

Javaslat egy neurális hálózati modellre.

Dr. Prof. P. G. Gyarmati

Összefoglalás: A dolgozat állítása, hogy léteznie kell olyan elvnek, amely az agy neuronjait rendszerbe formálja. Ez az elv nyilvánvalóan „elegendően bonyolult”, ezért közelítése kutatási feladat. Az itt felvázolt modell az újkori hálózattudományos eredmények alkalmazását javasolja bevezetni és rámutat használatának előnyeire, lehetőségeire. Számos gyakorlati kérdést vet fel az agykutatás területéről, amelyekre a modell segítségével választ kaphatunk.

Neumann János 1948. szeptember 20-án a kaliforniai Pasadenában, a Hixon Symposiumon tartott, ma már kalsszikusnak mondható, előadásában a McCulloh-Pitts tétel segítségével az alábbi megállapítást tette: „ Minden, amit kimerítően és egyértelműen le lehet írni, minden, amit szavakba lehet foglalni, megfelelő, véges neurális hálózattal ipso facto realizálható is.”

Ez a tétel minden mérnök számára egy bizonyosság, hogy van értelme a munkájának, hiszen feladata ennek értelmében - véges módon realizálható – azaz megoldható! Hacsak lenne neurális hálózata! Sajnos ez komoly korlát, mert hiába van neki – a koponyájában – azt onnan ki nem veheti! Marad a modellezés, hátha sikerül ilyet alkotni méretben, sebességben, hibatűrésben hasonlót. Legyen ez a mérnökök gondja!

Figyeljünk mégis erre a megállapításra, amely leckét és kulcsot ad az alkotáshoz. Invertáljuk, azaz fordítsuk vissza az eredetére, ahonnan származik. Tehát, ha valamit már kimerítően és egyértelműen leírtunk, akkor már kell léteznie egy neurális hálózatnak, amely ezt megvalósította, mégpedig az agyunkban!

Következmény: ha valamit így leírunk, vagy szavakba öntünk, az éppen egy neurális hálózat munkájának eredménye! Ez a hálózat az agyunkban van, tehát a fentebbi tvékenységünk éppen egy modellje az agyunk működésének! Eddig az inverzió, amely alkalmasan általánosítható, hiszen akárhány, akár erősen különböző, kimerítő leírást eszközölhetünk, képes rá agyunk.

Az alábbi állítás, mintegy következménye és egyben általánosítása a fentieknek:

Léteznie kell olyan elvnek, amely a valóságban létező, működő neuronokat agyként működő rendszerbe formálja, rendezzi.

Minden valószínűség szerint ez az elv elegendően bonyolult lehet, ezért nem várható heurisztikus felfedezése. Érdemes tehát friss, vagy eddig nem kipróbált tudományos eredményekkel kísérletezni és modellt felállítani, amelynek segítségével analógiákat találhatunk az agy, a neuronok működésének vizsgálatához.

Az alábbiakban megkísérek egy olyan hálózati modellt felállítani, amely a gráfelméletre és a hálózattudományra épül és ezáltal alkalmassá válik a neurális működés globális vizsgálata ezen tudományágak eszközeinek, eredményeinek alkalmazásával.

A modell felállítására az alábbi definíciókra lesz szükségünk:

- (1) Legyen $H=\{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ halmaz, amelynek elemei is lehetnek halmazok.
- (2) Tekintsünk egy irányított gráfot, amelynek csomópontja, vertexe egy neuron, olyan értelemben, hogy a szinapszisait tekintsük a csomópontba bejövő élnek, a dendriteket, pedig kimenő élnek.
- (3) A szinapszisba érkező neuron egy része – ezt később pontosítjuk – él lesz, míg a többi része újabb vertexet képez: ez az eset, amikor a halmaz eleme is halmaz.

- (4) A dendritek mindig élek, akárhányan is vannak, mert azok a hálózatban valahol szinapszisban végződnek.
- (5) Quantitatív vizsgálatok érdekében vezessük be a *perceptron* fogalmát az alábbi módon:

$$y = a_0 \text{sign} \sum_{i=1}^n a_i x_i$$
 ahol y a neuron bármelyik kimenete (dendrit), x_i a neuron egy bemenete (szinapszis), a_i a szinapszisban egy küszöbszint, n a neuronhoz csatlakozó szinapszisok száma, a_0 a neuron „érzékenysége”.

