

Bevezetés a lágy számítás módszereibe

Neurális hálózatok
Alapok

Werner Ágnes

Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék

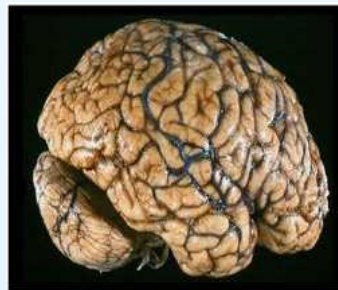
e-mail: werner.agnes@virt.uni-pannon.hu

Bevezetés

- A mesterséges neurális hálózatok kutatásának, kifejlesztésének **célja** az emberi információfeldolgozás mechanizmusainak megértése és felhasználása az emberi mentális folyamatok gépi modellezésében.
- Ezen tevékenység összetevői:
 - A **kognitív folyamatok** alapvető figyelembevételre, beleértve ebbe az ideglettani kutatások és a pszichológia kapcsolatát is.
 - Hatalmas számú erőteljes kapcsolatrendszerrel bíró **párhuzamos számítási egységeket** tartalmazó új formájú számítási modell.
 - 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.

Bevezetés

- A mesterséges intelligencia, azaz a gépi döntés és ítéletalkotás egyik széleskörben alkalmazott eszköze.
- Felhasználói területe az önálló tájékozódású robotrepülőgépektől, a tőzsdei részvények trendjének elemzésén keresztül az orvosi diagnosztikai alkalmazásokig igen széles.
- A neurális hálózatok nagyobb bonyolult nemlineáris kapcsolatok leírására szolgáló struktúrák.
- Ezeket a struktúrákat az emberi agy idegsejtjeinek szerveződése alapján sematizálhatjuk.



Az emberi agy egy statikus képe

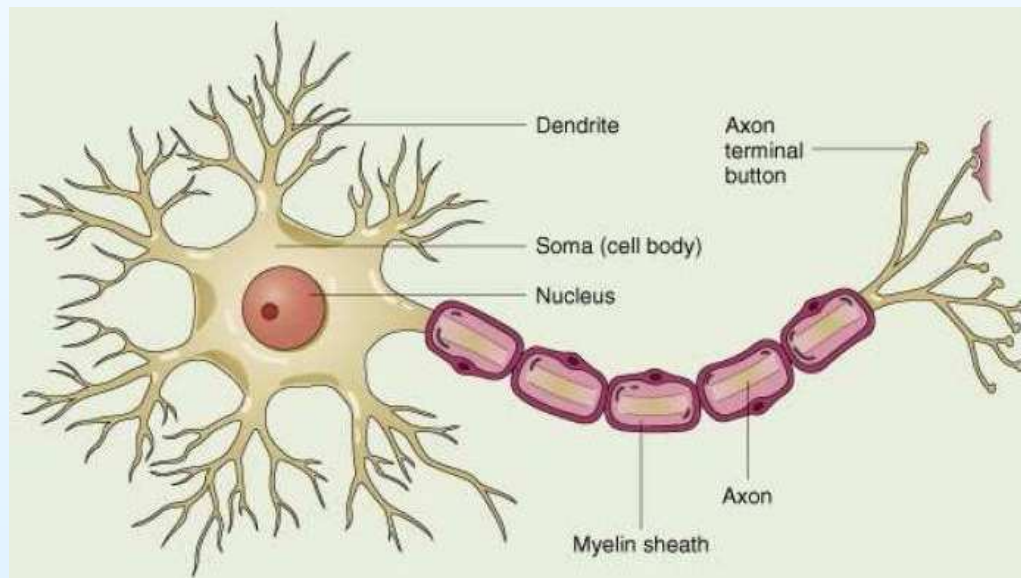
Bevezetés

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

Bevezetés

- A neurális hálózat egy **kísérlet**, amely speciális **hardver elemek**, és összetett **szoftver** segítségével szimulálni próbálja a neuronok több rétegű, de egyszerű működési elvét.
- Minden egyes neuron összeköttetésben áll bizonyos számú szomszédjával.
- **Változó összeköttetési együtthatóval** vesz részt a kapcsolatban.
- **Tanulási folyamat:** a kapcsolatok erősségét változtatjuk olyan irányba, ami a teljes rendszert a helyes eredmény elérésére sarkallja.



Matematikai elméletek

A mesterséges neurális hálózatok kutatása, elemzése kapcsán alkalmazott matematikai elméletek

- 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 valószínűségszámítás: konvergenciakészség elemzése
- Ljapunov módszer: hálózati algoritmusok konstruálására
- Sztochasztikus approximáció elmélet: sztochasztikus modellekhez
- Monte-Carlo módszerek: tanításhoz
- Heurisztikák: a szükséges hálóméret megtalálására

Főbb alkalmazási területek:

- mintafelismerés (hang- és képfeldolgozás, alakfelismerés, jelfeldolgozás),
- nem lineáris rendszerek szimulációja (előrebecslés, tanácsadás),
- osztályozás,
- függvényközelítés,
- optimalizálás,
- adattömörítés (képtovábbítás),
- szabályozás.

