

Применение нейронных сетей в физике высоких энергий

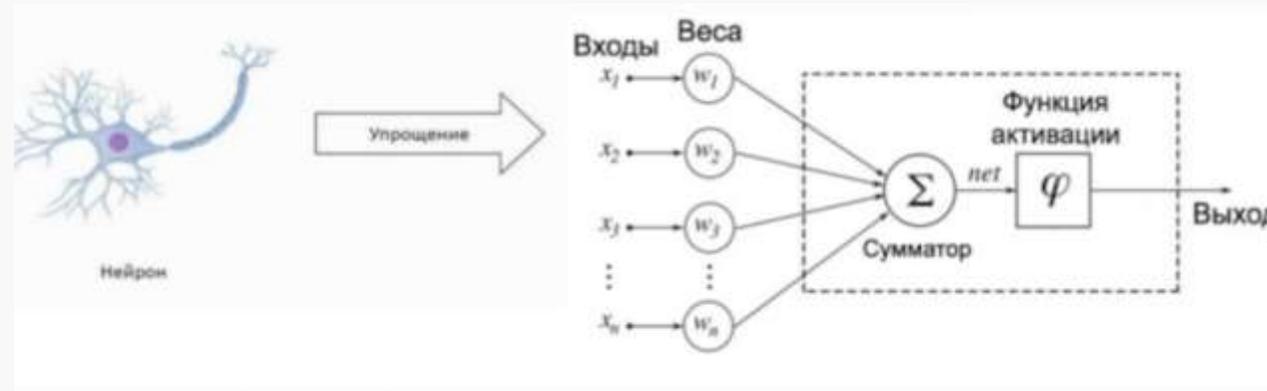
Гавва Оксана

M20-115



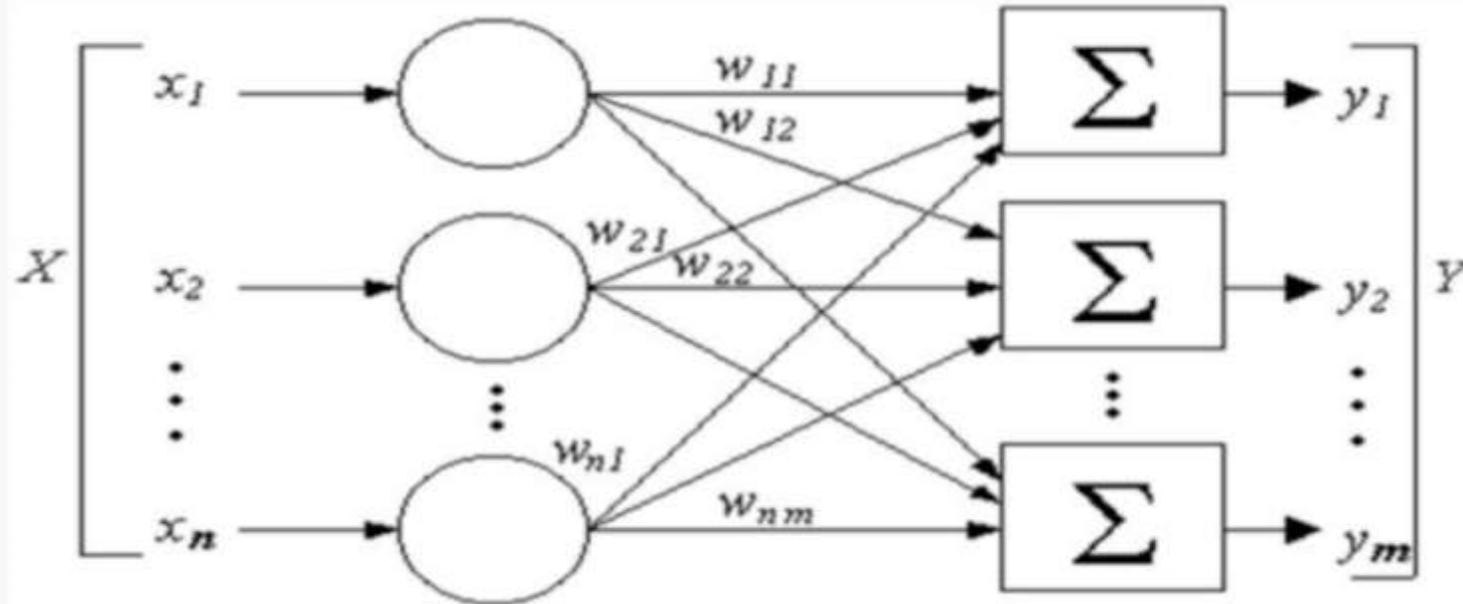
Москва 2021

Нейронная сеть (также **искусственная нейронная сеть, ИНС**) — математическая модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей нервных клеток живого организма.



