

Глубокое обучение и нейронные сети

Лекция



Исторический очерк

Название темы	Год и событие
Начало работ по ИИ Р. Луллий	Машина Луллия (14 кругов, 18×10^{15} вариантов ответов) XIII.
В XX в. исследования в области ИНС пережили три периода активизации.	40-е гг. Пионерская работа МакКаллока и Питтса.
	60-е гг. Теорема сходимости перцептрона Розенблатта и работа Минского и Пейперта, указавшая ограниченные возможности простейшего перцептрона. (После этого - затишье на почти 20 лет).
	80-е гг. Энергетический подход Хопфилда. Алгоритм обратного распространения ошибки впервые предложенный Вербосом и независимо разработан рядом других авторов. Алгоритм получил известность благодаря Румельхарту в 1986 году.

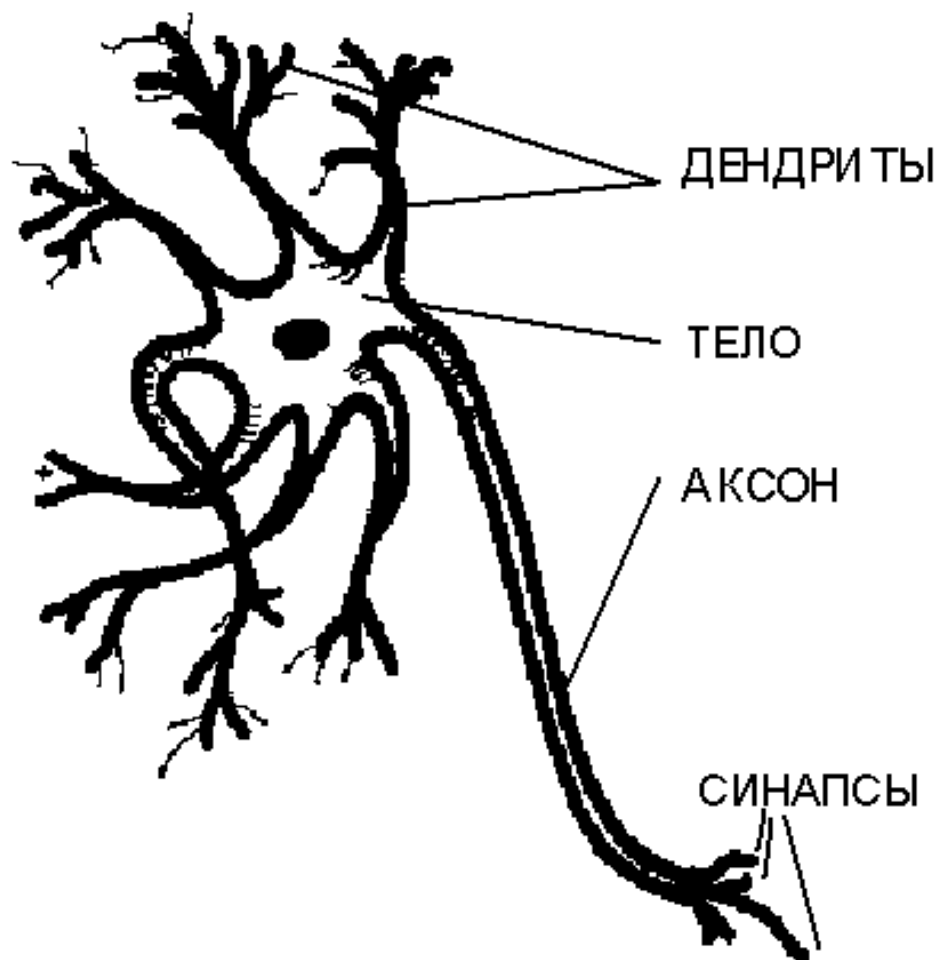
Области применения ИНС

Потенциальными областями применения ИНС

Применяются в задачах, где традиционные вычисления трудоемки или плохо формализуются:

- Распознавание образов;
- Классификация;
- Прогнозирование;
- Принятие решений;
- Аппроксимация функций и др.

