

Многослойные нейронные сети прямого распространения обучаются методом обратного распространения ошибки.

Алгоритм обучения методом обратного распространения ошибки:

**1 шаг:** инициализация матриц весов случайным образом (в циклах).

**2 шаг:** предъявление нейронной сети образа (на вход подаются значения из обучающей выборки – вектор  $X$ ) и берется соответствующий выход (вектор  $D$ ).

**3 шаг (прямой проход):** вычисление в циклах выходов всех слоев и получение выходных значений нейронной сети (вектор  $Y$ ).

$$y_i^k = f\left(\sum_{j=0}^{H_{k-1}} w_{ij}^k \cdot y_j^{k-1}\right),$$

$$y_j^0 = x_j,$$

$$y_0^{k-1} = 1,$$

$$x_0 = 1,$$

где  $y_i^k$  - выход  $i$ -нейрона  $k$ -слоя,  $f$  - функция активации,  $w_{ij}^k$  - синаптическая связь между  $j$ -нейроном слоя  $k-1$  и  $i$ -нейроном слоя  $k$ ,  $x_j$  - входное значение.

**4 шаг (обратный проход):** изменение весов в циклах по формулам:

$$w_{ij}^k(t+1) = w_{ij}^k(t) + \eta \cdot \delta_i^k \cdot y_j^{k-1},$$

$$\delta_i^k = (d_i - y_i) \cdot y_i \cdot (1 - y_i) -$$

для последнего (выходного) слоя,

$$\delta_i^k = y_i \cdot (1 - y_i) \cdot \sum_{l=1}^{H_{k+1}} \delta_l^{k+1} \cdot w_{li}^{k+1} -$$

для промежуточных слоев, где  $t$ -номер текущей итерации цикла обучения (номер эпохи),  $\eta$  - коэффициент обучения задается от 0 до 1,  $y_i^k$  - выход  $i$ -нейрона  $k$ -слоя,

$w_{ij}^k$  - синаптическая связь между  $j$ -нейроном слоя  $k-1$  и  $i$ -нейроном слоя  $k$ ,  $d_i$  – желаемое выходное значение на  $i$ -нейроне,  $y_i$  - реальное значение на  $i$ -нейроне выходного слоя.

**5 шаг:** проверка условия продолжения обучения (вычисление значения ошибки и/или проверка заданного количества итераций). Если обучение не завершено, то 2 шаг, иначе заканчиваем обучение. Среднеквадратичная ошибка вычисляется следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{1}{Q} \cdot \sum_{q=1}^Q \sum_{i=1}^H (d_i - y_i)^2,$$