображений**

Направление подготовки

09.03.03 Прикладная информатика

Направленность (профиль) программы

Прикладная информатика в экономике

Исполнитель:

Гончаров Игорь Валерьевич \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Личная подпись

Научный руководитель:

Канд. педагогических наук, доцент

Бабикова Надежда Николаевна \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Личная подпись

Сыктывкар

2022

**Оглавление**

[Аннотация 4](#_Toc100907531)

[Введение 5](#_Toc100907532)

[Анализ предметной области 7](#_Toc100907533)

[1.1 Понятие нейронной сети 7](#_Toc100907534)

[1.1.1 Искусственные нейронные сети и их составляющие 7](#_Toc100907535)

[1.1.2 Активационная функция нейрона 8](#_Toc100907536)

[1.1.3 Модели нейронов 9](#_Toc100907537)

[Перцептрон 9](#_Toc100907538)

[Сигмоидальный нейрон 11](#_Toc100907539)

[1.1.4 Архитектура нейронных сетей 12](#_Toc100907540)

[Сеть прямого распространения 12](#_Toc100907541)

[Сверточная сеть 15](#_Toc100907542)

[Глубокие нейронные сети 19](#_Toc100907543)

[1.2 Обучение нейронных сетей 20](#_Toc100907544)

[1.2.1 Общие понятия в обучении нейронных сетей 20](#_Toc100907545)

[Обучение с учителем и без учителя 20](#_Toc100907546)

[1.2.2 Гиперпараметры нейронных сетей 22](#_Toc100907547)

[Общие гиперпараметры 22](#_Toc100907548)

[1.2.3 Проблемы при обучении нейронных сетей 24](#_Toc100907549)

[Взрывающийся и затухающий градиент 24](#_Toc100907550)

[Переобучение 24](#_Toc100907551)

[1.2.4 Алгоритмы обучения нейронных сетей 24](#_Toc100907552)

[Проектирование системы 24](#_Toc100907553)

[2.1 Постановка задачи 24](#_Toc100907554)

[2.1.1 Функциональные требования к системе 24](#_Toc100907555)

[2.2 Показатели качества нейронной сети 25](#_Toc100907556)

[Реализация системы 25](#_Toc100907557)

[3.1 Обзор средств разработки 25](#_Toc100907558)

[3.2 Обучающая выборка 25](#_Toc100907559)

[3.3 Тестирование системы 25](#_Toc100907560)

[Заключение 25](#_Toc100907561)

[Список источников 25](#_Toc100907562)

# **Аннотация**

Целью данной курсовой работы является создание нейронной сети, решающей задачу классификации изображений определенного типа.

В курсовой работе были изложены основные проблемы, связанные с

данной темой и рассмотрены методы решения этих проблем. Были изучены основные принципы работы нейронных сетей.

Для реализации системы было решено использовать IDE PyCharm, язык Python, фреймворк TensorFlow.

Ключевые слова:

Сделать:

свои картинки

Перевод терминов (на анг.)

Формулы

# **Введение**

Объем информации в интернете с каждым годом увеличивается уже почти экспоненциально. Возникает необходимость обработки большого объема данных. На текущее время самый оптимальный способ – создание нейронной сети. Нейросетями обрабатывается любая информация, от графической до огромных массивов данных. В представленной работе рассматривается применение нейронной сети для выявления пневмонии по рентгенографии грудной клетки.

Далее два варианта объекта и предмета:

Объектом исследования является методология создания нейронных сетей. Предмет исследования – классификация изображений при помощи нейронных сетей.

Объектом исследования являются методы на основе нейронных сетей

для классификации изображений. Предмет исследования – изучение методов создания нейронных сетей.

Целью работы является создание нейронной сети и ее обучение на подготовленном наборе типовых изображений, для дальнейшего ее использования в качестве инструмента классификации изображений.

**Задачи исследования:**

* Анализ предметной области.
* Проектирование нейронной сети.
* Реализация нейронной сети на Python при помощи TensorFlow.
* Обучение сети и оценка результатов.