Нейрон



Нейрон - особая клетка, которая обрабатывает информацию. Состоит из тела клетки и двух типов внешних древоподобных ветвей: аксона (1) и дендритов (до 104).

Нейрон получает сигналы от других нейронов через дендриты (приемники) и передает сигналы, сгенерированные телом клетки, вдоль аксона (передатчик), который в конце разветвляется на волокна, на окончаниях которых находятся синапсы.

Работа биологического нейрона

Нейрон может находиться в двух состояниях: **обычном и возбуждённом.**

В возбуждённом состоянии клетка генерирует серию электрических импульсов величиной около 100 мВ и длительностью единицы мкс, которая проходит по аксону до синапсов. Синапс при приходе импульса выделяет вещество, способствующее проникновению положительных зарядов внутрь соседней клетки. Синапсы имеют разную способность концентрировать это вещество, причём некоторые даже препятствуют его выделению — они называются тормозящими.

Работа биологического нейрона

Если суммарный заряд, попавший в клетку, превосходит некоторый порог, клетка возбуждается и генерирует импульс, который распространяется по аксону и доходит до синапсов, что способствует возбуждению следующих клеток.

После возбуждения клетки наступает период релаксации — некоторое время она не способна генерировать новые импульсы. Благодаря этому клетки работают по тактам, наподобие дискретных автоматов, а сеть в целом передаёт направленную волну импульсов.

Работа биологического нейрона

Скорость распространения нервного импульса составляет приблизительно 100 м/с, что в 10^6 раз меньше скорости распространения электрического сигнала в медной проволоке.

Сложную задачу распознавания образа человек решает за десятые доли секунды. Т.к. скорость работы нейрона составляет единицы мкс (длительность импульса возбуждения), то для решения такой задачи требуется примерно 100 последовательных нейронных операций.

Это означает, что мозг запускает параллельные программы, каждая из которых состоит не более чем из 100 операций (шагов). («Правило ста шагов»).

Работа биологического нейрона

Кора головного мозга человека содержит порядка 10^{11} нейронов, и каждый нейрон связан с 10^3 – 10^4 других нейронов. Таким образом, мозг человека содержит 10^{14} – 10^{15} взаимосвязей.

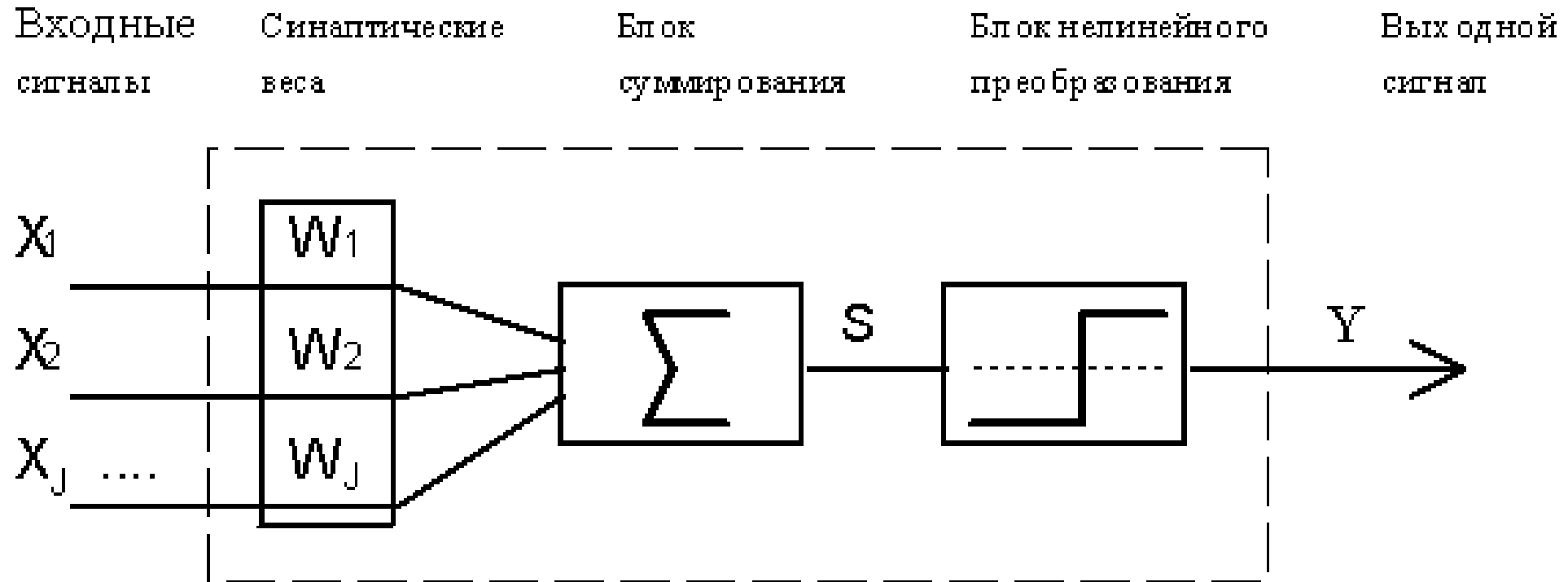
Следствие – высокая взаимозаменяемость нейронов и надежность нервной системы в целом. Отказ даже существенной доли нейронов не нарушает нормального хода распространения нервного импульса.

