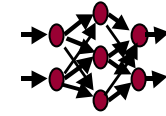


## ■ Mesterséges neurális hálók

- A mesterséges neurális hálózatok kutatásának, kifejlesztésének **célja** az emberi **információfeldolgozás** mechanizmusainak **megértése** és **felhasználása** az emberi mentális folyamatok gépi modellezésében.

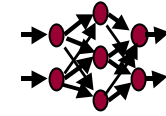
Ezen tevékenység összetevői:<sup>1</sup>

- A **kognitív folyamatok** alapvető **figyelembevétel**e, beleértve ebbe az **idegéletani** kutatások és a **pszichológia** kapcsolatát is.
- Hatalmas számú erőteljes kapcsolatrendszerrel bíró **párhuzamos számítási egységeket tartalmazó új formájú számítási modell**, mely figyelembe veszi az idegrendszeri, pszichológiai ismeretek tanulmányozásából eredő követelményeket, valamint a számítási lehetőségek mélyen átgondolt adottságait.
- A **megismerésre vonatkozó új koncepciók**, melyek áthelyezik a hangsúlyt a szimbolikus feldolgozásról azon állapotokra, melyek tükrözik az ábrázolandó ismeretek és a megalkotott működési struktúrák lehetséges konfigurációi közötti egyezés minőségét.
- A **tanulás** – a folyamatos alkalmazkodás és tanulás köré épített mechanizmusok – **hangsúlyozása**.



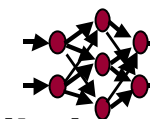
## ■ Mesterséges neurális hálók ..

- A mesterséges neurális hálók (Artificial Neural Networks, ANN) a biológiai neurális hálók modellezésével létrehozott, *erőteljes elosztott párhuzamos feldolgozást, kollektív számítást megvalósító rendszerek*. Mivel a tudást olyan módon hordozzák és dolgozzák fel, hogy az az ember számára közvetlenül követhetetlen, a szimbolikus tudásszemléltetést alkalmazó modellektől való megkülönböztetést a **szubszimbolikus** elnevezéssel is hangsúlyozzák. A működésben domináló kapcsolódásokat kiemelő „*konnekcionista rendszerek*” elnevezés, valamint a tanulóképesésre utaló „*adaptív hálók*” elnevezés is használatos.
- A mai neurális hálók még messze állnak a teljes céltól, az emberi aggyal összemérhető szintű működéstől. A jelenlegi szinten a matematikai modellek besorolhatók az **iteratív numerikus algoritmusok** osztályába. Megfigyelhetők azonban jelentős **eltérések** is:
  - A **párhuzamos feldolgozásra** való alkalmasság
  - **Zajos és hibás input** kezelésének képessége
  - **Nemlineáris** numerikus számítási elemek alkalmazása
  - Elméleti analízisük hiányosságai ellenére **sikeresek** a gyakorlati alkalmazások.



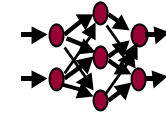
## ■ A klasszikus MI módszerek és a mesterséges neurális hálók összevetése<sup>1.</sup>

- A **klasszikus** rendszerek jellemzői:
  - Korlátozott alkalmazhatósági terület
  - Nehézkes az ellentmondó és az időben változó ismeretek kezelése
  - Hiányzó, vagy alacsony szintű tanulási képesség.
- A **neurális** hálók a *Carl Hewitt* által körvonalazott nyílt rendszerekhez tartoznak, melyek tulajdonságai:
  - Folytonos változás és fejlődés
  - Decentralizált döntéshozatal
  - Folytonos inkonzisztencia a tárolt ismeretek között
  - Kommunikációigény a rendszerkomponensek között
  - A zárt világ feltételezés lehetetlensége.



■ **Megfeleltetések a biológiai rendszer, a neurális háló matematikai modellje és a gondolkodás tevékenységei között**<sup>1.</sup>

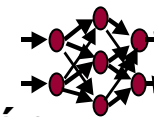
• <b>Biológiai rendszer</b>	<b>Matematikai modell</b>	<b>Gondolkodás</b>
• Idegsejtek	mest.neuron	hipotézis
• Kisülés frekvenciája	aktiválás	bizonyosság szintje
• Depolarizáció szétterjedése	aktiváltság szétterjedése	a bizonyosság továbbterjesztése: következt.
• Szinaptikus érintkezés	kapcsolat	gondolati-következtetési viszonylatok
• Gerjesztés/tiltás	pozitív/negatív súly	pozitív/negatív következtetési reláció
• A depolarizáció közelítő összegeződése	inputok összegzése	a bizonyosság közelítő összegeződése
• Kisülési küszöb	aktiválás továbbítási küszöbje	függetlenség az irreleváns információtól
• Korlátozott dinamika tartomány	szigmoid átviteli függvény	a feldolgozás erősségének korlátozott tartománya



## ■ A mesterséges neurális hálók által megoldható feladatok a feladatok matematikai modellje szerint<sup>1.</sup>

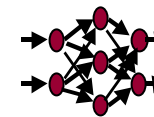
- Statisztikai feladatok:
  - Mintázatfelismerés,
  - Regresszió- és sűrűségfüggvény becslés
  - Kompresszióelemzés
  - Független komponensekre való szétválasztás
- Operációkutatás:
  - Kombinatorikus optimalizálás
- Analízis:
  - Függvény-approximáció
- Automatikus kontroll, tanulás közben is megbízható rendszer

1. Futó Iván: *Mesterséges intelligencia* Aula Kiadó, 1999..



## ■ A mesterséges neurális hálózatok kutatása, elemzése kapcsán alkalmazott matematikai elméletek<sup>1.</sup>

- Számítástudomány: a kiszámíthatóság fogalmának bevezetése. Vizsgálható a zaj- és hibatűrés.
- Komplexitáselmélet: a tanulási feladatok nehézségi fokának meghatározására
- Numerikus analízis: erős összefonódás
- Matematikai statisztika: tanulhatóság elmélete és hibabecslő módszerek
- Statisztikus fizika: nagyméretű rendszerek viselkedése, tárolókapacitás
- Analízis és valószínűség számítás: konvergenciakészség elemzése
- Ljapunov módszer: hálózati algoritmusok konstruálására
- Sztochasztikus approximáció elmélet: sztochasztikus modellekhez
- Monte-Carlo módszerek: tanításhoz
- Heurisztikák: a szükséges hálóméret megtalálására

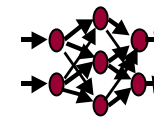


## ■ A mesterséges neurális hálók fő működési jellemzői

A mesterséges neurális hálók működési jellemzői alapvető eltérést mutatnak a szimbolikus tudásszemléltetési modellek jellemzőitől.

A fő jellemvonások a következők:

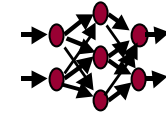
- Tanulás
- Általánosítóképesség
- Zajos és hiányos adatok elfogadása
- Gyors működés
- Szövevényes viszonylatok kezelése
- Önszervezés
- Hatalmas adatmennyiség elemzése
- Rugalmasság.