# **Анализ предметной области**

## **1.1 Понятие нейронной сети**

### **1.1.1 Искусственные нейронные сети и их составляющие**

Структура нейронной сети пришла в программирование из биологии. Нейронная сеть — это последовательность нейронов, соединенных между собой синапсами.

Нейронная сеть (также искусственная нейронная сеть, ИНС) представляет собой систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов). Нейрон — это вычислительная единица, которая получает информацию, производит над ней простые вычисления и передает ее дальше. Они делятся на три основных типа: входной (на Рис.1 слева), скрытый (посередине) и выходной (справа):



Рисунок 1 – схема простой нейронной сети

В том случае, когда нейросеть состоит из большого количества нейронов, вводят термин слоя. Входной слой получает информацию, n скрытых слоев, которые ее обрабатывают и выходной слой, который выводит результат. У каждого из нейронов есть два основных параметра: входные данные и выходные данные.

Возможность обучения — одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей(синапсов) между нейронами.

У синапсов есть только один параметр — вес. Умножаясь на вес, входная информация изменяется, когда передается от одного нейрона к другому. Связи с положительным весом называются возбуждающими, а с отрицательным — тормозящими.

В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. Это значит, что в случае успешного обучения сеть сможет вернуть верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке.

Нейронные сети используются для решения сложных задач, которые требуют аналитических вычислений подобных тем, что делает человеческий мозг. Самыми распространенными применениями нейронных сетей является:

* Классификация
* Предсказание
* Распознавание

Классификация – распределение данных по параметрам. В нашем случае –определить по рентгеновскому снимку здоровые легкие у человека или нет.

Предсказание – возможность предсказывать развитие событий. Например, рост или падение акций, основываясь на ситуации на фондовом рынке.

Распознавание – в настоящее время, самое широкое применение нейронных сетей. Используется для определения объектов на изображении, например, выделение людей и животных на фотографии.

### **1.1.2 Активационная функция нейрона**

В теории нейронных сетей активационной называется функция, аргументом которой является взвешенная сумма входов искусственного нейрона, а значением — выход нейрона:

(1.1)

(1.2)

где:

* x — взвешенная сумма входов нейрона;
* N — число входов нейрона;
* wi — вес i-го входа нейрона;
* si — значение, поступающее по i-му входу;
* f(x) — активационная функция;
* y — выходное значение нейрона (и, соответственно, активационной функции).

От вида и формы используемой активационный функции зависит выбор алгоритма обучения сети, а также качество ее обучения на конкретном обучающем множестве. Параметры активационной функции подбираются экспериментально в процессе обучения.

Основные активационные функции:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Название | График | Уравнение | Область значений |
| Единичная ступенька (функция Хевисайда) | C:\Users\Игорь\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\heww.png |  | {0, 1} |
| Логистическая (сигмоида или гладкая ступенька) |  |  | (0, 1) |
| Гиперболический тангенс | C:\Users\Игорь\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\th.png |  | (-1, 1) |
| Линейный выпрямитель (ReLU) | C:\Users\Игорь\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\relu.png |  | [0, ∞) |

Таблица 1 – Основные функции активации

### **1.1.3 Модели нейронов**

#### **Перцептрон**

Перцептрон — простейший вид нейронных сетей. В основе лежит математическая модель восприятия информации мозгом, состоящая из сенсоров, ассоциативных и реагирующих элементов. В самом общем своем виде он представляет систему из элементов трех разных типов: сенсоров, ассоциативных элементов и реагирующих элементов.

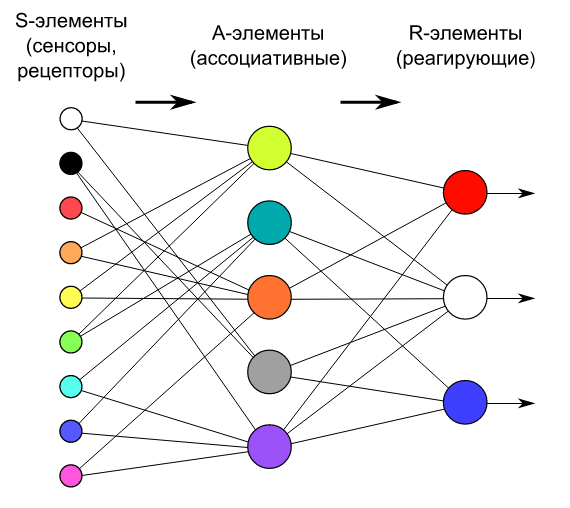


Рисунок 2 – схема перцептрона

Принцип работы перцептрона:

