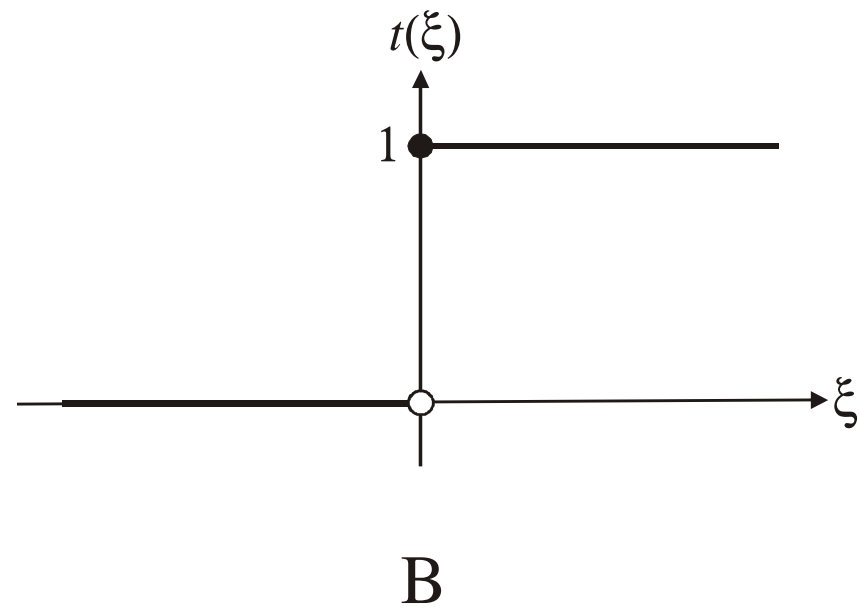
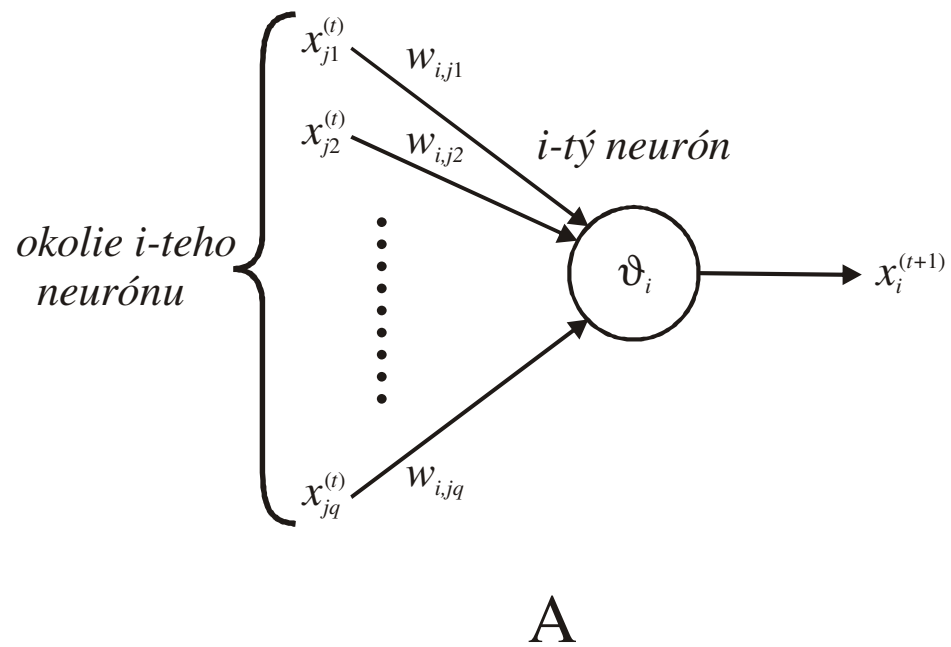