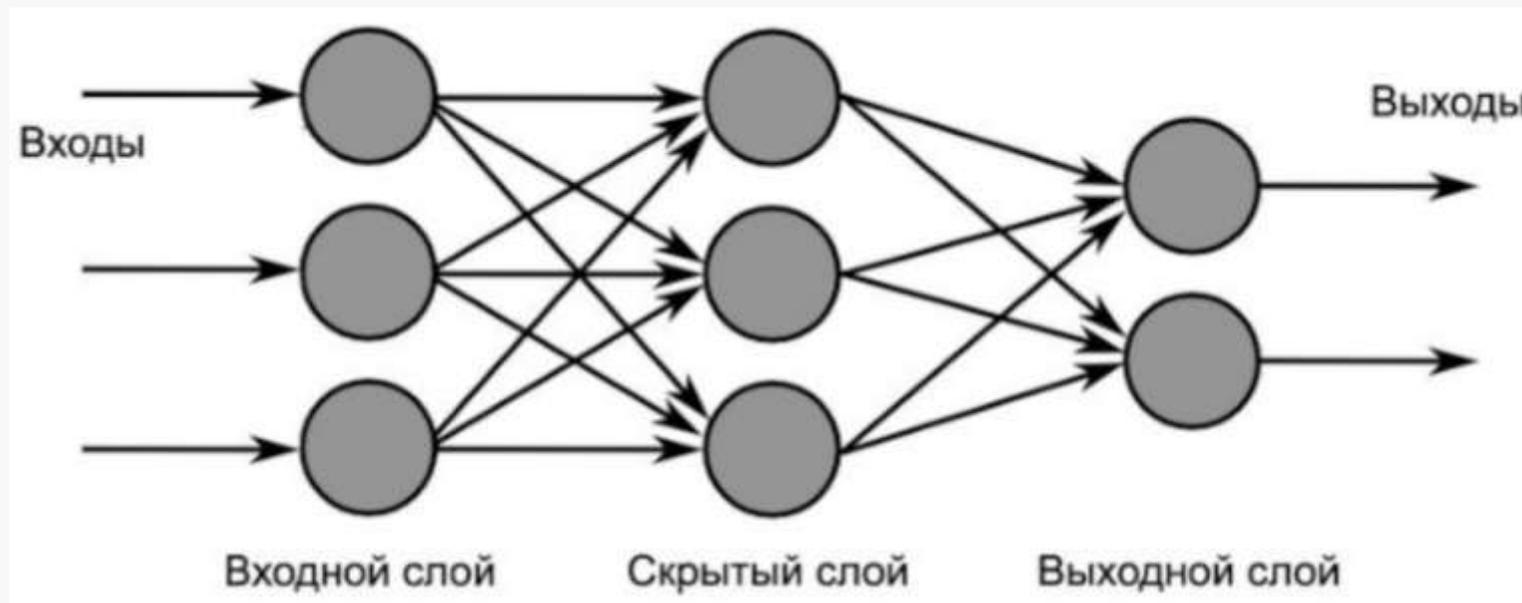
Нейрон является составной частью нейронной сети. Он состоит из элементов трех типов: умножителей (синапсов), сумматора и нелинейного преобразователя. Синапсы осуществляют связь между нейронами, увеличивают или уменьшают входной сигнал на число, характеризующее силу связи, (вес синапса). Сумматор выполняет сложение сигналов, поступающих по синаптическим связям от других нейронов, и внешних входных сигналов. Нелинейный преобразователь реализует нелинейную функцию одного аргумента - выхода сумматора.

Типы нейронных сетей



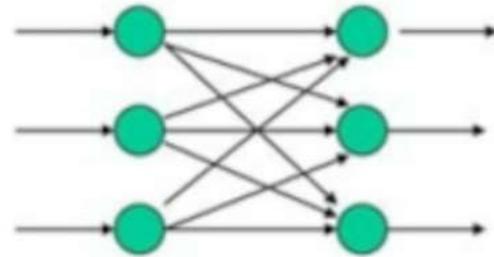
- Однослойная нейронная сеть (Single-layer neural network) – сеть, в которой сигналы от входного слоя сразу подаются на выходной слой, который и преобразует сигнал и сразу же выдает ответ.