Нейрон МакКаллока-Питтса

1943г. Уоррен МакКаллок и Вальтер Питтс – гипотеза математического нейрона.

- Как и биологический нейрон, имеет несколько входов и один выход. Могут быть связаны, образуя нейронные сети.
- Также, как и биологический прототип может находиться в двух состояниях.

Нейрон МакКаллока-Питтса



Математическое описание нейрона МакКаллока-Питтса

- n – число входов;
- w_j – весовой коэффициент j -го входа;
- Результат суммирования:

$$S = \sum_{j=1}^J w_j x_j$$

- Выход нейрона:

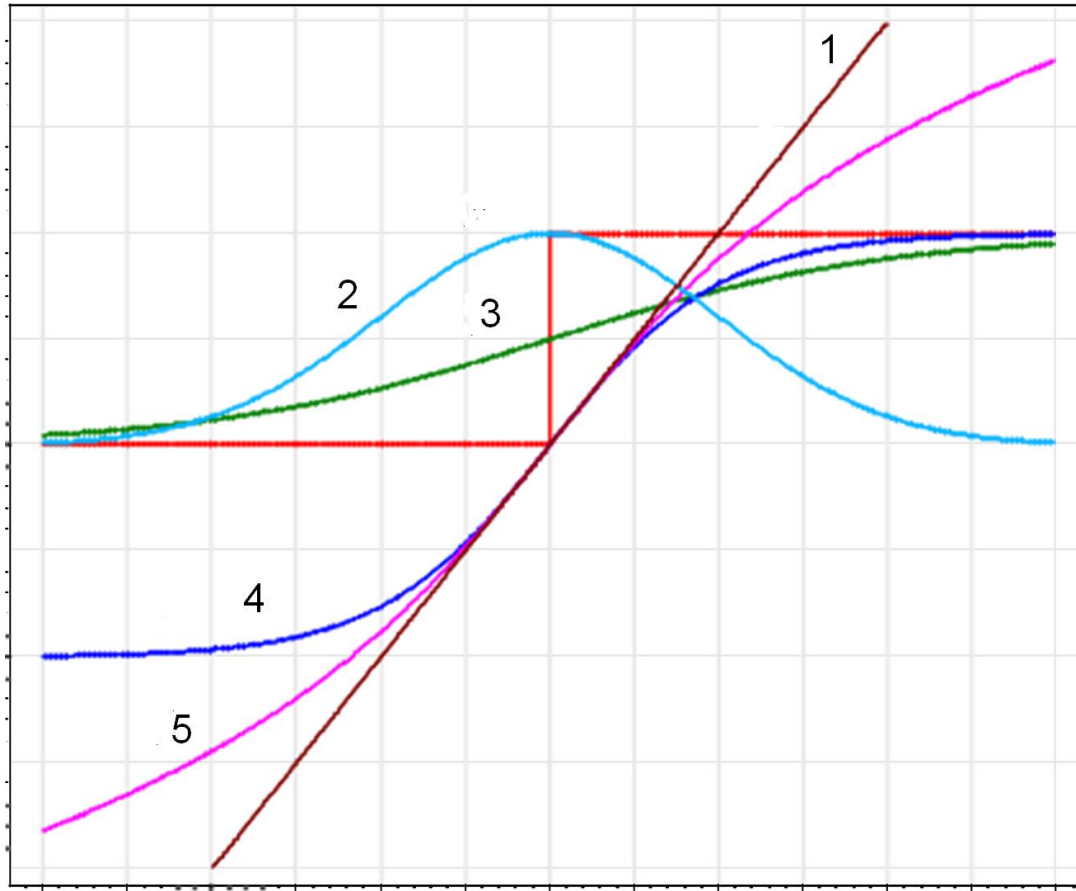
$$y = \begin{cases} 1, S \geq Q \\ 0, S < Q \end{cases}$$