A küszöbszintek természetesen különböző előjelűek lehetnek, tehát a gátló tényezőket is magukba foglalják.

- (6) Lehetséges olyan neuron is, amely éppen küszöbszinteket állít elő, akkor az így módosul:

$$y = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^K \left\{ \text{sign} \left[\left(\text{sign} \sum_{i=1}^n a_i x_i \right) - a_k \right] + 1 \right\}$$
 ahol k a küszöbszintek száma

Erre azért van szükség, mert valahol a küszöbszintek is keletkeznek és feltesszük, hogy azokat is neuronok állítják elő.

Az iménti hat definíció segítségével valóban tetszőleges gráfokat alkothatunk, hiszen nem tettünk semmiféle kikötést sem a felépítésre, sem a méretre nézve. A kikötésünk eddig annyi, hogy a hálózat neuronokból épül fel, amelyek tetszőleges bonyolultságban kapcsolódnak, kapcsolódhatnak egymáshoz. Még azt is megengedjük, hogy ezek a kapcsolatok időben változzanak, újak keletkezhetnek, régebbiek eltűnhetnek.

Jól látható még, hogy a hálózatunk kizárólag neuront tartalmaz. Nincs benne másfajta elem, mint például minden korábbi modellben szükségszerűen megtalálható memória.

Később látni fogjuk, hogy az emlékezést, a memóriát a hálózat struktúrája adja, amely végső soron a neuronok egymáshoz való kapcsolódása és kitűzött szerepűvé válása.

Érdekes kérdés mégis, hogy mekkora lehet egy ilyen hálózat kapacitása, milyen mennyiségű információt képes tárolni, feldolgozni. Erre a kérdésre nyilván nem könnyű választ adni, mégis megkísérelhetünk egy relatív egyszerű feltételezéssel valamilyen irányadó értékhez jutni. Tudjuk, hogy agyunk jellemző működési frekvenciája, amellyel érzékeléseket képes befogadni kb. 10 herz. Tételezzük fel, hogy egy emberi agy mintegy hetven évig fogad be gyarapodó módon információkat, amely idő után inkább a leépülés válik jellemzővé. Legyen $\text{egy év} = 365.24.60.60 \sim 3,2 \cdot 10^7$ másodperc.

Akkor $3,2 \cdot 10^7 \text{sec} \cdot 70 \text{év} \cdot 10 \text{Hz} = 2,3 \cdot 10^{10}$ érzékelés/élet, tehát mintegy 23 milliárd „eseményt” kell megjegyeznünk életünk során. A modellünkben tehát ennyi neuronnak lennie és ez a szám hozzávetőlegesen megfelel az agyunkban feltételezett neuron mennyiségnek, vagy a szinapszisok számának, így ezt a nagyságrendet kell megvalósítania a modellnek.

A feladat egy ekkora modellt „kimerítően és egyértelműen leírni, vagy szavakba foglalni”, amelyhez rendelkezésre áll az agyunk a maga 10 hertzes sebességével és a hasonló méretével!

Ez így nem megy, de menne, ha kiderülne, hogy a hálózatunk hatalmas mennyiségben ismétléseket tartalmazna! Szerencsénkre ez a valóság, mert az agyunk nyilván fogalmakat tartalmaz és az azokat azonosító tulajdonságokat.

Ezek mellett még valamenyi mozgás vezérlő részletnek is kell lennie mindenféle automatizmussal és tanuló algoritmussal, valamint bizonyos jelző- és összekötő idegpályák.

Nyilván a fogalmaink és velük a tulajdonságok lényegesen kevesebben vannak, mint a neuronok, tehát itt hasonló ismétlődésekről van szó. Ha feltesszük, hogy fogalmaink és velük a tulajdonságok, mint szótári alakok néhány száz ezren vannak és több nyelven is ismerjük őket, valamint szimbólumokat is ismerünk pár ezret, akkor is legfeljebb millióra tehetjük ezek számát. Ebben az esetben az egyes kapcsolatokra marad egyenként átlagosan tizezer! Ha most feltesszük, hogy fogalmaink jelentős részéről ismeretünk éppen csak a szó maga, vagy nagyon sokról minimális tulajdonság ismeretével

bírunk, akkor megállapíthatjuk, hogy a fontos dolgokhoz igen jelentős mennyiségű tulajdonsággal – a gráfban éllel - rendelkezhetünk. Érdekes lehet elemezni, ezek eloszlását. Az eredmény rámutathat, hogy például milyen hosszúságú neuronoknak kell lennie a vizsgált agyrészben – hiszen a sok tulajdonságú neuronhoz sok szinapszis tartozik, stb. Ilyen természetű vizsgálat rámutathat az adott agy várható „bonyolultságára”, stb.