S-элементы находятся либо в состоянии покоя (сигнал равен 0), либо в состоянии возбуждения (сигнал равен 1). Далее сигналы от S-элементов передаются A-элементам по S-A связям. Эти связи могут иметь веса, равные только -1, 0 или 1. Затем сигналы от сенсорных элементов, прошедших по S-A связям попадают в A-элементы, которые еще называют ассоциативными элементами. Стоит заметить, что одному A-элементу может соответствовать несколько S-элементов. Если сигналы, поступившие на A-элемент, в совокупности превышают некоторый его порог, то этот A-элемент возбуждается и выдает сигнал, равный 1. В противном случае (сигнал от S-элементов не превысил порога A-элемента), генерируется нулевой сигнал.

Классификация персептронов:

*Персептрон с одним скрытым слоем.* Персептрон, у которого имеется только по одному слою S, A и R элементов.

*Однослойный персептрон.* Каждый S-элемент однозначно соответствует одному A-элементу, все S-A связи имеют вес, равный +1, порог A элементов равен 1.

*Многослойный персептрон.* Под многослойным персептроном понимают два разных вида: многослойный персептрон по Розенблатту и многослойный персептрон по Румельхарту.

* Многослойный персептрон по Розеблатту — персептрон, у которого имеется более 1 слоя А-элементов.
* Многослойный персептрон по Румельхарту — многослойный персептрон по Розенблатту, у которого обучению подлежат еще и S-A связи, а также само обучение производится по методу обратного распространения ошибки.

Даже небольшое изменение весов или смещения одного из перцептронов сети может кардинально изменить выходное значение, например, с 0 на 1. Поэтому в современных работах чаще всего используют другую модель искусственного нейрона — сигмоидальный нейрон.

#### **Сигмоидальный нейрон**

Сигмоидальные нейроны похожи на перцептроны, однако небольшие

изменения в их весах и смещениях незначительно изменяют выход нейрона. Это достигается путем использования неразрывной сигмоидальной функции активации.

Благодаря этому сеть из сигмоидальных нейронов может обучаться. На вход сигмоидального нейрона подаются любые значения между 0 и 1. На выходе также выдаётся значение между 0 и 1.

На практике используются как униполярные, так и биполярные функции активации.

Униполярная функция, как правило, представляется формулой:

(1.3)

Чем больше β (параметр наклона сигмоидальной функции активации), тем сильнее крутизна графика. При β → ∞ сигмоидальная функция превращается в функцию ступенчатого типа, идентичную функции активации персептрона.

Важным свойством сигмоидальной функции является её дифференцируемость.

Применение непрерывной функции активации позволяет использовать при обучении градиентные методы.

### **1.1.4 Архитектура нейронных сетей**

#### **Сеть прямого распространения**

Для решения задачи классификации (обучения с учителем), нейросеть получает на вход множество тренировочных примеров X с метками Y (labels).

Можно представить классическую нейросеть в виде вычислительного графа содержащего:

* входные вершины x;
* вершины, являющиеся нейронами со значениями их выхода a;
* вершины, отвечающие за bias b;
* ребра, умножающие значения выхода предыдущего слоя на соответствующие им коэффициенты матрицы весов w;
* гипотезу hw,b(x) — результат выхода последнего слоя.