## ■ Példák mesterséges neurális hálók alkalmazására<sup>1</sup>

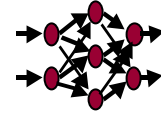
- A New York-i Gyógyászati Központban, művégtagok mozgatásához szükséges számítások elvégzésére használtak ANN-t.
- A NASA neurális hálót alkalmazott *robotoknál* a véletlenszerűen elhelyezkedő tárgyak megfogásához szükséges mozgások vezérlésére.
- A General Dynamics egy vízalatti figyelorendszerben alkalmazott ANN-t. Ez képes volt a vízi járművek beazonosítására a vízben terjedő hangjuk alapján. Még a vízfelszínen hullámokat kavaró helikopter felismerése sem okozott gondot.
- A pennsylvaniai egyetemen kifejlesztett *katonai repülőgép-felismerő rendszer* képes volt megkülönböztetni 18 hüvelykes részleteket 50 mérföld távolságról, és repülőgépeket beazonosítani a teljes minta 10%-ának birtokában.
- A *Terry Sejnowski* által kifejlesztett NetTalk rendszer írott szövegek hangos felolvasására volt képes. 300 neuront használt.





## ■ Példák mesterséges neurális hálók alkalmazására ..<sup>1</sup>

- A *Teuvo Kohonen* által Finnországban kifejlesztett *beszédfelismerő rendszer* folyamatos finn és japán nyelvű beszéd karaktersorozatokká alakítására volt képes.
- Az amerikai légierő egy ANN alapú *repülésszimulátort* készített pilóták kiképzéséhez.
- Az amerikai General Devices Space Systems Division ANN-t alkalmaz az *Atlas rakéták* szelepeinél a nyitás és zárás vezérlésére.
- A Ford autógyár ANN-t alkalmaz a motor szenzorjeleinek figyelésére és a fellépő problémák beazonosítására.
- New York repülőtérén egy ANN-en alapuló bombadetektort használnak. Stb.



## ■ ANN integrált áramkörök<sup>1.</sup>

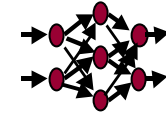
A mesterséges neurális hálók algoritmusai modellezhetők Neumann-elvű, szekvenciális feldolgozást megvalósító számítógépeken is, azonban igazi erősségük abban van, hogy könnyen megvalósíthatók párhuzamos feldolgozást végző **hardver** formájában is. Ekkor a működési ciklusidók elérik a **2 000 Milliárd kapcsolat/másodperc** értéket is, amely lehetővé teszi ezen Áramkörök alkalmazását real-time feladatok megoldására, pl. rakéták irányítására, vagy videojelek valós idejű feldolgozására.

*Carver Mead* a Kaliforniai Technológiai Intézetben kidolgozott egy "**szilícium szemet**", mely az emberi szem képességének felét modellezi.

Az amerikai védelmi hivatal támogatta a kifejlesztését egy **analóg neurális áramkörnek**, melyet automata pilótaként, hajtóművezérlőként és vegyi reaktor vezérlőjeként kívánt felhasználni.

A Motorola az Applied Intelligent Systems céggel együttműködve erőteljes párhuzamos működést megvalósító **látó számítógépet** fejlesztett az általa gyártott alkatrészek szerelésének automatizálására.

1. Jeanette Lawrence: *Introduction to Neural Networks* California Scientific Software, Grass Valley, 1991. p203.



## ■ ANN integrált áramkörök ..<sup>1.</sup>

A Syntonic Systems **karakterfelismerésre** fejlesztett ki mesterséges neurális hálón alapuló chip-et.

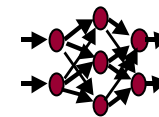
A legismertebb általános célú neurális chipet az **Intel** fejlesztette ki. Ez a **80170 ETANN** jelu chip 1991-ben a leggyorsabb ANN chip volt. 2 milliárd kapcsolat/másodperces sebességével egy komplett hálót 1 microsecundumon belül lefuttatott. Analóg súlyokat és CMOS EEPROM technológiát használt. Mind analóg, mind digitális jelekkel képes volt kommunikálni. 3 réteget, rétegenként 64 neuront tartalmaz, és összesen 10000 kapcsolatra képes. A chip off-line, azaz külső betanítást igényelt.

A Micro Devices cég chipje 8 neuront tartalmaz, mindegyik 15 inputot fogadhat. Párhuzamosan kapcsolhatók nagyobb rendszerekhez. 8 neuronnal 10 millió kapcsolat/másodperc sebességre képes.

A Hitachi chipjében 576 neuron működik. Hopfield hálót modellez.

A Bell laboratórium mintafelismerésre dolgozott ki egy chipet. Analóg és digitális működést ötvöz, 300 milliárd kapcsolat/másodperc sebességgel működik.

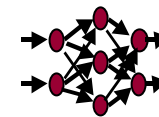
1. Jeanette Lawrence: **Introduction to Neural Networks** California Scientific Software, Grass Valley, 1991. p203.



## ■ Események a mesterséges neurális hálók kifejlesztésében <sup>1.</sup>

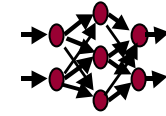
Év	Kutatók	Fejlesztési eredmény	Jellemzo
1947	McCullock & Pitts	McCullock-Pitts neuron	első neuron model
1949	Hebb	szinaptikus tanulás	biológiai alap
1958	Rosenblatt	Perceptron	logikai küszöb
1960	Widrow & Hoff	ADALINE	delta szabály
1969	Minsky & Papert	Perceptrons	bíráló könyv
1972	Anderson	lineáris asszociátor	változó output
1972	Kohonen	ineáris asszociátor	változó output
1973	Von der Malsburg	visual cortex model	fiziológiás elmélet bizonyítása
1976	Grossberg	adaptív minták	pszichológia és matematika
1976	Marr és Poggio	látás	együtműködés
1977	Amari	neuron medence	versengés
1980	Grossberg	adaptív rezonancia	pszichológiai modell
1981	McClelland és t.	karakter felismerés	jellemzők érzékelése

<sup>1.</sup> Jeanette Lawrence: **Introduction to Neural Networks** California Scientific Software, Grass Valley, 1991. p203.



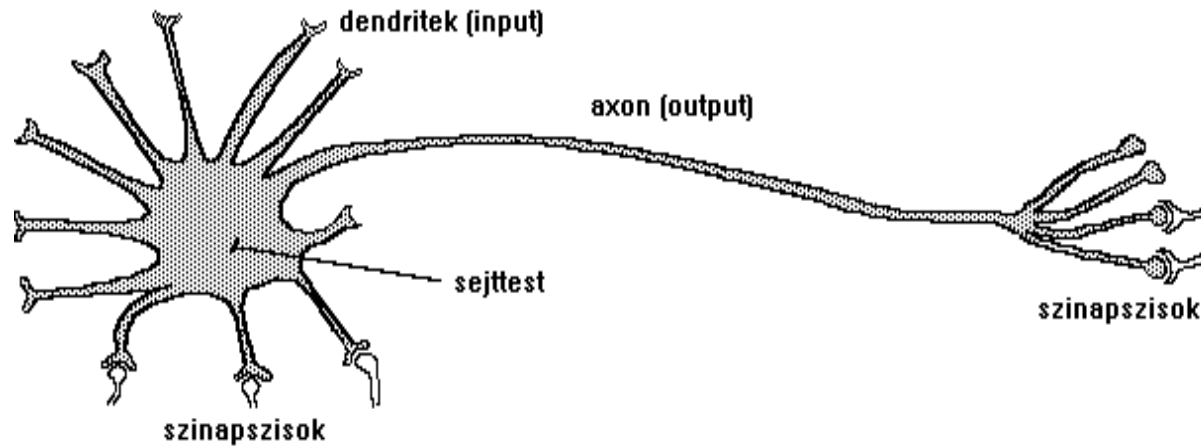
## ■ Események a mesterséges neurális hálók kifejlesztésében .. 1.