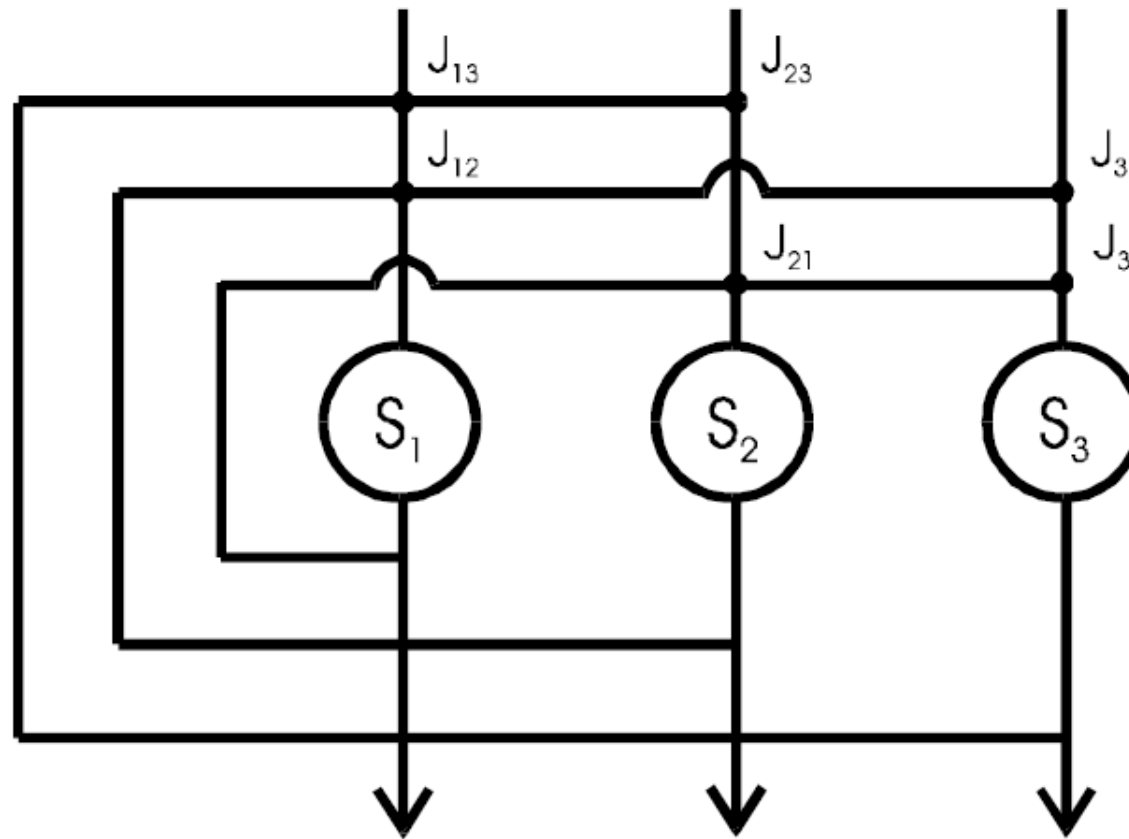