Példák mesterséges neurális hálók alkalmazására

- 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.
- 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 figyelőrendszerben alkalmazott ANN-t. Ez képes volt a vízi járművek beazonosítására a vízben terjedő hangjuk alapján.
- A pennsylvaniai egyetemen kifejlesztett katonai repülőgép-felismerő rendszer képes volt megkülönböztetni 18 hüvelykes részleteket 50 mérföld távolságról, és repülőgépeket beazonosítani a teljes minta 10birtokában.

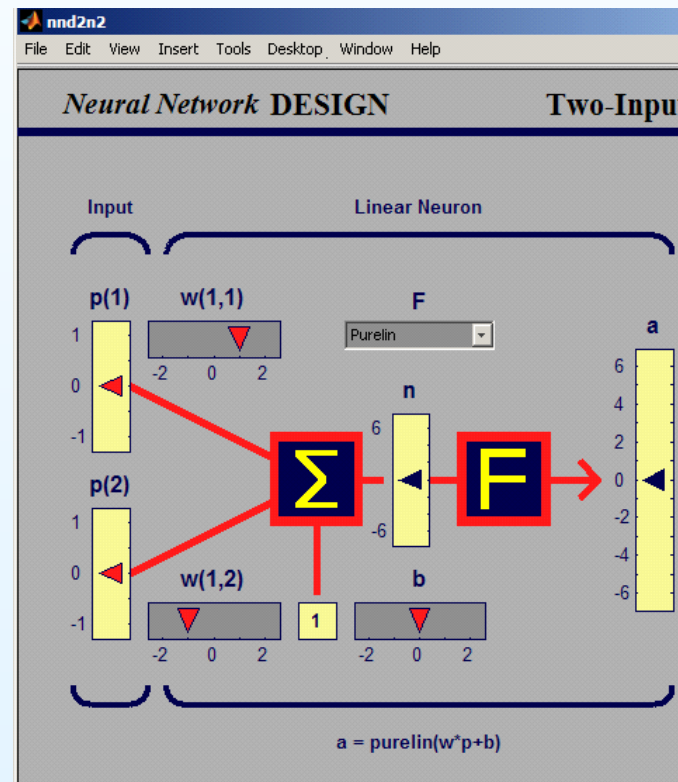
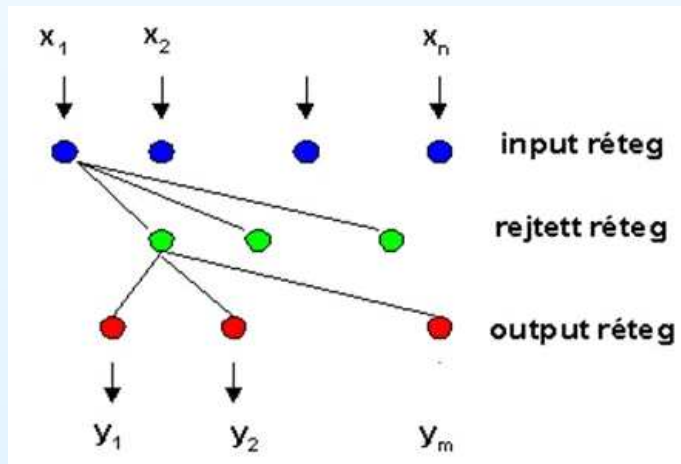
Modellezés

- Az alkalmazott matematikának a nagy tömegű adatok, jelek feldolgozására kifejlesztett eszközeinek is tekinthető.
- **Matematikai modellek** az idegrendszer analógiájára.
- A neurális hálók sok - önmagában egyszerű - **feldolgozó egység alkalmas hálózatba rendezését** jelentik.
- **Nagyfokú rugalmasság**: számos jelenséghez tudunk illeszteni alkalmas hálózatot.

Leegyszerűsítve: a neurális hálózat egy olyan modell, ahol minden neuron "bekapcsolt", ill. "kikapcsolt" állapotban lehet, és ahol az átkapcsolás "be" állapotba akkor történik, amikor a neuront kellő számú szomszédos neuron stimulálja.

Topológia

A neurális hálózat topológiája **rétegekkel**, a rétegekben elhelyezkedő **csomópontokkal** és az eltérő rétegekben lévő csomópontok közötti **súlyozott kapcsolatokkal** írható le.