Типы нейронных сетей

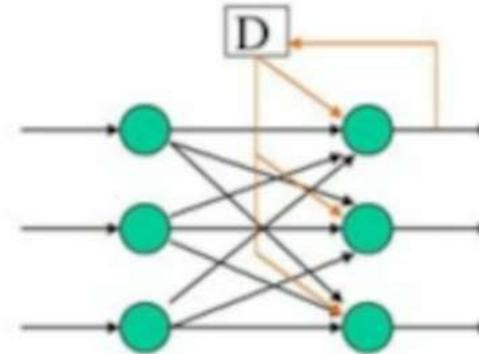


- Многослойная нейронная сеть (Multilayer neural network) – нейронная сеть, состоящая из входного, выходного и расположенного(ых) между ними одного (нескольких) скрытых слоев нейронов.

Типы нейронных сетей



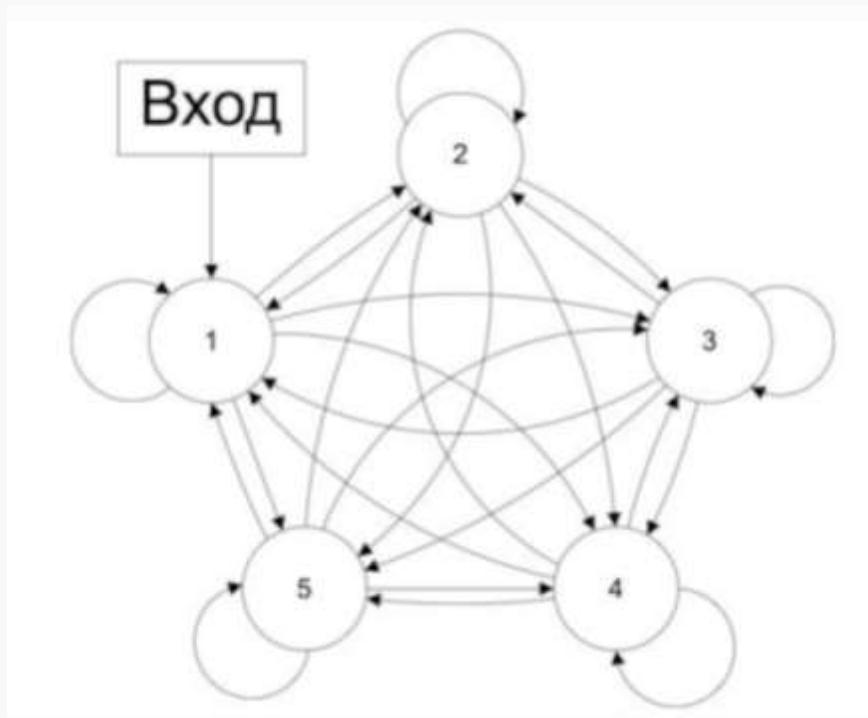
Сеть с прямым распространением сигнала



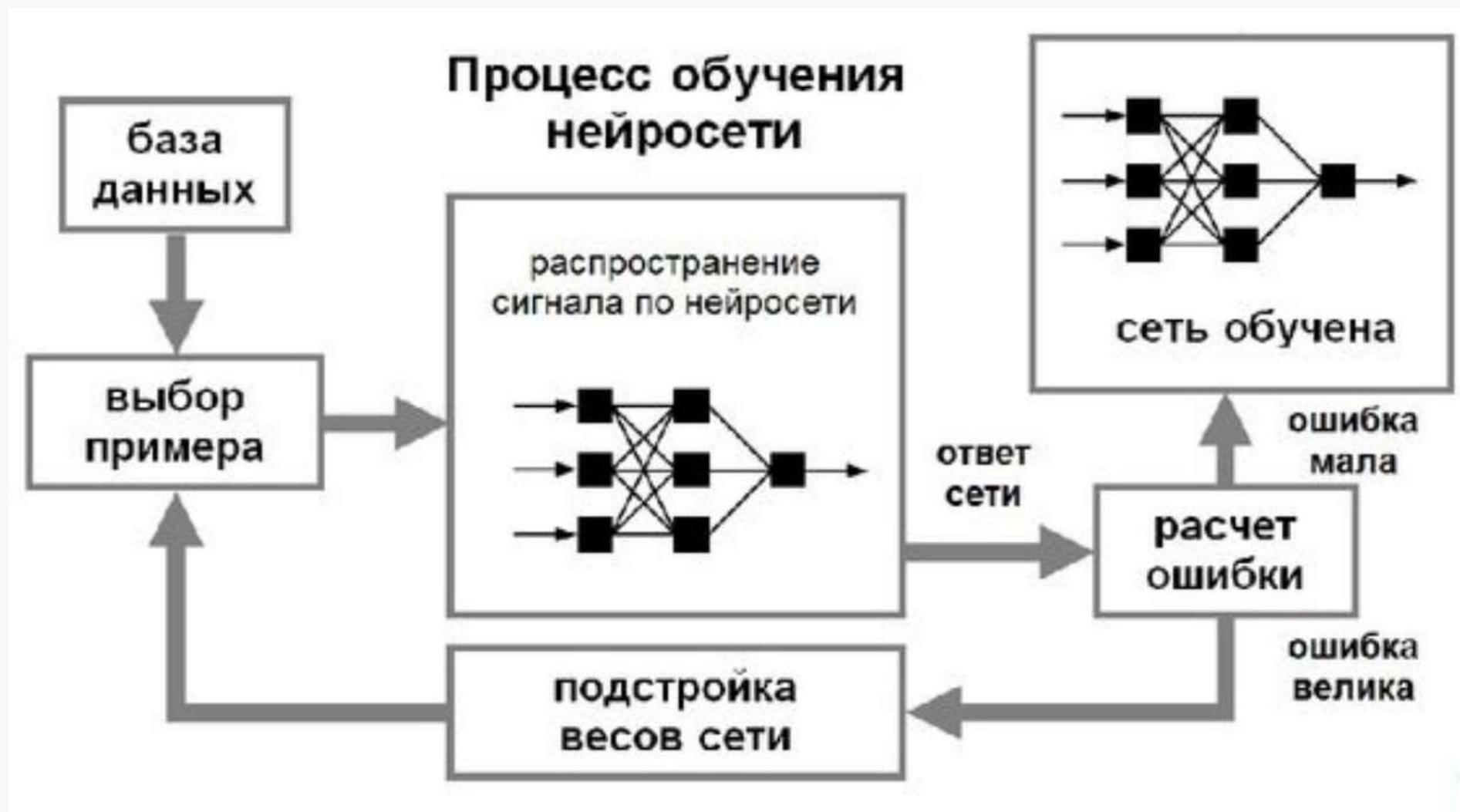
Рекуррентная сеть

- Сети прямого распространения (Feedforward neural network) (feedforward