

## Обучение на ошибках

Процесс обучения нейронной сети с использованием дельта-правила с редукцией – это процесс детерминированный и гарантированно сходящийся.

Например, для обучающей выборки набора данных Forest type mapping Data Set [<https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Forest+type+mapping>] можно получить нейронную сеть, которая не имеет ошибок на тестовой и обучающей выборках путем переноса ошибочных экземпляров из тестовой выборки в обучающую. В результате первого обучения имеется нейронная сеть из восьми нейронов, содержащая две ошибки на тестовой выборке (экземпляры № 12 и 92). Переносим экземпляры в обучающую выборку в конец, проводим обучение. На втором обучении количество нейронов сократилось до семи, на тестовой выборке имеется одна ошибка (экземпляр № 10). Соответствующий ошибочный экземпляр переносится в обучающую выборку. На третьем обучении количество нейронов вновь возросло до восьми, при этом количество ошибок на тестовой выборке осталось равным 1 (экземпляр №125). В результате четвертого, последнего обучения структура нейронной сети содержит семь нейронов, на тестовой и обучающей выборках ошибок не содержится.

На других датасетах на перенос ошибочных экземпляров из тестовой в обучающую выборку может потребоваться большее количество времени. Очевидно, что в предельном случае, переместив все экземпляры тестовой выборки в обучающую, можно гарантировать абсолютную безошибочность обучения. Однако обучая нейронную сеть на полной выборке, во-первых, можно попасть в ситуацию переобучения, а во-вторых, на действительно больших датасетах из категории Big Data, повторяющиеся переобучения могут оказаться чрезмерно затратными.

Предлагается следующий вариант использования открытой библиотеки wideLearning. Исходная выборка делится на три части: обучающую, тестовую и корректирующую, процентное отношение экземпляров каждого класса во всех выборках должно совпадать. Обучающая выборка, по размеру, может быть значительно меньше корректирующей. Дельта-правило с редукцией обучает нейроны последовательно, друг за другом. В процесс обучения каждого нейрона надо добавить процедуру тестирования корректирующей выборки, в ней могут обнаружиться ошибочные экземпляры. Для нейронов с троичной пороговой функцией активации ошибкой является появление экземпляра нецелевого класса «правее» правой границы и/или появление экземпляра не противоположного класса «левее» левой границы разделяющего коридора. Следовательно, в обучающую выборку надо переносить не все ошибочные экземпляры корректирующей

выборки, а всего два – самый «правый» и самый «левый». Далее происходит переобучение текущего нейрона. Если в корректирующей выборке больше ошибок нет, то производится усечение и обучающей, и корректирующей выборки. Таким образом обучающая выборка пополняется считанным количеством экземпляров (пропорционально количеству нейронов), а подавляющая часть корректирующей выборки в обучении не участвует совсем, качество обучения по-прежнему оценивается по тестовой выборке. На объемных наборах данных это приведет к колоссальной экономии вычислительных ресурсов при гарантированной обучаемости нейронных сетей.