A neurális hálózatok tervezési folyamatának lépései

1. A neuronok rétegekbe szervezése.
2. A neuronok kapcsolat típusának meghatározása mind a rétegen belül, mind az egyes rétegek között.
3. Meg kell határozni azt a módszert, ahogy egy neuron fogadja az inputot, és kibocsátja az outputot.
4. Meg kell határozni a kapcsolat erősségét a hálózaton belül úgy, hogy lehetővé tegyük a hálózat számára azt, hogy megtanulja a kapcsolatok megfelelő súlyozását egy ún. öntanuló adatbázist felhasználva.

Rétegek közti kapcsolat

- **Teljesen összekapcsolt:** Az első réteg összes neuronja összeköttetésben áll a következő réteg összes neuronjával.
- **Részlegesen összekapcsolt:** Az első réteg egy neuronjának nem kell feltétlenül kapcsolódnia a következő réteg összes neuronjához.
- **Add tovább kapcsolat:** Az első réteg neuronjai a kimenő adataikat továbbküldik a következő réteg számára, de semmiféle visszacsatolást a második rétegtől nem kapnak.
- **Kétirányú kapcsolat:** Ebben az esetben a második réteg visszacsatol az első réteg felé. Az Add tovább és a Kétirányú kapcsolat lehet teljesen összekapcsolt és részlegesen összekapcsolt.
- **Hierarchikus kapcsolat:** Ha egy neurális hálózat hierarchikus szerkezetű, az alsóbb réteg neuronjai csak egy következő (mélyebb) réteg neuronjaival kommunikálhatnak.
- **Ismétlődő kapcsolat:** A rétegek kétirányú kapcsolattal rendelkeznek, és egy meghatározott ideig folyamatosan küldhetik üzeneteiket a kapcsolatokon keresztül mindaddig, amíg egy meghatározott célt el nem ér a rendszer.

Rétegen belüli kapcsolat

- ***Visszatérő, ismétlődő kapcsolat:*** A réteg neuronjai teljesen, vagy részlegesen összekapcsoltak. Miután ezek a neuronok fogadták egy másik réteg adatait (input), a saját kimenő adataikat (output) többször "megbeszélik" egymással, mielőtt azt tovább küldhetnék egy következő réteg számára.
- ***Központi/környezetet kizáró kapcsolat:*** A rétegben lévő neuron ösztönző (támogató) kapcsolatban áll önmagával és közvetlen szomszédjaival, és gátló kapcsolatban van az összes többi neuronnal.

Hálózati jellemzők

A neurális hálózatok jellemzői:

- **Taníthatók:** létezik olyan eljárás, amellyel a hálózat bemenetére adott mintákhoz tartozó kimeneti minták többszöri megadása után a hálózat valamennyi betanult mintához a kívánt legjobb kimenetet szolgáltatja.
- **Általánosító képességgel rendelkeznek:** a be nem tanított esetekre is közelítően jó megoldást adnak.
- **Hibatűrők:** az előző tulajdonságokból adódóan a bemeneti hibákra kevésbé érzékenyek.
- **Gyors a válaszidejük.**

Egy kis biológia

- emberi agyban 10^{11} **neuron** (idegsejt)
- neuronok **dendritjeiken** keresztül kapcsolódnak más neuronokhoz
- sejttest meghosszabbodott nyúlványa az **axon**
- az axon a **szinapszisok**on keresztül kapcsolódik más neuronok dendritjeihez (néhány ezer)
 - szinapszis küldő végén elhelyezkedő neuron: **preszinaptikus**
 - fogadó végén lévő neuron: **posztzinaptikus**
- a neuronok az axonjaikon keresztül elektromos **kisüléssorozatokkal** kommunikálnak

Egy kis biológia

- a jelátvitel bonyolult kémiai folyamat
- a folyamat során a küldő végről beérkező elektromos kisüléssorozat hatására **transmitter anyagok** szabadulnak fel, amelyek ***megnövelik vagy csökkentik*** a fogadó végén levő sejttest elektromos potenciálját
- a potenciál elér egy küszöböt a neuron akciós potenciállal válaszol \Rightarrow egy rögzített hosszúságú elektromos kisüléssorozatot küld az axonján keresztül a vele összeköttetésben álló neuronok felé: **tüzel**

Biológiai összevetés

- Az idegi működés a félvezetők kapcsolási sebességéhez képest lassú ($10^{-2}, 10^{-3}$ sec). Az erőteljes párhuzamos működés miatt mégis nagy teljesítményű.
- 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:	1 CPU, 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: (2002)	10^6	10^{14}