сети) – искусственные нейронные сети, в которых сигнал распространяется строго от входного слоя к выходному. В обратном направлении сигнал не распространяется.

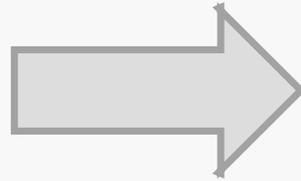
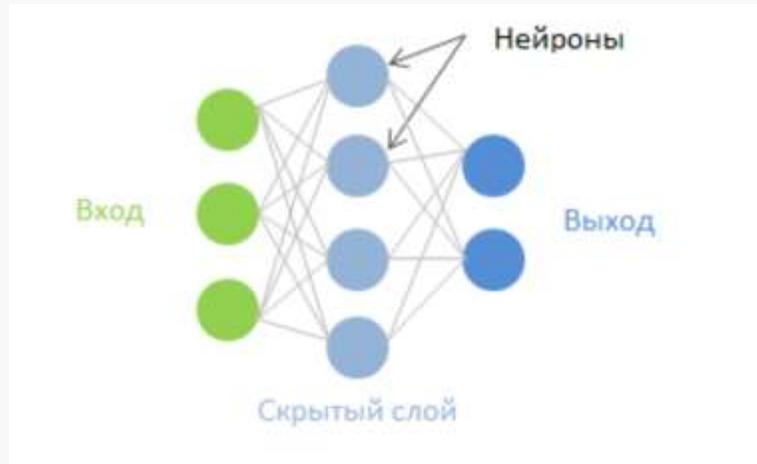
Типы нейронных сетей



- Сети с обратными связями (Recurrent neural network) – искусственные нейронные сети, в которых выход нейрона может вновь подаваться на его вход. В более общем случае это означает возможность распространения сигнала от выходов к входам.