Нейронная сеть в общем случае строится как соединение множества нейронов, объединенных в слои так, что выходы одного слоя являются входами следующего:



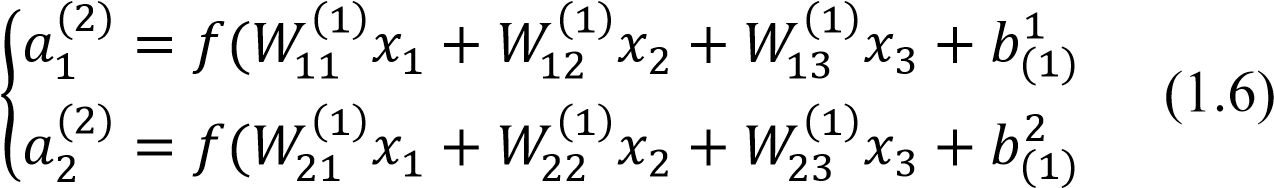
Рисунок 3 – схема сети прямого распространения

Самый левый слой сети называется входным, самый правый — выходным (на рисунке он состоит из одного нейрона), остальные слои называют скрытыми, потому что их значения отсутствуют в обучающем наборе. Таким образом, данная сеть содержит 3 входных нейрона, 3 скрытых и 1 выходной.

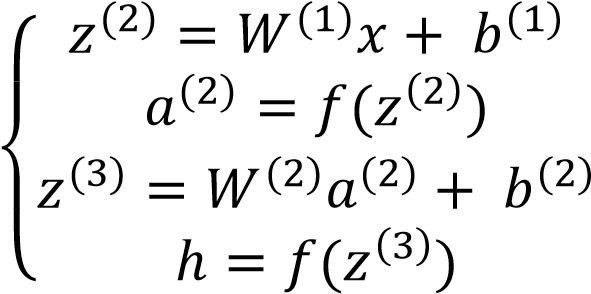
Нейрон смещения (bias нейрон) — его вход и выход всегда равняются 1 и они никогда не имеют входных синапсов. Соединения у нейронов смещения такие же, как у обычных нейронов — со всеми нейронами следующего уровня, за исключением того, что синапсов между двумя bias нейронами быть не может. Следовательно, их можно размещать на входном слое и всех скрытых слоях, но никак не на выходном слое, так как им попросту не с чем будет формировать связь. Нейрон смещения нужен для того, чтобы иметь возможность получать выходной результат, путем сдвига графика функции активации вправо или влево.

Нейросеть параметризуется значениями (*W,b*) = (*W*(1)*,b*(1)*,W*(2)*,b*(2)*,...*), где под понимается параметр, или вес, который отвечает соединению между *j*−м нейроном в слое *l* и *i*−м нейроном в слое *l* + 1. За  обозначается смещение или вес, который связан с константными единичными входами на каждом слое сети. Таким образом на рисунке выше *W*(1) ∈ R3×3 и *W*(2) ∈ R1×3.

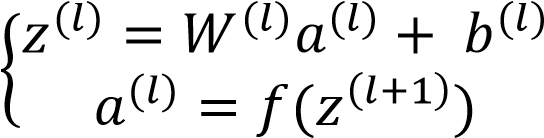
Результат применения функции активации обозначается ai для i-ого элемента. Получаем такую систему:

 (1.4)

Обозначив функцию суммирования через z, получим:

 (1.5)

Общая формула будет выглядеть таким образом:

 (1.6)

Эти преобразования называются прямым проходом или прямым распространением (forward propagation).

Сетью прямого распространения называются нейронные сети, которые используют выход одного слоя в качестве входных данных для следующего слоя.

У сети прямого распространения есть существенный недостаток – слишком много параметров. Например, нейросеть из 3 скрытых слоев, которой нужно обрабатывать картинки 100\*100 пикселей на входе будет иметь 10 000 пикселей, и они заводятся на 3 слоя. Иными словами, каждый нейрон такой сети получает на вход все пиксели изображения. В конечном итоге такая нейросеть будет иметь порядка миллиона параметров, т.е. классифицировать примеры по миллиону признаков.

Данный недостаток сетей прямого распространения исправлен в сверточных нейросетях.

#### **Сверточная сеть**

Сверточные нейронные сети (СНС) – класс нейронных сетей, специализирующихся на обработке данных, предствленных в виде матрицы (например, изображения).