Év	Kutatók	Fejlesztési eredmény	Jellemzo
1982	Bienenstock és t.	vizuális cortex	neurofiziológia
1982	Kohonen	jellemzők térképe	önszervezés
1982	Hopfield	autoasszociáció	stabil állapotok
1982	Feldman és t.	Connectionist	párhuzamos elosztott feldolgozás
1983	Fukushima	Neocognitron	felismerés
1983	Grossberg és t.	ART	komplex visszacsatolt modell
1984	Hinton és t.	Boltzman gép	annealing
1985	Rumelhart, Parker	back propagation	delta szabály, rejtett réteg
1986	Rumelhart és t.	PDP	neurális háló könyvek
1986	Sejnowski és t.	NetTalk	backprop. alkalmazás
1987	Kosko	BAM	párok társítása
1990	Intel	i80170	kommersz neuron chip.

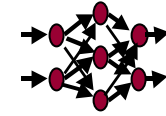


## ■ Biológiai alapok

- Az emberi agy egy komplex biológiai neurális hálózat, mely idegsejtek, neuronok sokaságát ( $\sim 10^{12}$ ) tartalmazza. Jellemzője a párhuzamos működés.
- Az idegsejt (neuron) egy elemi információ-feldolgozó egység:

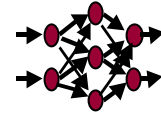


Egy neuron felépítése

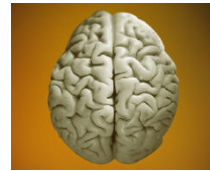


## ■ Biológiai alapok ..

- Az idegi működés a félvezetők kapcsolási sebességéhez képest **lassú** ( $10^{-2}, 10^{-3}$  sec). Az erőteljes párhuzamos működés miatt **mégis nagy teljesítményu.**
- A **misztikus** az, hogy az a nagyszámú, erőteljes kapcsolódásban lévő elem (a neuronok) melyek látszólag nagyon egyszerű gerjesztő és tiltó jeleket küldenek egymásnak, hogyan hozzák létre ezt a bonyolult emberi gondolkodást.
- A párhuzamos működésű neurális hálózatok Neumann-elvű soros működésű számítógépen való modellezésének alapját az adja, hogy **elvileg nincs különbség egy párhuzamos és egy soros számítógép között.** Tulajdonképpen mindkettő *Turing-gép*. Különbségek csak a számítás határfokában, vagy sebességében lehetnek.



## ■ Az emberi agy és a számítógép összevetése

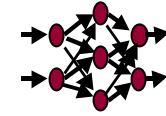


Számítási egységek	1CPU, $10^5$ kapu	$10^{11}$ neuron
Tárolóegységek	$10^{10}$ bit RAM, $10^{12}$ bit HDD	$10^{11}$ neuron, $10^{14}$ szinapszis
Ciklusidő	$10^{-10}$ mp	$10^{-3}$ mp
Sávszélesség	$10^{10}$ bit/mp	$10^{14}$ bit/mp
Neuronmódosítás/mp	$10^6$	$10^{14}$

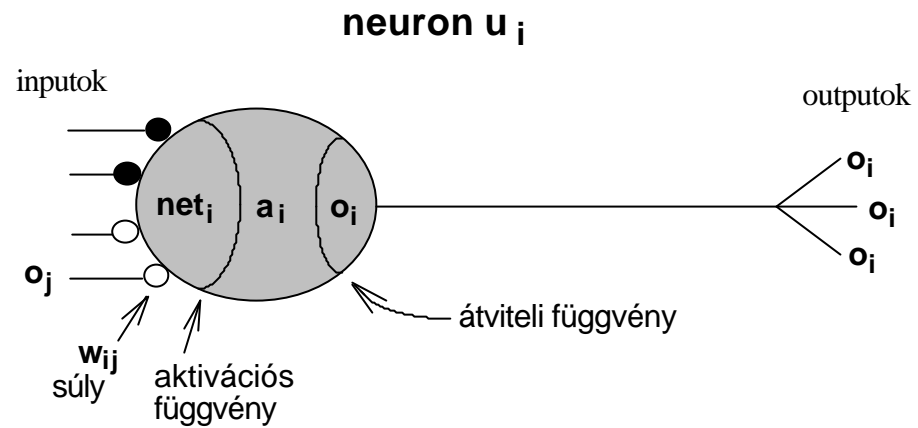
(2002)

- Megjegyzendő, hogy a számítógép adatai másfél évente megduplázódnak, míg az agy esetében a változás nem észlehető.





## ■ A mesterséges neuron

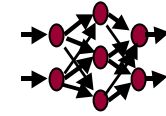


$$net_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot o_j$$

súlyozott bemenetek összege



... A bemenőjelek egyszerű összegzése a szokásos, de vannak bonyolultabb eljárások is

Az  $u_i$  neuron



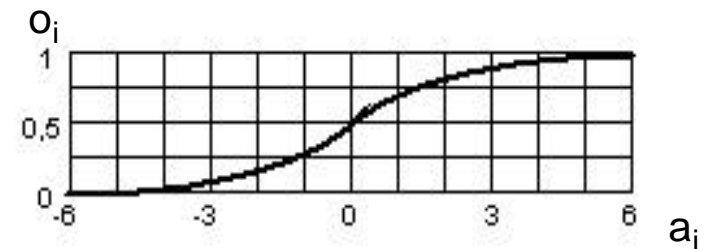
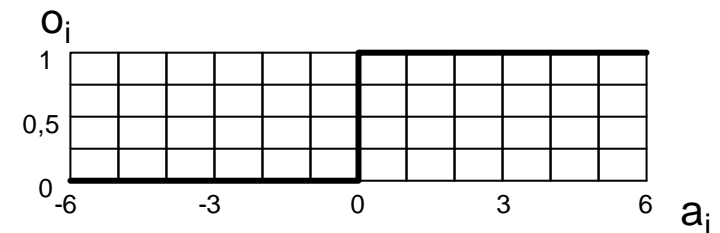
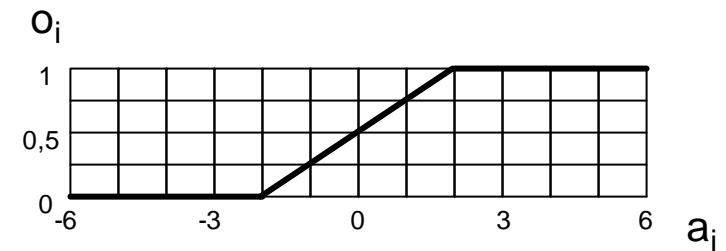
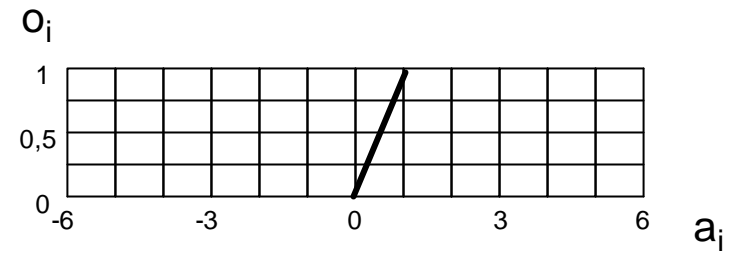
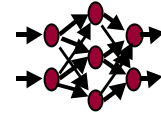
## ■ A mesterséges neuron részei