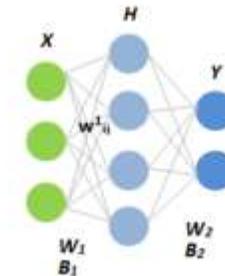
Многослойный персептрон



Таким образом, выходное значение h из одного нейрона вычислим по формуле

$$h = f\left(\sum_i w_i x_i + b\right).$$

Вместе эти нейроны образуют большую нейронную сеть.



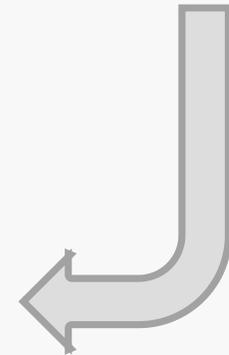
$$H = f(W_1 \cdot X + B_1),$$

где

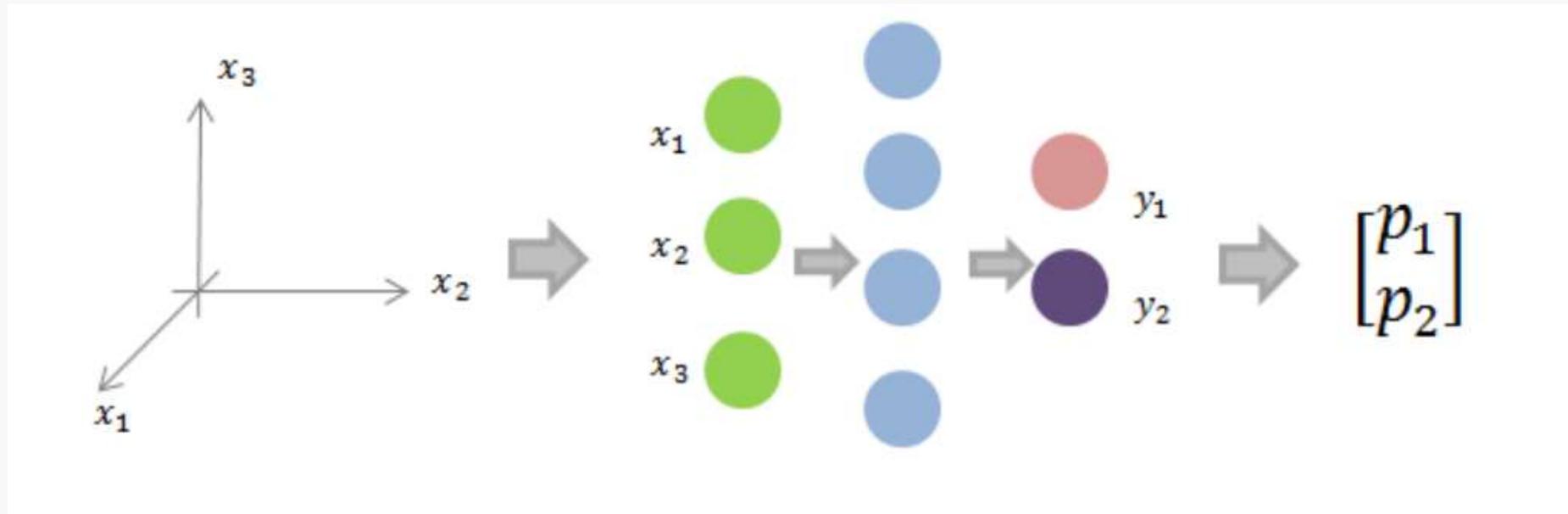
$$H = \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \end{pmatrix}, W_1 = \begin{pmatrix} w_{11}^1 & w_{12}^1 & w_{13}^1 \\ w_{21}^1 & w_{22}^1 & w_{23}^1 \\ w_{31}^1 & w_{32}^1 & w_{33}^1 \\ w_{41}^1 & w_{42}^1 & w_{43}^1 \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, B_1 = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{pmatrix},$$

и

$$h_i = f\left(\sum_j w_{ij}^1 x_j + b_i\right).$$



Применение многослойного персептрона к задаче классификации



Применение ИНС

Схема применений ИНС		
Тип ИНС	Общие проблемы	Конкретные задачи
прямоточные	Аппроксимация функций	РБФ-аппроксимация многомерных функций
		Решение нелинейных и дифференциальных уравнений
		Реализация метода гл. элементов с помощью рекуркулярных ИНС
	классификация	Решение статистических гипотез
		Разбиение на классы, экспертные системы
		Распознавание образов в ФВЭ и биологии
полносвязные	Распознавание образов в ФВЭ	Сегментная модель треков
		Роторная модель треков (ионизационная задача)
		Эластичные ИНС (деформируемые шаблоны)
	ассоциативная память	Распознавание букв и цифр
	Управляемые ИНС	NP-задачи: матчинг треков (расстановка ладей)

Примеры применения ИНС

■ Триггер на b-кварках (CERN)

Проблема: события, содержащие тяжелые кварки (конкретно b) очень редки по сравнению с фоновыми событиями (отношение сигнал/фон до 10^{-5}).