СНС объединяют три архитектурных идеи, для обеспечения инвариантности к изменению масштаба, повороту сдвигу и пространственным искажениям:

* локальные рецепторные поля (обеспечивают локальную двумерную связность нейронов);
* общие коэффициенты нейронов (обеспечивают детектирование некоторых черт в любом месте изображения и уменьшают общее число весовых коэффициентов);
* иерархическая организация с пространственными подвыборками.

Как было сказано ранее, в сети прямого распространения каждый нейрон связан с каждым пикселем изображения, в то время как в сверточной сети происходит разбиение – каждый нейрон связан только с частью изображения. Достигается это посредством свертки изображения:



Рисунок 4 – свертка изображения

Происходит свертка посредством пропуска изображения через ядро свертки (Рис. 5 – convolution filter). Ядро свертки – это совокупность весов данного нейрона. Применяется ядро свертки на всех пикселях изображения последовательно. Ядро представляет из себя некий фильтр, который проходится по всей области предыдущей карты и находит определенные признаки объектов. Размер ядра обычно берется в пределах от 3х3 до 7х7. Если размер ядра маленький, оно не сможет выделить какие-либо признаки, если слишком большое, увеличится количество связей между нейронами.

В зависимости от метода обработки краев исходной матрицы результат может быть меньше исходного изображения (valid), такого же размера (same) или большего размера (full).

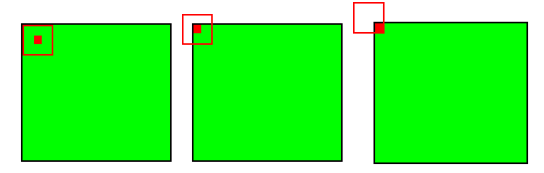


Рисунок 5 – Виды свертки



Рисунок 6 – Структура СНС

СНС состоит из нескольких видов слоев: сверточные (convolutional) слои, подвыборочные (subsampling) слои и слои нейронов (например, перцептронов).

Как видно из структуры, свертка изображения происходит несколько раз, формируя входной вектор признаков для многослойного перцептрона.

Сверточный слой представляет из себя набор карт (матриц), у каждой карты есть синаптическое ядро, о нем уже было сказано выше. Размер ядра выбирается таким, чтобы размер карт сверточного слоя был четным, это позволяет не терять информацию при уменьшении размерности в подвыборочном слое.

Размер всех карт сверточного слоя одинаков, а их количество карт определяется требованиями к задаче. Большое количество карт повышает качество распознавания, но увеличивает сложность вычислений. Часто на практике используется соотношение один к двум, то есть каждая карта предыдущего слоя связана с двумя картами сверточного слоя.

Разделяемые веса – это одна из главных особенностей сверточной нейросети. В обычной многослойной сети очень много связей между нейронами, что сильно замедляет процесс детектирования. В сверточной сети – наоборот, общие веса позволяет сократить число связей и позволить находить один и тот же признак по всей области изображения.

Вставить картинку

Изначально значения каждой карты сверточного слоя равны 0. Значения весов ядер задаются случайным образом в области от -0.5 до 0.5.

Подвыборочный слой также, как и предшествующий сверточный имеет карты, но их количество совпадает с предыдущим слоем. Цель этого слоя – уменьшение размерности карт предыдущего. Если на предыдущей операции свертки уже были выявлены некоторые признаки, то для дальнейшей обработки настолько подробное изображение уже не нужно, и оно уплотняется до менее подробного. Кроме того, фильтрация уже ненужных деталей помогает не переобучаться.

Обычно, каждая карта имеет ядро размером 2x2, что позволяет уменьшить предыдущие карты сверточного слоя в 2 раза. Вся карта признаков разделяется на ячейки 2х2 элемента, из которых выбираются максимальные по значению (операция MaxPooling):



Рисунок 7 – Преобразование карты светрочного слоя ядром подвыборочного слоя

Определение топологии сети ориентируется на решаемую задачу. Можно выделить следующие действия, влияющие на выбор топологии:

* определение решаемой задачи (классификация, прогнозирование, модификация);
* определение ограничений в решаемой задаче (скорость, точность ответа);
* определение входных и выходных данных (входные: изображение, звук, размер: 100x100, 30x30, формат: RGB, в градациях серого, выходные данные – количество классов)

На данный момент сверточная нейронная сеть и ее модификации считаются лучшими по точности и скорости алгоритмами нахождения объектов на изображении.

