

**Neuronhálók:** több perceptron hálózatba kapcsolva.

Szokásos felépítés: Multilayer Feedforward Network: több szint, szintenként több 'párhuzamos' perceptron, minden szint csak a következő szinthez kapcsolódik, csak előre-csatolás

### A neuronhálók reprezentációs ereje

- AND, OR (TRUE:=1, FALSE:=-1): egyetlen perceptron, de(!) XOR nem reprezentálható
- tetszőleges Boole-fgv 2 réteggel.  
Indoklás: teljes diszjunktív normálforma (NOT: nem kell kapu, csak -1 értékű súly)
- (folytonos) konvex, összefüggő térrész: 2 réteg
- tetszőleges fgv (pl. konkáv vagy nem összefüggő térrészek): 3 réteg

### A neuronhálók előnyei és hátrányai:

#### Előnyök (mikor alkalmazzuk):

- A tanulandó függvényről ismeretünk van  $(x, o)$  példák formájában
- A tanulandó függvény be- és kimenete lehet diszkrét értékű, folytonos értékű, vagy ezek valamilyen vektor-kombinációja
- a neuronhálók nem érzékenyek a tanító példák hibáira
- gyorsak (a felhasználás során)

#### Hátrányok:

- általában nagyon hosszú tanulási idő
- a megtanult belső reprezentáció (azaz a súlyok értéke) az ember számára legtöbbször nehezen értelmezhető.

## Többrétegű előrecsatolt hálók tanítása - a Backpropagation algoritmus

A hiba a neuronhálók esetén legyen:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{d \in D} \sum_{x \in \text{outputs}} (t_{kd} - o_{kd})^2 \quad ,$$

ahol  $D$  a tanulandó példák halmaza,  $t_{kd}$  a helyes osztálycímkel, valamint 'outputs' a kimenő egységek halmaza,  $o_{kd}$  pedig a szigmoid-függvénnyel kapott kimenet.

### A Backpropagation algoritmus

- Inicializálás: kis véletlen értékekkel
- Iteráció: amíg a megállási feltétel teljesül
  - minden tanítópéldára
    - \* engedjük át a példát a neuronhálón
    - \*  $w_{ji} = w_{ji} + \eta \delta_j x_{ji}$ , minden (i,j) (i-ből j-be menő) párra

Ahol a  $\delta_j$  az aktuális neuron (perceptron) hibája, amely a következők valamelyike szerint számolható:

- $\delta_k = o_k(1 - o_k)(t_k - o_k)$ , ha  $k$  egy kimenő egység
- $\delta_h = o_h(1 - o_h) \sum_{k \in U_{ses}(h)} w_{kh} \delta_k$ , ha  $h$  egy rejtett egység

### Megállási feltétel lehet:

- iteráció száma
- az összesített hiba a tanulómintákon egy küszöb alá került
- nincs lényeges hiba csökkenés az egyes iterációk között

### Felmerülő kérdések:

- Input kódolása
- Output kódolása
- Tanítási paraméterek változtatása (lassú konvergencia/ugrálás)
- Hálózat struktúrája (nem tanul/nagyon lassan tanul)
- Rejtett neuronok száma (nem tanul/túltanul)