Задача выделения события с b-кварками сводится к тому, чтобы по набору импакт параметра D и угла Φ определить, есть ли в событии вторичные вершины.

Решение: использование прямой ИНС. На вход подавались величины D и Φ для каждой плоскости. События с b-кварком первые выхода должны были устанавливать в 1, а остальные в -1, а фоновые события наоборот. С целью обучения было сгенерировано 2500 фоновых событий и 500 событий с b-кварком. После обучения подавление фона составило 99% при эффективности регистрации полезных событий 30%.



Примеры применения ИНС

■ Идентификация распадов τ -лептона

Проблема: фоновые условия регистрации, другие моды распада одной и той же частицы могут имитировать редкий процесс.

Решение: использование прямой ИНС. Тренировка сети осуществлялась алгоритмом обратного распространения ошибок на данных, полученных методом МК с учетом симуляции отклика детекторов. Цикл обучения состоял из одного сигнального события и одного фонового, веса обновлялись каждые пять циклов (всего 3×10^6 циклов). Эффективность регистрации распада $\tau \rightarrow \mu \nu$ составила 54% с чистотой 83%.



Примеры применения ИНС

- Идентификация частиц в детекторе типа RICH

Задача: проблема распознавания образов.

Традиционный способ заключается в выделении окружностей и фитировании для точного определения радиуса.

Решение: для обучения использовался алгоритм обратного распространения ошибок, требующий 300 эпох для набора из 700 пар-образцов. В конце обучения средняя ошибка понижается до 2×10^{-3} . На 98% представленных образцов сеть достоверно отделяла протон от π -мезона.



Примеры применения ИНС

■ Фитирование профиля пучка

Обычно ИНС используются для задач распознавания образов, но они могут также рассматриваться как измерительный прибор, т.е. аналоговый выход интерпретируется как число.

Система диагностики пучка использует пластины их оксида алюминия, покрытые стрипами золота. Для определения x - и y -положения пучка необходимы два отдельных детектора. Аналоговый сигнал со стрипов усиливается и подается на вход ИНС. Выходы нейронов последнего слоя каждой группы суммируются.

Решение: для обучения были сгенерированы пики в форме гауссианы. Как ширина, так и положение пика представляли собой реальные цифры. После обучения среднеквадратичная ошибка уменьшалась до 0,01. в случае данных с шумом ИНС показывает хорошую устойчивость и нечувствительность к помехам, когда их уровень составляет 10-15%.



Примеры применения ИНС

- Идентификация частиц по энергетическим потерям

Набор входных величин для ИНС:

1. Сумма оцифрованных сигналов фотоумножителей, откалиброванных на единицу сигнала от минимально ионизирующей частиц.
2. Разница сигналов фотоумножителей для информации о z-координате частицы, с разрешением ~ 20 см.
3. Разница в номерах проволок внутренней и внешней дрейфовых камер для информации о переданном импульсе.

Решение: обучение сети производилось на 2000 образцах, содержавших пионы и каоны. 4 выхода ИНС (для большей устойчивости и лучшей обучаемости). Тест показал, что 88% пионов и каонов правильно классифицируются.



Примеры применения ИНС

■ Классификация и идентификация событий

К задачам классификации, успешно решаемым с помощью ИНС относятся:

- Разделение э/м и адронных ливней в калориметрах;
- Разделение кварк-глюонных струй;
- Идентификация частиц, в том числе, непосредственно не наблюдаемых (кварков) распадов, систем частиц в конечном состоянии;
- Идентификация частиц по ионизации, по кольцам черенковского света и т.п.



Примеры применения ИНС

Другие примеров применения ИНС:

1. Разделение кварк-глюонных струй
 2. Идентификация тяжелых кварков
 3. Поиск хиггсовского бозона H
 4. Идентификация системы частиц в конечном состоянии
 5. Реконструкция треков
 6. Вычисление массы
 7. Обработка данных времяпроекционной камеры
- И т.д.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!