

## Лекция 1

### Тема 1.1 Классификация нейронных сетей и их свойства

Содержание:

1. Понятие искусственных нейронных сетей.
2. Математическая модель нейронной сети.

1. Понятие искусственных нейронных сетей.

Искусственные нейронные сети позволяют моделировать простые биологические процессы, ассоциируемые с процессами человеческого мозга. Нейронные сети, реализованные на компьютере можно представить в виде распределенных и параллельных систем, способных к обучению, адаптации. В его структуре можно выделить три основных элемента: тело клетки (сомы), дендриты и аксон (часто называют нейритом). Нейрон имеет тело клетки, которое содержит сому (soma), которая включает ядро, митохондрии и органеллы, обеспечивающие клетку энергией и поддерживающие ее жизнедеятельность. Сомы нейрона влияют на различные процессы, связанные с распределением расхода энергии, питания, обновлением ресурсов и др. Размеры нейронов колеблются в широких пределах в зависимости от уровня организации животных, местоположения, функционального их назначения и других факторов. Нервные клетки мозжечка имеют размер примерно 5 мкм, моторные клетки головного и спинного мозга имеют размер примерно 70 мкм.

Преобразователем информации в нейронных сетях служит *искусственный нейрон* (или просто нейрон), названный по аналогии с биологическим нейроном.

От центральной части нервной клетки – сомы отходят древовидные отростки. Короткие отростки, выполняющие функции рецепторов и передающие сигналы от других нейронов называют *дендритами (dendrite)*. Дендриты представляют собой входы, по которым из окружающей среды к телу клетки подводятся импульсы раздражения. Количество дендритов одной

клетки может быть большим, несколько сотен отростков. Длина отростков различна и может колебаться от долей миллиметра до десятков сантиметров. Совокупность таких отростков густо отходят от сомы и напоминают ветвящееся дерево разной формы.

Самый длинный отросток, утолщенный в своем основании называется *аксоном* (*axon*). По существу аксон представляет собой выходное нервное волокно клетки, передающее нервный импульс (сигнал активности) от сомы другим нейронам. Аксон служит выходом, по которому проводятся сигналы от нервной клетки и передает выходные сигналы нейрона на дендриты других нейронов. Длина аксона может составлять от долей миллиметра до 1,5 м. На конце аксон разветвляется на нервные окончания.

Место соединения аксона с дендритами других нейронов называют *синапсом* (*synaps*) (ударение на первый слог). Это расстояние очень маленькое и составляет примерно 200 нм. Синапс служит местом соединения нервных волокон. Передача сигнала почти всегда имеет однонаправленный характер. По направлению передачи нервного импульса выделяют предсинаптические и постсинаптические клетки. Области контакта нервных клеток друг с другом называются синапсами. Синапс проводит возбуждение только в одном направлении – с окончаний аксона одного нейрона на дендриты и сому другого. Каждый нейрон может возбуждаться через множество синаптических контактов, расположенных вдоль дендритов и тела нейрона. Число синапсов крупного нейрона может достигать несколько тысяч. Общая структура головного мозга сложная, представлена множеством параметров связей и внешних сенсоров (дендритов). Общее число нейронов составляет примерно  $10^{11}$ . При этом каждый нейрон имеет от  $10^3$  до  $10^4$  синаптических связей, а головной мозг насчитывает приблизительно  $10^{15}$  соединений

## 2. Математическая модель нейронной сети.

Математическая модель искусственного нейрона описывается в виде формул:

$$s_k = \sum_{j=1}^n x_j w_{kj}, \quad (1)$$

$$y_k = f(s_k + b_k), \quad (2)$$

где  $y_k$  – выходной сигнал нейрона  $k$  является функцией его состояния;

$f$  – функция активации нейрона;

$w_{kj}$  – синаптические веса нейрона  $k$ ;

$b_k$  – смещение (порог);

$s_k$  – сумматор, линейная комбинация входных воздействий;

$x_i$  – входной сигнал нейрона;

$n$  – число входов.

Искусственный нейрон является структурной единицей искусственной нейронной сети и представляет собой аналог биологического нейрона.

С математической точки зрения искусственный нейрон — это сумматор всех входящих сигналов, применяющий к полученной взвешенной сумме некоторую простую, в общем случае, нелинейную функцию, непрерывную на всей области определения. Обычно, данная функция монотонно возрастает. Полученный результат посылается на единственный выход.