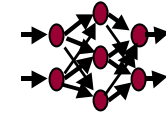
Egy mesterséges neurális háló egyszerű számítási egységekből, mesterséges neuronokból áll, melyek egymásnak küldött jelekkel kommunikálnak. A jelek nagyszámú súlyozott kapcsolaton áramlanak.

- $u_i$  a háló  $i$ . mesterséges neuronja
- $o_j$  a  $j$ . neurontól érkező jel az  $u_i$  neuron bemenetére
- $w_{ij}$  a  $j$ . neurontól az  $i$ . neuronba érkező jel szorzója, a  $u_j$ - $u_i$  kapcsolat súlya
- $net_i$  az  $u_i$  neuron bemeneteinek súlyozott összege,  
$$net_i = \sum w_{ij} * o_j \quad (j=1..n)$$
- $a_i$  az  $u_i$  neuron aktivációs potenciálja, melyet a bemenetek súlyozott összegéből az aktivációs függvény állít elő. Ez a függvény egyszerű esetben elmarad. Az  $a_i$  aktivációs potenciál gerjesztő input híján időben csökken, a gerjesztett, izgatott állapotból visszatér egy inaktív szintre:  
$$a_i = a_i(t)$$
- Az átviteli függvény generálja az aktivációs potenciálból az  $o_i$  kimenő jelet. Az átviteli függvény leggyakrabban küszöb , vagy szigmoid  alakú. A függvénynek köszönhetően a neuron egy bizonyos aktivációs potenciált elérve ad csak outputot, tüzel.

## ■ Az átviteli függvény típusai

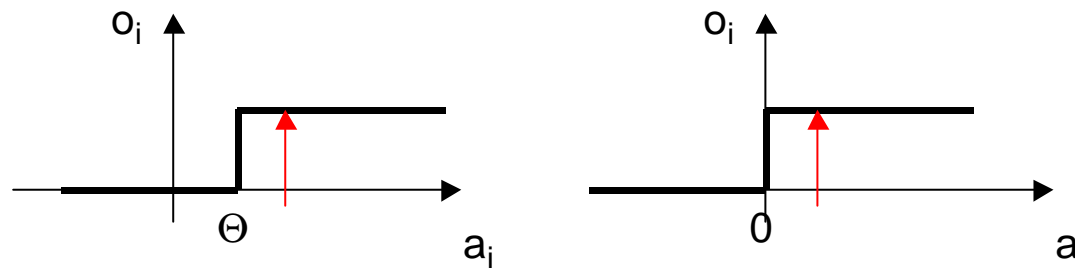
- Lineáris  $o_j = f(a_i) = \alpha \cdot a_i$ ;  $\alpha$  valós
- Lineáris küszöb függvény
- Lépcsős függvény
- Sigmoid függvény  
(a leggyakrabban alkalmazott)  $o_i = \frac{1}{1 + e^{-a_i}}$
- Egyéb, pl.: Gauss-féle (haranggörbe), tangens-hiperbolikus függvény.





## ■ Az átviteli függvény küszöbértékének megadása

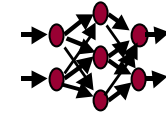
A mesterséges neuron átviteli függvényének küszöbértéke is változik a betanítás folyamán. A változtathatóság egyszerűsítésére a küszöbértéket nem a neuronban adják meg, hanem egy plusz bemenet megadásával realizálják. A bemenet inputértékeként  $-1$  értéket megadva, a bemenet súlya meg fog egyezni a szükséges küszöbértékkel. Ily módon a betanítás során végzett automatikus súlymódosítások a küszöböt is állítani fogják.



Egy  $n$  bemenetes neuron tüzel, ha  $w_{i1} * x_1 + w_{i2} * x_2 + \dots + w_{in} * x_n > \Theta$

Ugyanígy, az  $n+1$  bemenetes neuron tüzel, ha

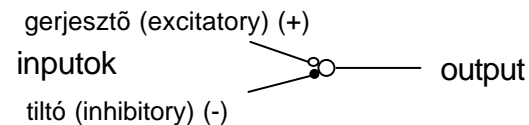
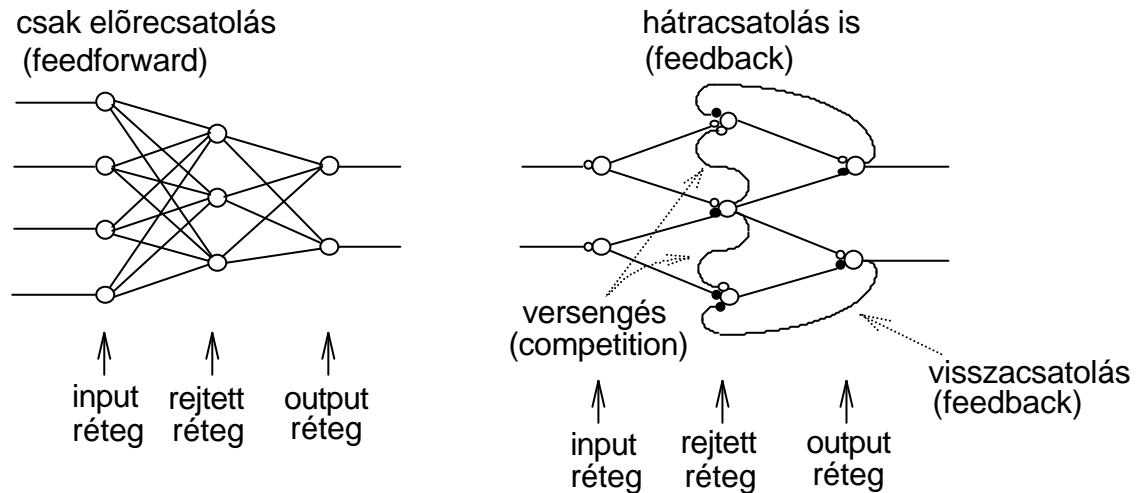
$$w_{i1} * x_1 + w_{i2} * x_2 + \dots + w_{in} * x_n + \Theta * (-1) > 0$$

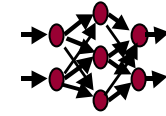


## ■ Hálózati topológiák

A neuronokat egymáshoz kapcsolják, és a rendszer általános viselkedését ezen kapcsolatok struktúrája és erőssége ( $w_{ij}$ ) adja meg. A neuronokat csoportokba, vagy rétegekbe rendezik el. Az egyetlen réteget alkotó, egymással kapcsolódó neuronok hálózatát gyakran *tartalom által címezhető memóriának* (CAM, Content Addressable Memory) nevezik.