- Q – порог чувствительности нейрона

Активационная функция

- Функция нелинейного порогового преобразования сигнала, полученного на выходе блока суммирования, называется *активационной функцией*.
- МакКаллок и Питтс предполагали, что входные и выходной сигналы бинарные, поэтому использовали простейшую пороговую функцию. Позже математическую модель обобщили на случай вещественных входов и вещественного выхода, поэтому стали использовать более сложные активационные функции.

Примеры активационных функций



- 1 – линейная
 $f = z$;
- 2 – гауссова
 $f = \exp(-z^2/2)$;
- 3 – сигмоидная
 $f = 1/(1 + e^{-z})$;
- 4 – логарифмическая
 $f = \ln[z + (z^2+1)^{1/2}]$;
- 5 – гиперболический тангенс
 $f = \text{th}(z)$;
- 6 – пороговая

$$f = \begin{cases} 1, z \geq Q \\ 0, z < Q \end{cases}$$

Сигмоида

- Одной из наиболее распространенных является нелинейная функция с насыщением, так называемая логистическая функция или сигмоида:

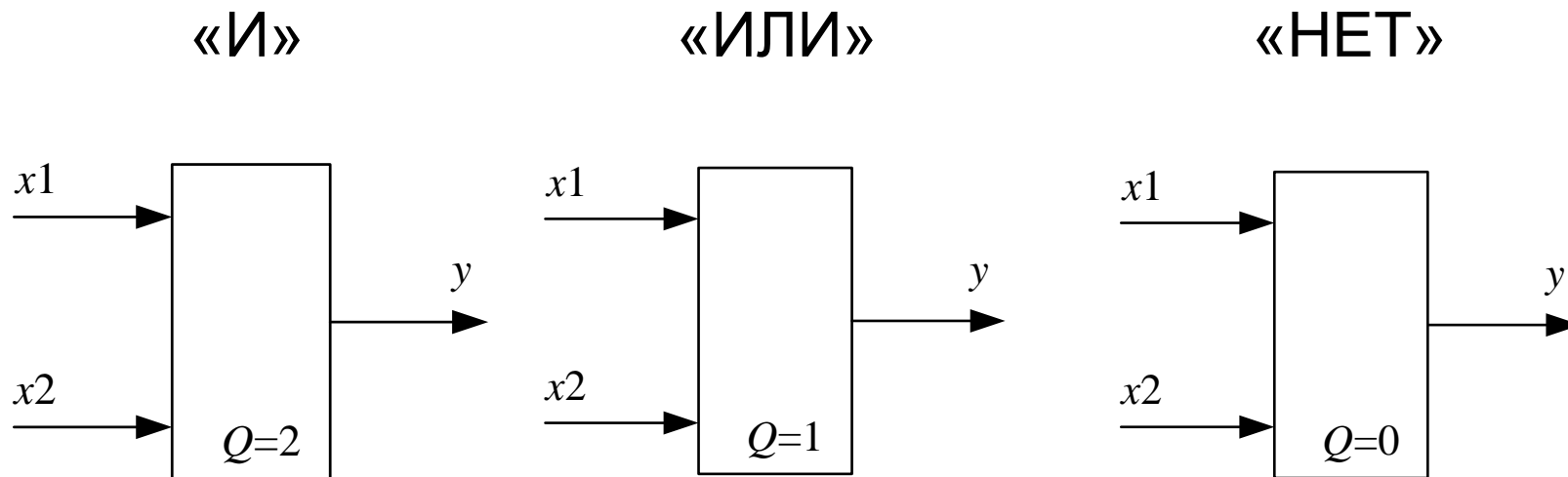
$$f = 1 / (1 + e^{-\alpha z})$$

- При уменьшении α сигмоида становится более полой. При $\alpha=0$ вырождается в горизонтальную линию на уровне 0,5. При увеличении α сигмоида приближается по внешнему виду к функции единичного скачка с порогом в точке $x=0$.
- Выходное значение нейрона лежит в диапазоне $[0,1]$. Одно из ценных свойств сигмоидной функции – простое выражение для ее производной.

$$f' = \alpha f(z)(1 - f(z))$$

- Функция дифференцируема на всей оси абсцисс. Кроме того она обладает свойством усиливать слабые сигналы лучше, чем большие, и предотвращает насыщение от больших сигналов.