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

Mesterséges neuron

- több - x - bemenet **súlyozott összegét** számítja ki
- az így nyert **eredő nettónak** (net) nevezett értéket egy **aktivációs függvényen** bocsátja át
- a változtatható súlyokat az összeköttetések hordozzák
- $$o = f\left(\sum_{i=1}^n w_{1i} * x_i + w_k * 1\right) = f(\text{net})$$
- első rész: az összegzéssel az n (ill. $n + 1$) változót egyetlen numerikus értéké alakítja
- a **net** egyedi érték a második rész, az aktivizációs függvény bemenete, célja a kimenetet "összeszorítsa" a 0 és 1 vagy -1 és 1 normalizált értékek közé
- a w_0 **bias** (rendszerint $x_0 = 1$ állandó bemeneti értékkel) arra szolgál, hogy nulla eredő bemenetnél a kimenet ne legyen nulla

A McCulloch-Pitts neuron sematikus modellje

Az $f()$ **aktivizációs függvény** ún. unipoláris kemény limitáló vagy küszöbfüggvény

$$net = \sum_{i=1}^n w_{1i} * x_i + w_k * 1$$

és a kimenet (o=output)

$$o = f(net) = \begin{cases} o = 0, & \text{ha } net < 0, \\ o = 1, & \text{ha } net > 0 \end{cases}$$

Két bemenetet feltételezve ez az egyetlen neuronból álló hálózat pl. szét tudja választani az ÉS és a VAGY logikai függvények nulláit és egyeseit.

Neurális hálózatok működése

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 ráhatása 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.

Előrecsatolt hálózatok

- a neuronok tipikusan rétegekben vannak elrendezve
- egy réteg neuronjai általában egyformák
- a teljesen összekötött alakban az első réteg mindegyik neuronja össze van kötve mindegyik bemenettel
- a kimenete a következő réteg mindegyik neuronjával össze van kötve
- rétegen belüli összeköttetések és rétegek közötti visszacsatolások nincsenek
- az aktivizációs függvények differenciálhatóak
- szigmoid függvények: népszerűek, mert monotonok, korlátosak, nemlineárisak, egyszerű a differenciálhányadosuk

Neuron modell

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 tanulás

Hiba-javító tanulás (error correction): az output réteg egyes neuronjainál vizsgált - az elvárt és a valós értékek különbségeként adódó - értékek alapján a súlymátrix kapcsolatait módosítja

Ismertek az adott x_i bemenetekhez tartozó helyes, ún. **kívánt** d_k **kimenetek**.

Ismertek a **valóságos** o_k **kimenetek**.



Ismert a kettő különbsége, a $d_k - o_k$ **hiba**.

A hibát a **hálózat súlyainak módosításával** - a tanítással - lehet csökkenteni.

Felügyelt tanulás

Megerősítő tanulás (reinforcement learning): megfelelően végrehajtott akcióknál 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.

Felügyelt tanulási módszerek

Példák a felügyelt tanulásra:

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

Backpropagation eljárás

Hiba-visszaterjesztési eljárás

Az **ismert kimeneti hibákból** azok visszaterjesztésével meghatározza a belső réteg(ek) két oldalán jelentkező hibákat.



a hibák ismeretében a **súlyok módosíthatóak**



Eljárás **ismétlése** mindaddig, amíg a **kimeneti hiba**, a helyes célkimenet és az aktuális kimenet különbsége, egy **előírt érték alatt marad**.

Az eljáráshoz az összetartozó bemeneti és kimeneti **mintapárok** megfelelő készlete szükséges.

Backpropagation eljárás

1. A **tanulás első szakaszában** a hálózat mindegyik bemeneti mintát átvezeti a rejtett rétegen, hogy a kimeneti neuronok kimenetén az aktuális kimeneteket nyerje. Ezután a kívánt és az aktuális kimenetek eltéréséből számítja a megfelelő módon definiált kimeneti hibákat.
2. A **visszaterjesztéses szakaszban** a hálózat a kimeneti hibák deriváltjait visszaterjeszti a rejtett rétegbe az eredeti súlyokon át. Ezután mindegyik rejtett neuron kiszámítja a visszaterjesztett hibák súlyozott összegét, hogy megtalálja a saját indirekt hozzájárulását a kimeneti hibákhoz. Miután ilyen módon meghatározták mindegyik kimeneti és rejtett neuron saját hibaértékét, mindegyik **módosítja súlyait, hogy csökkentse a hibáját, közvetve a kimeneti hibát.** A súlyok módosítása úgy történik, hogy az minimalizálja a hálózat négyzetes hibáinak összegét.

Backpropagation eljárás - geometriai érzékeltetés

- két súly esetére felrajzolható a négyzetes hiba összege
- a hibafelület egy "csészéhez" hasonlatos, amelynek alja jelöli a súlyok azon készletét, amelyhez a legkisebb négyzetes hiba-összeg tartozik
- a backpropagation módszer a csésze alját úgy keresi meg, hogy adott pontban kiszámítja a **hibafelület meredekségét** a pillanatnyi súlyokkal, majd a súlyokat a helyi **legmeredekebb út irányában** a csésze alja felé inkrementálisan **változtatja**