Gyakoribb a többrétegu topológia:





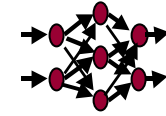
## ■ Hálózati topológiák ..

A neurális hálók eltérő működéséért elsősorban az eltérő topológia a felelős.

- **Az előrecsatolt** hálók működése nem időfüggő: a jelek áthaladnak a hálón a bemeneti réteg irányából a kimeneti réteg felé. A hálóban több rejtett réteg is lehet. A kimenet a bemenet, a neuronok átviteli jellemzőinek és a súlymátrixnak a függvénye.
- **A hátracsatolt**, vagy visszacsatolt hálók működése eltérő: a bemenet ráadása egy, általában konvergens folyamatot indít el, amelyben a jelek előrefelé és visszafelé is haladnak. A  $t$ . időpillanatban számított jelek megjelenhetnek a korábbi rétegek bemenetén a  $t+1$ . időpillanatban. A konvergencia végén a jelek értéke állandósul, ekkor leolvashatjuk a kimenő rétegen a kimenet értékét.

A hátracsatolt hálók néhány jellemzője:

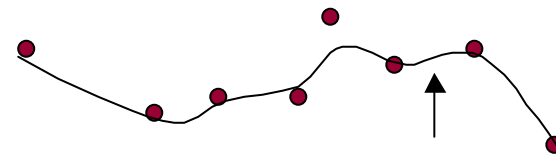
- Lehetnek konvergensek egy stabil állapot felé, vagy instabilak, oszcillálóak.
- A konvergencia, a stabil állapot elérése hosszabb időt igényelhet.
- Nehezebben taníthatók és bonyolultabb matematikai apparátussal írhatók le.
- Rendelkezhetnek belső állapottal.



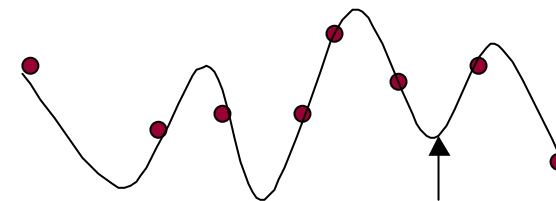
## ■ Hálózati topológiák ..

A hálózati struktúra változtatható paramétereinek kihatása a működésre:

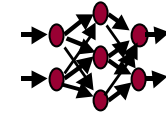
- A háló bemeneti és kimeneti neuronjainak a számát a neuronhálóval megoldani kívánt feladat egyértelműen meghatározza. A belső rétegek száma és a bennük lévő neuronok száma azonban szabadabban választható meg.
- Túl kevés neuron kevés minta tárolását teszi lehetővé és megghiúsíthatja a betanulást.
- Túl sok neuron esetén a háló betanul, de a korábban nem látott inputokra a háló rosszul válaszol, adatbázisszerűen működik.



*Approximáló-jellegű görbe  
jól általánosít*



*Interpoláló jellegű görbe  
erősen hullámzik, rosszul  
általánosít*



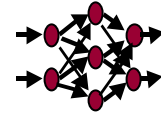
## ■ Hálózati topológiák ..

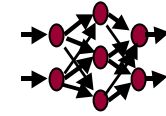
- A hálózat neuronjai számának betanulás során való megállapítására két alapvető módszer létezik:
- **Optimális agykárosítás modell:** teljes kapcsolati hálóval indul és a betanítás egyes lépéseiben a közel nulla értékű súlyokat elhagyjuk. Ha az így lecsökkent kapcsolatrendszerű háló továbbra is jól szerepel, akkor az elhagyás véglegesítődik és a műveleteket ismétlik. A sok kapcsolat kiesése mellett neuronok is kiesnek.
- **Hálónövesztő algoritmusok:** a betanítási folyamat közben adnak hozzá újabb neuronokat és kapcsolataikat a hálóhoz. A hozzáadás függhet a hibaminimumra törekvő háló esetén a hibafüggvény csökkenésének meredekségétől, vagy a csempéző algoritmus esetében a beválasztott új neuronok teljesítményétől. Az algoritmus azzal a neuronnal indítja, amelyre a legtöbb minta a legjobb kimenetet adja. A következő hozzáadandó neuront hasonlóan választja, és addig folytatja, míg az összes mintára kielégítő nem lesz a válasz.



## ■ Hálózati topológiák ..

- Egy rejtett réteggel rendelkező háló bármely folytonos függvény megtanulására képesek
- Két rejtett réteggel rendelkező háló minden függvényt képesek approximálni, bár ezt az elvi lehetőséget a bemenetek számától exponenciálisan függő belső rétegbeli elemszám rontja.
- Érdekes kísérlet az optimális hálótópológia keresése genetikussal a szóbajöheto hálószerkezetek terében.





## ■ Tanulási módszerek

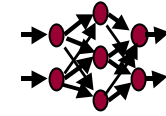
A tanulást úgy definiáljuk, mint a hálózat memóriájának, azaz a súlymátrixnak a változását.

Kategóriái:

- *Felügyelt tanulás* (supervised learning)
- *Felügyelet nélküli tanulás* (unsupervised learning)

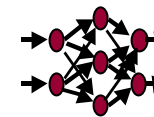
**Felügyelt tanulás:** külső tanárt, ill. globális információt igényel, és olyan technikákat jelent, mint:

- **hiba-javító tanulás** (error correction)
- **megerősítő tanulás** (reinforcement learning)
- **sztochasztikus tanulás** (stochastic learning).



## ■ Felügyelt tanulási módszerek

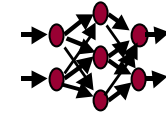
- **hiba-javító tanulás** (error correction): az output réteg egyes neuronjainál vizsgált - az elvárt és a valós értékek különbözeteként adódó - értékek alapján a súlymátrix kapcsolatait módosítja
- **megerősítő tanulás** (reinforcement learning): megfelelően végrehajtott akciónál a súlyok megerősödnek, egyébként gyöngülnek, az akció jóságát az outputvektorból képezett skalár mutatja
- **sztochasztikus tanulás** (stochastic learning): a súlymátrix random változtatása után meghatározza a hálózat ún. energiaértékét. Ha a változás hatására az energia csökkent, akkor a változást elfogadja, egyébként pedig csak akkor, ha a változás megfelel egy előre választott valószínűségi eloszlásnak. Ez a véletlen elfogadása a változásnak, mely időszakosan ronthatja a rendszer működését, jóságát, lehetővé teszi, hogy kikerüljön a lokális energiaminimum völgyekből, miközben az optimális állapotot keresi. (Vesd össze: szimulált hűtés elvű kereséssel.)



## ■ Felügyelt tanulási módszerek ..

Példák a felügyelt tanulásra:

- Perceptron (*Minsky és Papert, 1969*)
- Adaline
- Madaline (*Widrow és Lehr, 1990*)
- Back-propagation
- Boltzmann-gép (*Ackley, 1985*).