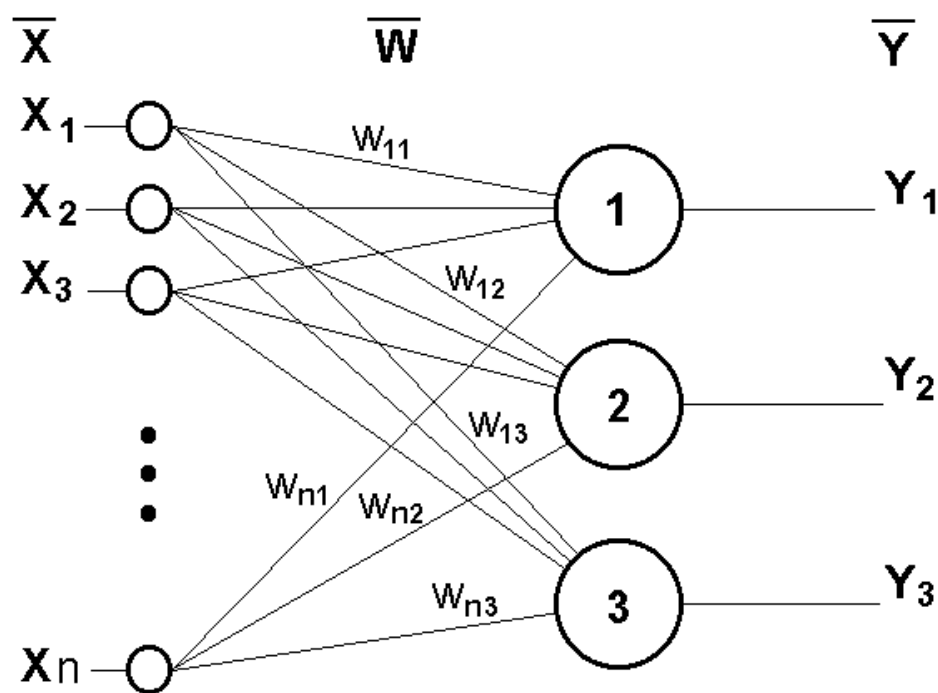
Реализация логических функций



ДЕМОНСТРАЦИЯ



Трёхнейронный персептрон

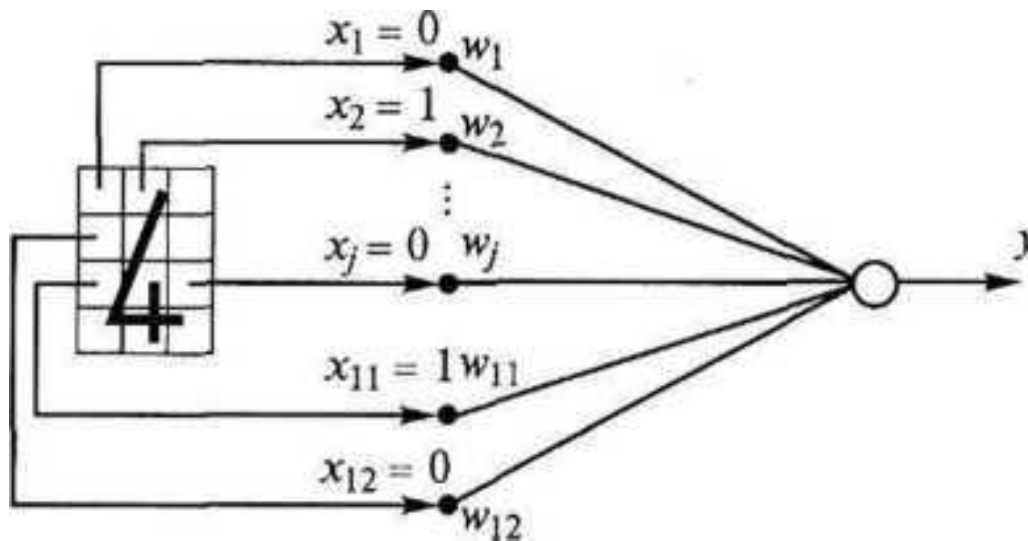


- Математическое описание в общем виде:
$$Y = F(XW)$$
- X - входной сигнальный вектор;
- W - весовой вектор;
- Y - выходной сигнальный вектор.

Персептрон Розенблатта

- МакКаллок и Питтс предложили модель нейрона, показали, что он может выполнять числовые и логические операции и высказали идею об объединении математических нейронов в сеть, которая может решать сложные задачи (например, распознавание образов). Высказали предположение, что такая сеть обладает свойствами человеческого интеллекта.
- Реализация идеи – в 1958 г. (Френк Розенблатт) в виде программы, а в 1960 г. – в виде электронного устройства (персептрон).

Простейший персептрон



- Предназначен для классификации цифр на четные и нечетные. Представляет собой матрицу из 12 фотоэлементов, расположенных в виде четырех горизонтальных рядов, в каждом из которых три фотоэлемента. На матрицу фотоэлементов накладывается карточка