#### **Глубокие нейронные сети**

Глубокая нейронная сеть – это искусственная нейронная сеть с несколькими уровнями между входным и выходным уровнями. Каждый нейрон в одном слое соединяется со всеми нейронами следующего слоя. Один или несколько слоев между входным и выходным слоями называются скрытыми слоями.



Рисунок 8 – Глубокая нейронная сеть

Поскольку каждый скрытый слой вычисляет нелинейное преобразование предыдущего слоя, глубокая сеть может представлять значительно более сложные функции, чем малослойная. При обучении глубокой сети важно использовать нелинейную функцию активации в каждом скрытом слое. Это связано с тем, что множество слоев линейных функций сами вычисляли бы только линейную функцию ввода и, следовательно, не были бы более выразительными, чем применение только одного скрытого слоя.

## **1.2 Обучение нейронных сетей**

### **1.2.1 Общие понятия в обучении нейронных сетей**

Обучение нейронной сети – это процесс, при котором параметры нейронной сети настраиваются посредством моделирования среды, в которую эта сеть встроена.

Общие понятия:

Эпоха (epoch) – весь набор данных прошел через нейронную сеть в прямом и обратном направлении один раз. Малое число эпох приводит к недостатку обучения, а избыток – к переобучению. Обычно число эпох от 5 до 10.

Размер серии (batches) – количество тренировочных примеров для одной итерации прямого и обратного проходов. Так как одна эпоха слишком велика для компьютера, набор делят на маленькие партии (batches).

Количество итераций (iterations) – число батчей, необходимых для завершения одной эпохи. Если набор из 2000 объектов делить на серии по 500 объектов, то для завершения одной эпохи потребуется 4 итерации.

Различают алгоритмы обучения с учителем и без учителя.

#### **Обучение с учителем и без учителя**

Обучение с учителем предполагает наличие полного набора размеченных данных для тренировки модели на всех этапах ее построения.

Наличие полностью размеченного набора означает, что каждому примеру в обучающем наборе соответствует ответ, который нейросеть должна получить. Каждый образец из набора подается на вход сети, проходит обработку внутри структуры нейросети, вычисляется выходной сигнал сети, который сравнивается с соответствующим значением целевого вектора, представляющего собой требуемый выход сети. Затем вычисляется ошибка, и происходит изменение весовых коэффициентов связей внутри сети до тех пор, пока ошибка по всему обучающему массиву не достигнет приемлемо низкого уровня. Этот процесс называется метод обратного распространения ошибок. (Исправить рисунок) Веса, как уже было сказано ранее, изначально задаются в случайном порядке.

Схематично процесс обучения можно представить так:



Рисунок 9 – Обучение нейронной сети с учителем

В основном обучение с учителем применяется для решения задач классификации и регрессии.

В задачах классификации результатом работы нейронной сети являются дискретные значения, соответствующие номерам классов, к которым принадлежат объекты. Задачи регрессии связаны с непрерывными данными. Пример – линейная регрессия, вычисляет ожидаемое значение переменной y, учитывая конкретные значения x.

Обучение с учителем больше всего подходит для задач, когда имеется большой набор маркированных данных для обучения сети. На практике такой набор есть далеко не всегда. В таком случае и применяется обучение без учителя.

При обучении без учителя набор данных состоит лишь из входных векторов, без подписей. Нейронная сеть самостоятельно находит корреляции в данных, извлекая полезные признаки и анализируя их. Далее сеть подстраивает веса сети так, чтобы получались согласованные выходные векторы, то есть чтобы предъявление достаточно близких входных векторов давало одинаковые выходы. Процесс обучения без учителя выделяет статистические свойства обучающего множества и группирует сходные векторы в классы самостоятельно.

Кластеризация — наиболее распространенная задача для обучения без учителя. Алгоритм подбирает похожие данные, находя общие признаки, и группируют их вместе.