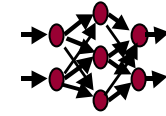


## ■ Felügyelet nélküli tanulás, vagy önszervezés

Nem igényel külső tanítót, lokális információ és belső kontrollstratégián alapszik. (Versengő háló.)

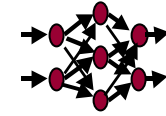
Példák a felügyelet nélküli tanulásra:

- Hopfield háló (*Hopfield, 1982* )
- Kétirányú asszociatív memória = BAM (Bidirectional Associative Memory, *Kosko, 1987* )
- Kohonen modell (*Kohonen, 1988*)
- Szembe terjesztés (counter propagation , *Hecht-Nielsen, 1987*).
- Adaptív rezonancia elmélet (ART, Adaptive Resonancia Theory, *Carpenter és Grossberg, 1988*)



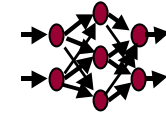
## ■ Tanulási alapelvek

- **Hebb-féle** (1949): az egyidejűleg izgalomban lévő neuronok kapcsolata erősödik.
- **Delta-szabály** (Bernard Widrow és Ted Hoff, 1960): A tanítási folyamat során az output és a megkívánt output közötti eltérés esetén a súlyokat olyan irányba kell módosítani, hogy csökkenjen az eltérés.  $\Delta w = \Delta o * inputok * tanulási\_együttható$  ( $\Delta o$  = error az outputnál).
- **Back-propagation, visszafelé terjesztés:** a delta szabály variációja. A többrétegű előrecsatolt háló súlyait oly módon állítja be, hogy a számított kimenet és az elvárt kimenet eltérését felhasználva a kapcsolati súlyokat olyan irányba módosítja kismértékben, hogy az input következő bemutatásakor az eltérés csökkenjen.

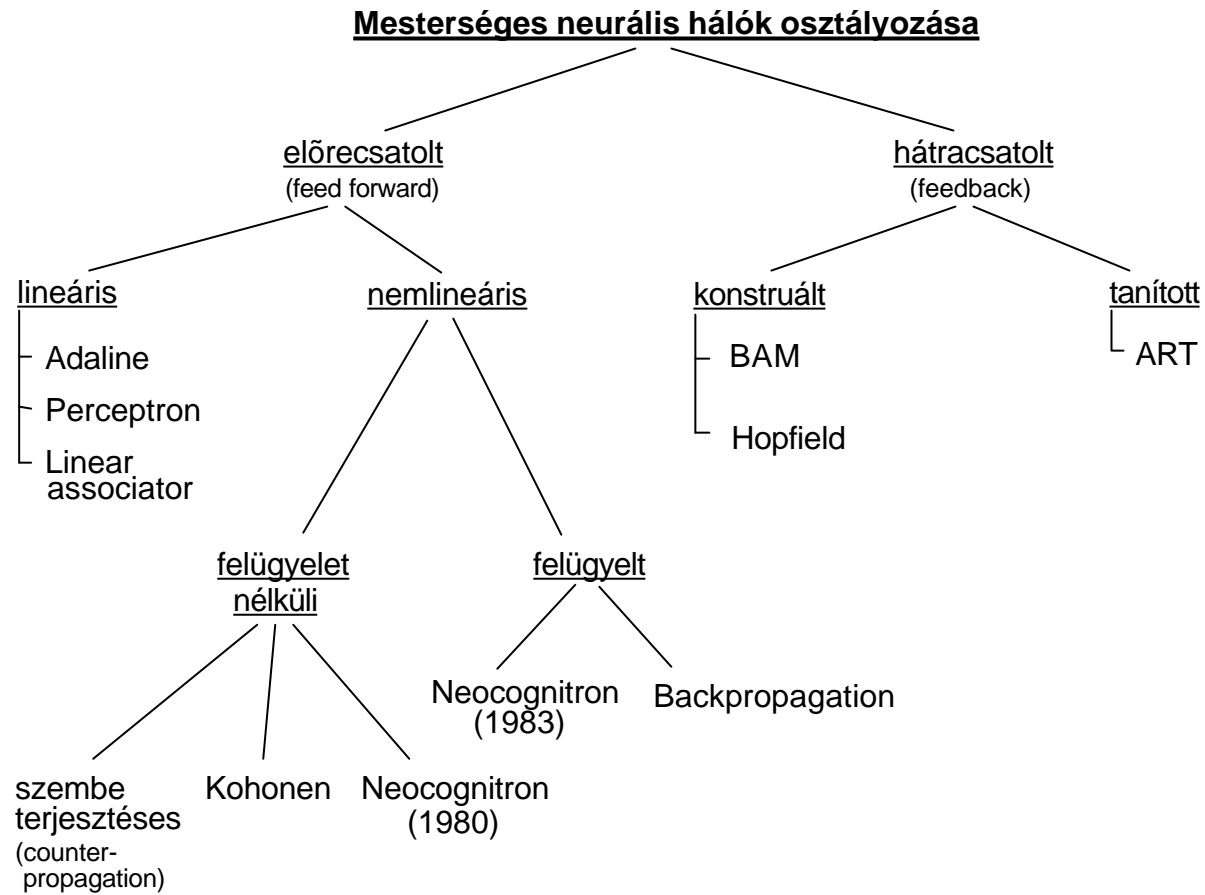


## ■ A neurális háló - modellek jellemzői<sup>1</sup>

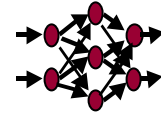
- **Adaptivitás:** változó feltételeknek megfelelő válaszok adásának képessége. Részei: tanulás, önszervezés, általánosítás és gyakorlás.
  - **Tanulás:** alapvetően egyidőben jelentkező dolgok társítása.
  - **Önszervezés:** amikor a háló módosítja a neuronjait egy tanulási szabálynak megfelelően. Rendszerint az inputokra adott szinaptikus súlyváltozásokat jelenti.
  - **Általánosítás:** az a képesség, hogy korábban soha nem hallott kérdést is meg tud válaszolni a hasonló, vagy kapcsolódó információk alapján.
- **Rugalmasság:** egy neuroncsoport azon képessége, hogy időben különböző igényekhez tudjon alkalmazkodni. Ha egyes neuronok sérülnek, mások átveszik a szerepüket.
- **Gyakorlás:** a tanultak elmélyítése.
- **Dinamikus stabilitás:** a hálózat azon képessége, hogy megmaradjon a működési keretei között és elérjen egy stabil állapotot, extrém input mellett is.
- **Konvergencia:** stabil állapotba való jutás képessége.
- **Hibaturés:** az a képesség, hogy néhány neuron sérülése esetén is tovább tudjon működni, habár csökkent pontossággal, vagy sebességgel.
- **Normalizálás:** a súlyoknak egy előírt tartományon belül való tartása.



## ■ A neurális háló - modellek osztályozása





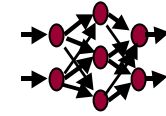


## ■ Egy mesterséges neurális hálót definiáló lényegi összetevők <sup>1.</sup>

- hálózati topológia
- a háló mérete (a rétegek száma, a rétegenkénti neuronok száma)
- a működési jellemzők (a neuron input operátora, átviteli függvénye és a diszkrimináló függvénye)
- a tanulási eljárás (tanulási algoritmus, tanulási paraméterek, soros/batch aktualizálás, stb.)
- betanítás/érvényesítés (a betanítás mérete, minősége, adatformátuma, stb.)
- implementálás/realizálás (analóg, diszkrét, szoftveres, stb.)