с изображением цифры. Если на фотоэлемент попадает какой-либо фрагмент цифры, то данный фотоэлемент вырабатывает сигнал в виде двоичной единицы, в противном случае – нуль.

Обучение персептрона

- Цель обучения: выходной сигнал y должен быть равен единице, если цифра четная, и нулю, если нечетная.
- Простой алгоритм обучения:
- *Шаг 1.* Подать входной образ и вычислить выход y .
- *Шаг 2.* Если выход правильный, то перейти на *Шаг 1*.
- *Шаг 3.1.* Если выход неправильный и равен нулю, то увеличить веса активных входов, например:
$$w_j(t + 1) = w_j(t) + x_j.$$
- *Шаг 3.2.* Если выход неправильный и равен единице, то уменьшить веса активных входов, например:
$$w_j(t + 1) = w_j(t) - x_j.$$
- *Шаг 4.* Перейти на *шаг 1* или завершить процесс обучения.

Правила Хебба

- Рассмотренный алгоритм был предложен в 1949 г. канадским ученым Дональдом Хеббом (физиолог и нейропсихолог).
- *Шаг 3.1* называют *первым правилом Хебба*, а *Шаг 3.2* - *вторым правилом Хебба*.
- Правила Хебба напоминают процесс дрессировки животного методом «кнута и пряника».