Обучение с частичным привлечением учителя – обучающий набор содержит как размеченные, так и неразмеченные данные. Этот метод особенно полезен, когда трудно извлечь из данных важные признаки или разметить все объекты – трудоемкая задача.

### **1.2.2 Гиперпараметры нейронных сетей**

Помимо весов, определенных в нейросети, обучающим алгоритмам нужен ряд дополнительных параметров.

Гиперпараметры — это настраиваемые параметры, позволяющие управлять процессом обучения модели. Например, определение количество скрытых слоев и количество узлов в каждом слое. Производительность модели в значительной степени зависит от гиперпараметров.

Настройка гиперпараметров, также называемая оптимизациейгиперпараметров, – это процесс поиска конфигурации гиперпараметров, приводящей к лучшей производительности. Этот процесс обычно требует значительных вычислительных ресурсов и выполняется вручную.

#### **Общие гиперпараметры**

Для большинства нейронных сетей характерны следующие параметры:

*Темп обучения*. Модели обычно обучаются оптимизатором стохастического градиентного спуска. Существует несколько вариаций: AdaGrad, RMSProp, Adam и другие. Все они позволяют установить скорость обучения. Этот параметр сообщает оптимизатору, как далеко нужно переместить веса в направлении, противоположном градиенту для мини-партии. Если скорость обучения низкая, то обучение будет более качественным, но оптимизация займет много времени, потому что шаги к минимуму функции потерь маленькие. Если скорость обучения высока, то обучение может не сходиться или даже расходиться. Изменения веса могут быть настолько значительными, что оптимизатор пересекает минимум и усугубляет потерю.

Градиентный спуск — метод численной оптимизации, который используется во многих алгоритмах, где требуется найти экстремум функции. Суть градиентного спуска – минимизировать функцию, делая небольшие шаги в сторону наискорейшего убывания функции.

Обучение должно начинаться с относительно большой скорости обучения, потому что вначале случайные веса далеки от оптимальных, и затем скорость обучения может уменьшаться во время тренировки, чтобы обеспечить более детальные обновления веса.

*Ранняя остановка*. Это техника оптимизации, которая реализована путем вычисления потери (ошибки) валидации. Если отклонение валидации не падает ниже определенного количества итераций, то модель останавливает свое обучение. Валидационное множество формируется независимо от обучающего и тестового множеств, и используется для проверки предсказательной способности модели после ее обучения и тестирования, а также для оптимизации ее сложности.

*Регуляризация*. Методы регуляризации используются для уменьшения погрешности путем соответствующей подгонки функции к данному тренировочному набору, чтобы избежать переобучения, о котором будет написано далее.

Кроме перечисленного, к гиперпараметрам также относят эпохи, размеры серий и количество итераций, о которых уже было сказано (п. 1.2.1)

### **1.2.3 Проблемы при обучении нейронных сетей**

#### **Взрывающийся и затухающий градиент**

Градиентом в нейронных сетях называется вектор частных производных функции потерь по весам нейронной сети. Он указывает на направление наибольшего роста этой функции для всех весов по совокупности. Градиент считается в процессе тренировки нейронной сети и используется в процессе обратного распространения ошибки для корректировки весов.

В процессе обратного распространения ошибки, при прохождении через слои нейронной сети, в элементах градиента могут накапливаться большие значения, что приводит к сильным изменениям весов. В таком случае элементы градиента могут переполнить тип данных, в котором они хранятся. Такое явление называется взрывающимся градиентом (exploding gradient).

Существует аналогичная обратная проблема, когда в процессе обучения, при обратном распространении ошибки, градиент становится все меньше. Это приводит к тому, что веса при обновлении изменяются на слишком малые значения, и обучение проходит неэффективно или останавливается, то есть алгоритм обучения не сходится. Это явление называется затухающим градиентом (vanishing gradient).

Картинка

Такая проблема может возникнуть при использовании нейронных сетях классической функцией активации сигмоиды.