Искусственные нейроны (в дальнейшем нейроны) объединяются между собой определенным образом, образуя искусственную нейронную сеть. Каждый нейрон характеризуется своим текущим состоянием по аналогии с нервными клетками головного мозга, которые могут быть возбуждены или заторможены. Он обладает группой синапсов – однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон –

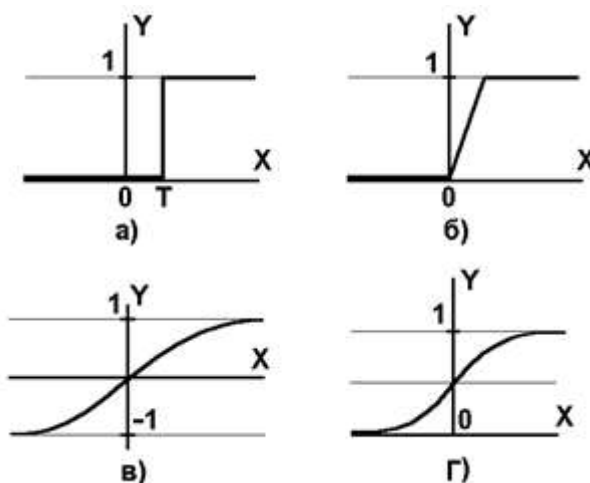
выходную связь данного нейрона, с которой сигнал поступает на синапсы следующих нейронов.

Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или ее весом  $w_i$ , который является эквивалентом электрической проводимости биологических нейронов.

Нелинейная функция  $f$  называется активационной и может иметь различный вид, как показано на рисунке ниже. Одной из наиболее распространенных является нелинейная функция с насыщением, так называемая логистическая функция или сигмоид (т.е. функция S-образного вида):

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}}, \quad (3)$$

При уменьшении  $\alpha$  сигмоид становится более пологим, в пределе при  $\alpha=0$  вырождаясь в горизонтальную линию на уровне 0.5, при увеличении  $\alpha$  сигмоид приближается по внешнему виду к функции единичного скачка с порогом  $T$  в точке  $x=0$ . Из выражения для сигмоида очевидно, что выходное значение нейрона лежит в диапазоне  $[0,1]$ . Следует отметить, что сигмоидная функция дифференцируема на всей оси абсцисс, что используется в некоторых алгоритмах обучения. Кроме того, она обладает свойством усиливать слабые сигналы лучше, чем большие, и предотвращает насыщение от больших сигналов, так как они соответствуют областям аргументов, где сигмоид имеет пологий наклон.



## Рис.1. Функции активации нейронов

а) функция единичного скачка; б) линейный порог (гистерезис);  
в) сигмоид — гиперболический тангенс; г) сигмоид — формула

Нейронным сетям присущ принцип параллельной обработки сигналов, который достигается путем объединения большого числа нейронов в так называемые слои и соединения определенным образом нейронов различных слоев, а также, в некоторых конфигурациях, и нейронов одного слоя между собой, причем обработка взаимодействия всех нейронов ведется послойно.

Как известно, существует огромное множество парадигм нейронных сетей. Все зависит от исследуемой задачи, для решения которой применяется аппарат ИНС.

Задача прогнозирования успешно решается при помощи многослойных персептронов, которые в свою очередь являются универсальными аппроксиматорами. Многослойная нейронная сеть с сигмоидными передаточными функциями является наиболее общей, универсальной сетевой архитектурой.

Имеются различные структуры многослойных сетей: с последовательными, перекрестными и обратными связями, с фиксированной переменной структурой. Модели ИНС могут быть программного и аппаратного исполнения. В дальнейшем речь пойдет в основном о первом типе. Несмотря на существенные различия, отдельные типы ИНС обладают несколькими общими чертами. Каждый нейрон характеризуется своим текущим состоянием по аналогии с нервными клетками головного мозга, которые могут быть возбуждены или заторможены. Он обладает группой синапсов — однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон — выходную связь данного нейрона, с которой сигнал (возбуждения или торможения) поступает на синапсы следующих нейронов. Каждый синапс характеризуется величиной

синаптической связи или ее весом  $w_i$ , который по физическому смыслу эквивалентен электрической проводимости.

Нейронным сетям присущ принцип параллельной обработки сигналов, который достигается путем объединения большого числа нейронов в так называемые слои и соединения определенным образом нейронов различных слоев, а также, в некоторых конфигурациях, и нейронов одного слоя между собой, причем обработка взаимодействия всех нейронов ведется послойно.

Искусственный нейрон имитирует в первом приближении свойства биологического нейрона. На вход искусственного нейрона поступает некоторое множество сигналов, каждый из которых является выходом другого нейрона. Каждый вход умножается на соответствующий вес, аналогичный синаптической силе, и все произведения суммируются, определяя уровень активации нейрона.