A fogalmak és tulajdonságok bevezetése tehát lehetővé teszi a 23 milliárdnyi neuronból, vagy szinapsziszból álló agy kiváncsolság szerinti „kimerítő és egyértelmű leírását, vagy szavakba foglalását”. Mint azt már korábban is kijelentettem, ez a követelmény ideális eset, az elv! Mi most csak annak valamilyen modelljét építjük, amely azonban megkísérelje az elvet követni.

Nézzük meg akkor, hogyan illeszthető ez a modellünkbe:

(1) A fogalmak és a tulajdonságok a korábban definiált halmazt követik:

$fogalom = \{tulajdonság_1, tulajdonság_2, \dots, tulajdonság_n\}$, továbbá

$fogalom = \{részfogalom_1, részfogalom_2, \dots, részfogalom_k\}$, valamint lehetséges, hogy

$tulajdonság = \{résztulajdonság_1, résztulajdonság_2, \dots, résztulajdonság_l\}$, is.

A halmazokból álló halmaz lehetővé teszi a fogalmak és a tulajdonságok bizonyos mérvű „keveredését” is. Erre azért van szükség, mert például a legtöbb tulajdonság egyben fogalom is és bizony vannak tulajdonságot leíró fogalmaink is.

(2), (3), (4) Ha a gráf egy csomópontja egy fogalomnak felel meg, akkor az oda beérkező élek az öt összetevő részfogalmak, valamint a fogalmat definiáló tulajdonságok, vagy azok csoportja, részhalmaza lesz. Ha a gráf egy csomópontja tulajdonság, akkor az egy tulajdonságcsoport, amelyet az oda beérkező élek által képviselt tulajdonságok alkotnak.

(5) A küszöbszintek és az érzékenység azt mondja meg, hogy a fogalomba érkező részfogalmak, tulajdonságok mennyire fontosak a fogalom egyértelmű azonosításához, illetve az adott konkrét agy a genetikai adottságai és a saját tapasztalatai szerint ezt hogyan építette fel.

A fogalmakat és tulajdonságokat leíró neuronok mellett szükségünk van valamennyi további neuronra is, úgymint, az érzékszervektől érkezőkre és az oda visszajelzőkre, amelyek lényegében összekötő elemek. További fontos neuronok a mozgáskoordinációt végzők és más jelzők – fájdalom, stb. Ezek modellezése inkább kibernetikai, automata elméleti feladat, amelyet külön érdemes tárgyalni. Kijelenthetjük, hogy ezek száma elhanyagolható a fogalmi rendszer szükségleteihez képest.

Látjuk tehát, hogy a milliárdos nagyságrendű halmazunkban komoly rendet vágtunk, bevezettünk egy elvet kiinduló állításunk szerint. Ez az elv a hálózati modell és az az ismeretünk, hogy agyunk alapjaiban fogalmak és tulajdonságok szövevénye. Azt is megállapítottuk, hogy a hálózatok nem egyformák, minden agy egyedi is lehet, amint az a valóságban van, sőt ez a hálózat, szintén a valóságosnak megfelelően, időben is változik. A tanulás, a tapasztalat módosítja, a betegségek pusztítják, talán mások új neuronokat alkotnak rendelkezésünkre.

Mire alkalmas ez a modell?

A modell segítségével a hálózatokkal kapcsolatos tudományos eredményeket, módszereket, technikákat alkalmazhatjuk az agykutatással, a tanulással és minden, az aggyal kapcsolatos tevékenység vizsgálatára. Például a fogalmak és tulajdonságok rendszerezésével jellemző neuron modellek állíthatók fel és segítségével részletesebb agytérkép készíthető.

Újdonságnak tartom, hogy ez egy olyan modell, elv, amelyik megmutatja, hogy lehetséges az emlékezet konkrét memória modellek bevezetése nélkül is. Ennek éppen az a jelentősége, hogy ismereteink szerint az agyban nem találhatóak memóriák. Ez a modell azt is megmutatja, hogyan lehetséges kizárólag neuron alapú kapcsolatokkal emlékezetet alkotni.