Возникновение проблемы взрывающегося градиента можно определить по следующим признакам:

* высоком значение функции потерь
* сильные скачки значения функции потерь
* значение функции потерь принимает значение NaN
* веса модели растут экспоненциально
* веса модели принимают значение NaN

Признаки проблемы затухающего градиента:

* точность модели растет медленно, при этом возможно срабатывание механизма ранней остановки, так как алгоритм может решить, что дальнейшее обучение не будет оказывать существенного влияния
* градиент ближе к концу показывает более сильные изменения, в то время как градиент ближе к началу почти не показывает никакие изменения
* веса модели уменьшаются экспоненциально во время обучения
* веса модели стремятся к 0 во время обучения

Способы устранения проблемы:

1. Использование другой функции активации.
2. Изменение модели. Для решения проблемы может оказаться достаточным сокращение числа слоев. Это связано с тем, что частные производные по весам растут экспоненциально в зависимости от глубины слоя.
3. Использование Residual blocks. В данной конструкции вывод нейрона подается как следующему нейрону, так и нейрону на расстоянии 2-3 слоев впереди, который суммирует его с выходом предшествующего нейрона, а функция активации в нем — ReLU. Такая связка называется shortcut. Это позволяет при обратном распространении ошибки значениям градиента в слоях быть более чувствительным к градиенту в слоях, с которыми связаны с помощью shortcut, то есть расположенными несколько дальше следующего слоя.
4. Регуляризация весов. Регуляризация заключается в том, что слишком большие значения весов будут увеличивать функцию потерь. Таким образом, в процессе обучения нейронная сеть помимо оптимизации ответа будет также минимизировать веса, не позволяя им становиться слишком большими.
5. Обрезание градиента. Обрезание заключается в ограничении нормы градиента. То есть если норма градиента превышает заранее выбранную величину *T*, то следует масштабировать его так, чтобы его норма равнялась этой величине.

#### **Переобучение**

Переобучение (overfitting) нейронной сети состоит в следующем: модель хорошо классифицирует только примеры из обучающей выборки, адаптируясь к обучающим примерам, вместо того чтобы учиться классифицировать примеры, не участвовавшие в обучении (теряет способность к обобщению).



Рисунок 10 – Качество обучения

Это связано с тем, что в процессе обучения модели в обучающей выборке обнаруживаются некоторые случайные закономерности, которые отсутствуют в генеральной совокупности. Появляется слишком много признаков. Например, на изображениях, помимо рассматриваемого объекта, часто присутствуют другие случайные объекты, не относящиеся к исследованию. Нейросеть может начать рассматривать такие объекты как новые параметры изображения.



Рисунок 11 – График ошибки переобученной сети

Причины переобучения:

* слишком мало данных для обучения, либо слишком много слоев
* слишком долгое обучение – модель находит закономерности в шуме
* плохо подготовленные данные

Методы предотвращения переобучения:

* перекрёстная проверка
* регуляризация
* ранняя остановка
* вербализация нейронных сетей
* априорная вероятность
* байесовское сравнение моделей
* метод исключения (dropout)

Стоит отметить, что даже тогда, когда обученная модель не имеет чрезмерного количества параметров, можно ожидать, что эффективность её на новых данных будет ниже, чем на данных, использовавшихся для обучения.

Из всех решений данной проблемы лучшие результаты показывает метод dropout. Главная идея Dropout – вместо обучения одной сети обучить сразу несколько, а затем усреднить полученные результаты.

Сети для обучения получаются с помощью исключения из сети (dropping out) некоторых нейронов. Исключение нейрона означает, что при любых входных данных или параметрах он возвращает 0.

Исключенные нейроны не вносят свой вклад в процесс обучения ни на одном из этапов алгоритма обратного распространения ошибки, поэтому исключение хотя бы одного из нейронов равносильно обучению новой нейронной сети.

Dropout хорошо работает на практике, потому что предотвращает взаимоадаптацию нейронов на этапе обучения.

### **1.2.4 Алгоритмы обучения нейронных сетей**

# **Проектирование системы**

## **2.1 Постановка задачи**

### **2.1.1 Функциональные требования к системе**

## **2.2 Показатели качества нейронной сети**

# **Реализация системы**

## **3.1 Обзор средств разработки**

## **3.2 Обучающая выборка**

## **3.3 Тестирование системы**

# **Заключение**

# **Список источников**