Egy adott alkalmazás támogatása szempontjából előnyös lehet a háló **sztochasztikus, determinisztikus, vagy hibrid tulajdonsága**; alkalmazhat statikus, dinamikus, vagy ciklikus eljárásokat, a jeleket feldogozhatja **bináris, analóg, folytonos, vagy diszkrét módon**, tanulhat **on-line**, vagy **off-line** módon, stb.

1. Cihan H. Dagli: Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing Chapman & Hall, New York, 1994. p470.



## ■ Egy neurális háló, illetve hálóalkalmazás tervezésénél figyelembeveendő tényezők<sup>1.</sup>

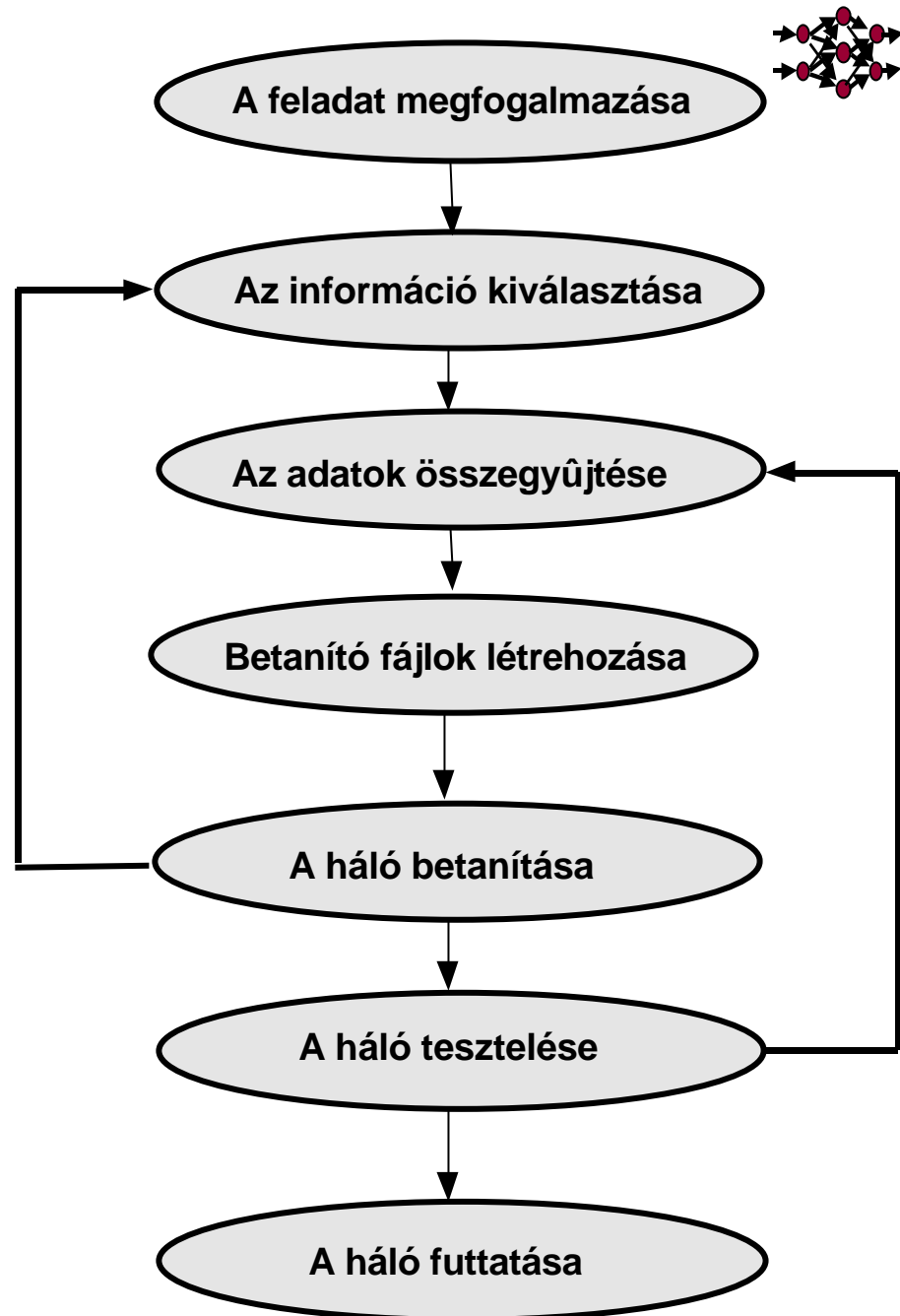
- Biológiai rendszert akarunk emulálni ? Szükséges-e utá-nozni a neuron kisülési függvényét (átviteli függvényét) ?
- Milyenek a sebességgel kapcsolatos elvárások ? Végbe tud-e menni valós időben a tanulás és a döntéshozatal ?
- Szükséges-e, hogy a neuron működési jellemzői invertálható, monoton, vagy folytonos tulajdonságúak legyenek ?
- Milyen természetű kapcsolati súlyokat alkalmazunk ? Binárisak, folytonos, vagy diszkrét értékek lesznek-e ?
- Milyen típusú kimenetre van szükségünk ?

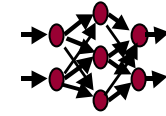
## ■ A neurális háló viselkedése két dologtól függ:

- az egyes neuronok információfeldolgozó tulajdonságától (a neuronmodellről)
- attól a módtól, ahogyan ezek a neuronok szerveződnek (hálózati topológiától).

## ■ Back Propagation elvü neuronháló-alkalmazások készítésének lépései

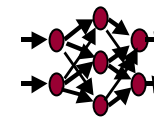
- Az eredményes munkához nem szükséges a háló belső működésének megértése. A legfontosabb olyan adatok gyűjtése, melyeket az asszociáció útján való tanulásban fel tud használni. Rendszerint az adatmennyiséggel párhuzamosan nő a betanítás eredményessége.





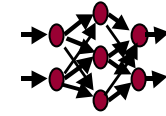
## ■ Előrecsatolt neurális hálók minősítésére alkalmas jellemzők

- **Kifejezőképesség (expressiveness):** függvények reprezentálására ideálisak, de az optimális neuronszám eltalálása művészet, nagy gyakorlatot kíván.
- **Számítási hatékonyság (computational efficiency):** valójában egy adott mintafájl betanulásának számításigénye. Kedvezőtlen esetben a bemenetek számának exponenciális függvénye lehet. Problémát jelentenek a hibafelület lokális minimumai, melyek ellen alkalmazható a szimulált hűtés módszere.
- **Általánosító képesség (generalization):** egyes függvénycsaládok megtanulására és interpolálására alkalmasabbak. Ezek azok, amelyeknél a bemenetek függetlenek egymástól, nincsenek összetett függőségek. Jó, ha a kimenet függvénye sima felület.
- **Zajérzékenység (sensitivity to noise):** zajtűrésük annak köszönhető, hogy nemlineáris regresszióval írják le az outputfüggvényt.
- **Átláthatóság (transparency):** nem képes magyarázatadásra, döntésindoklásra, ezért megnő a szerepe a tesztadatokkal való helyességellenőrzésnek. Gyakorlatilag azonban egy fekete doboz.
- **Megelőző ismeret (prior knowledge):** Kellő gyakorlat esetén a problémára vonatkozó előzetes ismeret segíthet a háló eredményes topológiájának kialakításában. Inkább heurisztikák ezek, mit matematikailag alátámasztott módszerek.



