**Задача классификации точек на плоскости**

**Описание**

На плоскости отмечены точки, распределённые на 3 класса.

Необходимо построить и обучить нейронную сеть для разделения точек на классы.

Входные значения:

1. Координата точки по оси X
2. Координата точки по оси Y.

На выходе получаем принадлежность точки к конкретному классу, она имеет следующие возможные значения:

* 1 – Принадлежит к классу
* 0 – Не принадлежит к классу.

**Решение**

Нейросеть будет состоять из 3 слоёв с разными функциями активации:

* 0 слой = 2 входа
* 1 слой = 12 нейрона, функция активации логистическая SoftStep,
* 3 слой = 6 нейронов, функция активации логистическая SoftStep,
* 2 слой = 3 нейрона, функция активации Softmax,

Используемые функции активации такие:

Для обучения используется 29 примеров. К выходным значениям применяется фильтр:

При подготовке данных для обучения входные данные были нормализованы в пределах интервала [0; 1]. Минимальное значения для нормализации по осям X и Y равно 1, максимальное значение равно 26.

Для обучения нейросети использовались следующие параметры:

* Метод инициализации – Нгуен-Видроу (InitG)
* Вид целевой функции – Кросс-энтропия (Cross)
* Метод обучения – Метод обратного распространения ошибки
* Использование прироста/уменьшения скорости обучения (начальное значение = 0.07; прирост = 1.38; уменьшение = 0.7; увеличение = 1.05)
* Использование регуляризации (уровень = 0.0008)
* Использование инерции (уровень = 0.025)
* Количество эпох обучения = 3000
* Минимальная ошибка обучения = 0.01
* Использование случайного перемешивания обучающих примеров

Нейросеть обучилась за 3000 эпох. На выходе нейросети получаем 3 вероятностных значения от 0 до 1. На последней итерации обучения была достигнута следующая энергия:

* Суммовая = 0.890874
* Средняя = 0.0307198
* Максимальная = 0.171335
* Регуляризация = 146.596

После обучения на тренировочном множестве получаем следующую картину (29 примеров):

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вход | | Выход | | | | |
| X | Y | output | outrun 1 | outrun 2 | outrun 3 | outpostrun |
| 6 | 2 | 1 | 0.996960 | 0.003038 | 0.000002 | 1 |
| 11 | 4 | 1 | 0.949282 | 0.050707 | 0.000011 | 1 |
| 3 | 6 | 1 | 0.999654 | 0.000157 | 0.000189 | 1 |
| 12 | 7 | 1 | 0.953840 | 0.045915 | 0.000245 | 1 |
| 13 | 9 | 1 | 0.972409 | 0.022427 | 0.005164 | 1 |
| 18 | 10 | 1 | 0.911706 | 0.074469 | 0.013825 | 1 |
| 16 | 11 | 1 | 0.969785 | 0.007992 | 0.022223 | 1 |
| 18 | 12 | 1 | 0.974178 | 0.004605 | 0.021217 | 1 |
| 22 | 12 | 1 | 0.979489 | 0.008575 | 0.011936 | 1 |
| 20 | 14 | 1 | 0.946323 | 0.003353 | 0.050324 | 1 |
| 22 | 14 | 1 | 0.980029 | 0.002573 | 0.017398 | 1 |
| 7 | 14 | 1 | 0.962635 | 0.000034 | 0.037331 | 1 |
| 2 | 13 | 1 | 0.994705 | 0.000007 | 0.005288 | 1 |
| 4 | 18 | 1 | 0.979167 | 0.000018 | 0.020815 | 1 |
| 14 | 6 | 2 | 0.065309 | 0.934382 | 0.000309 | 2 |
| 16 | 4 | 2 | 0.004836 | 0.995089 | 0.000074 | 2 |
| 16 | 8 | 2 | 0.154502 | 0.842539 | 0.002959 | 0 |
| 18 | 1 | 2 | 0.002365 | 0.997582 | 0.000053 | 2 |
| 20 | 6 | 2 | 0.003523 | 0.996342 | 0.000135 | 2 |
| 22 | 2 | 2 | 0.001399 | 0.998542 | 0.000059 | 2 |
| 26 | 2 | 2 | 0.001315 | 0.998623 | 0.000062 | 2 |
| 10 | 16 | 3 | 0.037540 | 0.000688 | 0.961772 | 3 |
| 10 | 20 | 3 | 0.014126 | 0.000634 | 0.985240 | 3 |
| 12 | 14 | 3 | 0.027327 | 0.000905 | 0.971768 | 3 |
| 12 | 18 | 3 | 0.011256 | 0.000632 | 0.988112 | 3 |
| 14 | 14 | 3 | 0.031301 | 0.001288 | 0.967411 | 3 |
| 16 | 16 | 3 | 0.015546 | 0.000869 | 0.983586 | 3 |
| 18 | 16 | 3 | 0.038458 | 0.001484 | 0.960058 | 3 |
| 18 | 18 | 3 | 0.011655 | 0.000733 | 0.987612 | 3 |
|  |  |  |  |  |  |  |

Теперь посмотрим работу нейросети на тестовом множестве (6 примеров):

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вход | | Выход | | | | |
| X | Y | output | outrun 1 | outrun 2 | outrun 3 | outpostrun |
| 20 | 12 | 1 | 0.981015 | 0.005600 | 0.013385 | 1 |
| 8 | 10 | 1 | 0.997122 | 0.000026 | 0.002852 | 1 |
| 18 | 7 | 2 | 0.011768 | 0.987874 | 0.000359 | 2 |
| 20 | 3 | 2 | 0.001638 | 0.998299 | 0.000062 | 2 |
| 12 | 16 | 3 | 0.014237 | 0.000682 | 0.985081 | 3 |
| 20 | 19 | 3 | 0.012726 | 0.000773 | 0.986502 | 3 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Для проверки работы сети было случайным образом сгенерировано 1000 точек. Точки разделились по 3 основным классам и ещё некоторая группа точек не попала ни в один класс (граница разделения).

Таким образом, на графике видим:

* Синие точки – 1 класс
* Красные точки – 2 класс
* Зелёные точки – 3 класс
* Фиолетовые точки – не относятся ни к одному классу.

После обучения нейросеть (с заданным порогом фильтра) прекрасно справляется с задачей классификации точек на плоскости.