Hopfieldov model

- J. J. Hopfieldom - Princeton 1982



- Rekurentná sieť



Neurón – 2 stavoch, aktívny alebo neaktívny

Konfigurácia aktivity – vstupný a zároveň výstupný stav siete

Synaptické váhy J_{ij}

Postsynaptický potenciál $h_i^{\text{int}} = \sum_j J_{ij} S_j$

Prah excitácie h_i^{ext}

Efektívny postsynaptický potenciál $h_i = h_i^{\text{int}} - h_i^{\text{ext}}$

Deterministické prechodové pravidlo $S_i' = \text{sign}(h_i) = \text{sign}\left(\sum_j J_{ij} S_j - h_i^{\text{ext}}\right)$

Dynamika obnovovania

Synchrónna paralelná dynamika

$$S_i(t) = \text{sign} \left(\sum_{j=1, i \neq j}^N J_{ij} S_j(t-1) - h_i^{ext} \right)$$

Asynchrónna sekvenčná dynamika

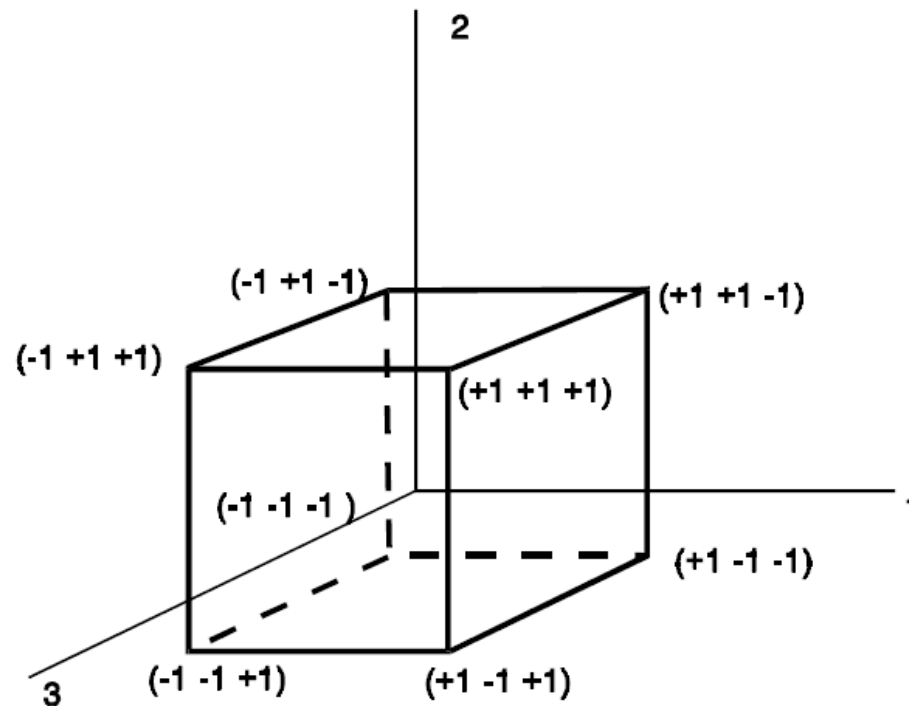
$$S_i(t) = \text{sign} \left(\sum_{j=1, i \neq j}^N J_{ij} S_j(t) - h_i^{ext} \right)$$

Stav siete $S(t) = (S_1, S_2, \dots, S_N)$

Stavy - vrcholy hyperkocky

Trajektória Hopfieldovej siete $S(1), S(2), S(3), S(4), S(5) \dots S(t) \dots S(T)$

Ak asynchrónna dynamika – pohyb iba po hranách hyperkocky



Energia konfigurácie $E(S) = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N J_{ij} S_i S_j - \sum_{i=1}^N h_i^{ext} S_i$

Spontánna evolúcia Hopfieldovej siete

- **Náhodné nastavenie počiatocného stavu**
- **Nastavenie prahov na 0 alebo malé čísla z (-1,1)**
- **Nastavenie váh na malé čísla z (-1,1)**
- **Evolúcia stavov podľa synchronnej alebo asynchronnej dynamiky obnovovania**

- **Chaotické trajektórie ak asymetrická matica (energia stúpa aj klesá)**
- **Limitné cykly – typické pre synchronnu dynamiku**
- **Bodové atraktory – mnohé počiatocne stavy v tom istom atraktore – spádová oblasť – typické pre asynchronnu dynamiku**

$$E(S) = -\frac{1}{2} \sum_{i=1, i \neq m}^N \sum_{j=1, j \neq m}^N J_{ij} S_i S_j - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N J_{im} S_i S_m - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N J_{mj} S_m S_j$$

$$E(S) = -\frac{1}{2} \sum_{i=1, i \neq m}^N \sum_{j=1, j \neq m}^N J_{ij} S_i S_j - \sum_{j=1}^N J_{mj} S_m S_j$$

$$E(S') = -\frac{1}{2} \sum_{i=1, i \neq m}^N \sum_{j=1, j \neq m}^N J_{ij} S_i S_j - \sum_{j=1}^N J_{mj} S'_m S_j$$

$$E(S') - E(S) = -\sum_{j=1}^N J_{mj} S'_m S_j + \sum_{j=1}^N J_{mj} S_m S_j = (S_m - S'_m) \sum_{j=1}^N J_{mj} S_j = (S_m - S'_m) h_m$$

- | | | | | | | |
|-----------|------------|-------------|--------------|-----------|----------|----------------|
| 1) | $S_m = +1$ | $S'_m = +1$ | vtedy | $h_m > 0$ | a | $\Delta E = 0$ |
| 2) | $S_m = -1$ | $S'_m = -1$ | vtedy | $h_m < 0$ | a | $\Delta E = 0$ |
| 3) | $S_m = +1$ | $S'_m = -1$ | vtedy | $h_m < 0$ | a | $\Delta E < 0$ |
| 4) | $S_m = -1$ | $S'_m = +1$ | vtedy | $h_m > 0$ | a | $\Delta E < 0$ |

Autoasociatívna pamäť

- Pamäť adresovaná obsahom

- Obrázec z pamäti – bodový atraktor

-

- Neúplný obrázec – ak v spádovej oblasti vývoj do daného atraktora

- Atraktory určené maticou váh $J_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{p=1}^P \xi_i^p \xi_j^p & \text{pre } i \neq j \\ 0 & \text{pre } i = j \end{cases}$, kde $\xi^p = (\xi_1^p, \xi_2^p \dots \xi_N^p)$ je

pamäťová konfigurácia p z celkového počtu P konfigurácií