Nagyon izgalmas téma az így felépülő hálózat megbízhatóságának, biztonságának kérdése. Vajon milyen károsodásra számíthatunk például valamilyen sérülés esetén és ezek hogyan „pótolhatók”? Például egy épen maradt fogalom-neuron megsérült tulajdonság-szinapszisai helyettesülnek-e más

tulajdonságokkal és ezáltal mondjuk a zöld disznóból piros hetesre asszociál a sérült és akkor ezt hogyan lehet „kijavítani”?

Más érdekes probléma az emlékezés különböző fokozatainak az értelmezése és az időszakos felejtés mechanizmusának megértése.

Hálózati módszerekkel meg lehet határozni bizonyos változások hatását, növekedés, csökkenés várható következményeit, csoportosulásokat, azok veszélyeit. A lehetőség a hálózatokkal kapcsolatos tudományos ismeretek bővülésével tovább nő.

A hálózati módszerek egyik legjelentősebb eredménye a nagy mennyiségű adatok közötti keresési módszerek technikája. Érdekes feladatnak ígérkezik ennek a kérdésnek a modellezése az emberi agyban, amely számos kérdést vet fel a kérdésekre adandó válaszok gyorsaságát, vagy a beszéd folyamatosságát illetően és nem kevésbé izgalmas az előrettekintés, a következő lépés „megjósolása” technikák felderítése sem.

A dolgozat egy későbbi folytatásában tervezem bemutatni konkrét példán a javasolt modellt és az alkalmazását.

Ez a dolgozat egy modellezési módszer felvetését tartalmazza, már csak a terjedelme miatt sem lehet egy tudományos módszer bemutatása. A szándékom az, hogy a téma megfogalmazásával – ha elegendően érdekesnek ígérkezik – utat mutassak az agyat rendszerbe foglaló elv egy modellezési kísérletére – ez egy hálózati absztrakció -, amelyet személy szerint az eddigieknél alkalmasabb közelítésnek tartok.

Javasolom tehát megfontolását és felvételét kutatási témaként.

Irodalomjegyzék.

1. J. v. Neumann: The computer and the brain. Yale University Press, Maple Press Co, 1959.
2. Somogyi Péter: Térspecifikus idegsejtek időhálózata és memória az agyban. MTA székfoglaló előadás, 2013.
3. P. G. Gyarmati: Some words about networks. TCC Computer Studio, 2011. ISBN 978-963-08-1468-3.
4. Gyarmati P.: Informatikai elemek. Corbis Digital, 2010. ISBN 978-963-06-8599-3.
5. Erdős, P. and Rényi, A.: *Random graphs*. Publication of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Science, pages 17–61, 1960.
6. Arbib, Michael A. (Ed.): *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, 1955.
7. Agre, Philip E.: *Computation and Human Experience*. Cambridge Univ. Press, 1997. ISBN 0-521-38603-9.
8. Rosenblatt, F.: *Principles of Neurodynamics*. Spartan Books, 1962.
9. IBM Research & EPFL Join Forces to Uncover the Secrets of Cognitive Intelligence. http://domino.research.ibm.com/comm/pr.nsf/pages/news.20050606_CognitiveIntelligence.html.
10. Rosenblatt, Frank: The Perceptron, A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain, Cornell Aeronautical Laboratory, *Psychological Review*, v65, 1968. No. 6, pp. 386-408. doi:10.1037/h0042519.
11. Minsky M. L. and Papert S. A.: *Perceptrons*. Cambridge, MA: MIT Press, 1969.
12. Cluster diagrams are another way to mind map by starting with the keywords first, at www.brainstorming-that-works.com, 18 September 2008.
13. Albert, R.; Barabasi, A.-L.: Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 2002. 74: 47–97. arXiv:cond-mat/0106096.
14. Dorogovtsev, S.; Mendes, J. F. F.: Evolution of networks. *Advances in Physics*, 2002. 51 (4): 1079–1187. arXiv:cond-mat/0106144. doi:10.1080/00018730110112519.
15. A. L. Barabási: *How Everything is Connected to Everything Else*, 2004 ISBN 0-452-28439-2.
16. A. Barabasi & E. Bonabeau, *Scale-Free Networks*, *Scientific American*, (May 2003), 50-59.
17. Bondy, J.A.; Murty, U.S.R.: *Graph Theory*, Springer, 2008. ISBN 978-1-84628-969-9.

~~~~~