## ■ A mesterséges neurális hálók teljesítménye fejlesztésénél figyelembe veendő szempontok: <sup>1.</sup>

- **Képesség.** Milyen feladatot tud a háló elvégezni ? Rendelkezésre áll-e elegendő adat a probléma megoldásának előállításához ? Rendelkezik-e a háló a szükséges számítási teljesítménnyel a feladat megoldásához ?
- **Kapacitás.** Mennyi ismeret tárolható a hálóban ?
- **Tanulékonyág.** Milyen típusú problémákat képes megtanulni? Újra lehet-e a hálót tervezni, vagy az ismeretszemléltetést megváltoztatni abból a célból, hogy a feladat megtanulható legyen ?
- **Ismeretszemléltetés.** Hogyan tárolja a háló az ismeretet? Hogyan hat ki az ismeret szemléltetési módja a szerkezetre, kapacitásra, képességre, tanulékonyágra ?
- **Ismeretkinyerés.** Hogyan használja az ismeretet a világ modelljének előállítására ? Megérthető módon van-e tárolva az ismeret ? Hogyan hat a belső ismeretszemléltetés a tudáskinyerésre ?
- **A háló megtervezése.** Hogyan kellene megtervezni a hálót, hogy specifikus műveleteket tudjon végrehajtani ? Milyen topológia, neuronműködés szükséges ?
- **Kredit hozzárendelés.** Adott a változó súlyok egy létező halmaza, valamint a betanító adatok, hogyan rendeljünk értéket minden egyes súlyhoz a betanítás időszaka alatt a korrekt válasz elérése érdekében ?



## ■ A neurális hálók betanítása<sup>1.</sup>

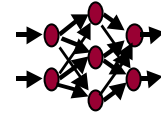
- A neurális hálók betanítása szokás szerint nagymennyiségű adat formájában adott betanító minták alapján történik. A neurális hálók ereje a modell-mentes közelítő képességükben rejlik:

*Megadva egy véges méretű, időfüggetlen determinisztikus rendszert, melyből az input-output mintapárok származtathatók, mindig létezik egy mesterséges neurális háló, mely be tudja állítani úgy a saját paramétereit, hogy utánozni képes a rendszert input-output szempontból.*

(Rumelhart és McClelland, 1986)

## ■ A mesterséges neurális hálóknban működő mechanizmusok fajtái:

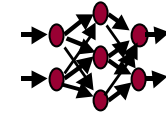
- **versenyző (kompetitív) mechanizmus**: az azonos rétegben lévő neuronok versenyeznek egymással lecsökkentve egymás aktivációs szintjét, hogy csak egy nyerjen
- **együttműködési (kooperatív) mechanizmus**: az azonos rétegben lévő neuronok erősítik egymás aktivációs szintjét, hogy együtt nyerjenek
- **normalizációs mechanizmus, vagy skálázás**: a háló az azonos csoportba tartozó neuronok súlyait úgy próbálja beállítani, hogy azok aktivációs szintje soha ne telítődjön, ill. soha ne tüzeljenek.



## ■ A betanításnál figyelembe veendő szempontok<sup>1</sup>.

- **Hatékony**ság. Mekkora betanító adattömeg szükséges a működési teljesítmény egy adott szintjének eléréséhez ?
- **A tanulás hatékonysága**. Mennyi időt vesz igénybe a betanítás a kívánt súlyok eléréséhez?
- **Komplexitás**. Hogyan változik a betanítás idoszükség-lete, ha a feladat szintje növekszik ?
- **Általánosítás**. Mikor végzi jól egy osztályozó háló az általánosítást ?
- **Alakíthatóság**. Lehet-e új elemeket, osztályokat, vagy viselkedést adni a hálózathoz anélkül, hogy lerontanánk az aktuális teljesítményt ?
- **Érzékenység**. Érzéketlen-e a háló a lényegeset nem érintő inputváltozásokra ? Hogyan érhető el ez az érzéketlenség ?
- **Alkalmazkodóképesség**. Hogyan befolyásolja a belső ismeretszemléltetési mód a betanítási időt ?

1. Cihan H. Dagli: Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing Chapman & Hall, New York, 1994. p470.

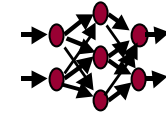


## ■ Neurális hálók teljesítményének összetevői <sup>1.</sup>

A különféle neurális háló elméletek kiértékelésére és összehasonlítására nem létezik tiszta mérőszám. A következő összetevőket kell vizsgálni egy teljesítményösszevetésnél:

- **Hullámszélesség.** Mennyi időbe telik, amíg az output megnyugszik és eléri a kívánt megoldást?
- **Pontosság.** Milyen pontos a megoldás ?
- **Méret.** Hogyan függ a hálózat teljesítménye és kapacitása a háló méretétől ?
- **Robosztusság.** Mennyire érzékeny a megoldás a komponensek pontatlanságaira ?
- **Hibaturés.** Mennyire viseli el a háló az egyes komponensek meghibásodását ?
- **Hordozhatóság.** Mennyire könnyen telepíthető a háló különféle hardverekre ?
- **Stabilitás.** Stabil-e a háló működése ?
- **Szeparálhatóság.** Mennyire befolyásolja a teljesítményt a belső ismeretszemléltetés ?
- **Memóriakapacitás** (a tárolható minták száma)
- **Zajos** input túrése
- **Hamis** memóriaállapotok elkerülése
- **Térbeli,** vagy időbeli **minták** alkalmazása.





## ■ Katonai célú neurális hálók teljesítményjellemzői

- **Osztályozás.** Az osztályozók felügyelt adatokkal vannak betanítva, oly módon, hogy azokat különböző csoportokba rendezzék.
- **Önszervezés/kategória alkotás.** Az önszervező hálók bizonyos kritériumoknak eleget tevő csoportokba osztják szét az input adatokat. A csoportokat maga a háló alakítja ki és lecsökkenti a magasabb szintű döntéshozáshoz az információt.
- **Asszociatív memória.** Az asszociatív memória, melyet tartalom által címezhető memóriának is szoktak nevezni, az információ egy részleges, vagy sérült alakjából is teljes memóriamintát állít elő.
- **Szenzoradatok feldolgozása.** Az érzékelők által szolgáltatott óriási mennyiségű adat feldolgozása szükséges a látás és a hallás feladatának megoldásához.
- **Számítási problémák.** Speciális számításokat használó alkalmazások kényelmes mesterséges neurális háló-architektúrákat igényelnek.
- **Sokérzékelős automaták.** Számos feladat egyesített szenzorok adatainak feldolgozását igényli.