

Magyar mérnökök keresik az agy kommunikációs „csontvázát”

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem információsrendszer-kutatói első látásra számukra idegen terepre tévedtek, amikor az agyi hálózatokat kezdték vizsgálni. De ha az idegsejtek kapcsolataiból felépülő rendszer mélyére tekintünk, hasonlóságokat fedezhetünk fel egyéb, akár a mérnöki tudományok tárgykörébe tartozó hálózatokkal. A BME kutatói ebből az alapfeltevésekből indultak ki, és olyan agyi hálózatot igyekeztek konstruálni, amely minimális energiabefektetéssel képes üzemelni.

Az agy működése csak az idegsejtek hálózatának együttes tanulmányozásával érhető meg igazán. Az elmúlt évtizedben ezért megsokasodtak a hálózatelméleti megközelítésű idegtudományi vizsgálatok. Eközben a vizsgálati módszerek is folyamatosan fejlődnek, amelyek segítségével egyre nagyobb felbontással tudjuk feltérképezni, hogy az egyes agyi régiók milyen más területekkel állnak kapcsolatban, vagyis fel tudjuk deríteni az agy huzalozását.

Nem csak a hálózat struktúrája fontos

„Mi mérnökök vagyunk, és elsősorban kommunikációs hálózatokkal foglalkozunk. Minthogy azonban egyre több mérési adat áll rendelkezésre a legkülönbözőbb valós hálózatokról, és a hálózatelmélet matematikai alapjai közel állnak hozzánk, az utóbbi években a BME-n nem csak a mérnöki tudományokkal szorosan összefüggő hálózatokat vizsgáljuk – mondja *Bíró József*, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Távközlési és Média-informatikai Tanszékének egyetemi tanára. – Az agyi hálózatokkal akkor kerültünk kapcsolatba, amikor 2015-ben egy hosszú kutatómunka eredményeképpen [tanulmányt](#) publikáltunk a *Nature Communications* folyóiratban, és abba a bírálók javaslatára egy agyi hálózatot is beépítettünk.”

A BME kutatói nem főállású agykutatók, ezért az agy kommunikációs hálózatát leginkább a fő szakterületükön kívüli, (majdhogynem) szabadidős tevékenységként vizsgálják. Bíró József szerint inkább az a céljuk, hogy

[felhívják a hivatásos agykutatók figyelmét egy-egy kérdésre, illetve olyan \(mérnöki\) algoritmusokat ajánljanak nekik, amelyek hasznosak lehetnek a számukra, de nem biztos, hogy találkoznak velük a kutatásaik során.](#)

Idén októberben jelent meg a BME Információs Rendszerek Modellezése Kutatócsoportjának legújabb, agyi hálózatokkal foglalkozó [tanulmánya](#). E kutatás több szempontból is formabontó volt, mind a hálózattudományban, mind az agykutatásban.

„Ebben a vizsgálatban kissé túlléptünk a hálózatelmélet hagyományos eszköztárára és céljain. Azon kezdtünk gondolkodni, hogy az agyi hálózatok esetében nemcsak a hálózat struktúrája fontos, hanem az is, hogy a benne működő folyamatok hogyan használják ezt a struktúrát – teszi hozzá *Heszberger Zalán*, az MTA-BME Információs Rendszerek Modellezése kutatócsoport munkatársa, a tanulmány első szerzője. – Azt vizsgáltuk, hogy az agyi hálózatban az egyes idegsejtek mely más idegsejtek közvetítésével kommunikálnak egymással.”

Az idegsejt mint router

A kutatók – mérnökként, fizikusként – azt feltételezték, hogy az agyi hálózat biológiai evolúciója során úgy fejlődött, hogy működése energetikailag a lehető legkevesebb legyen. Magyarul igyekeznek a kommunikációhoz szükséges erőforrásokat minimalizálni. Hogy megtalálják ezt a mélyben rejtőző, energiatékony, alapvető agyi hálózatot (az ő megfogalmazásuk szerint: „csontvázat”), próbálták feltérképezni a legkevesebb energiát használó kommunikációs útvonalakat az agyban.

[A kutatók feltevése szerint a legkevesebb energiát használó útvonal az, amely a legkevesebb információ segítségével megtalálható.](#)

De mit is jelent itt az információ? Heszberger Zalán egy informatikai példát hoz ennek érzékelésére. Képzeld el, hogy az idegsejtek egyfajta routerek, amelyek összegyűjtik a velük kapcsolatban álló más idegsejtek címeire vonatkozó infor-

mációt a hálózatból, (ahogy a számítástechnikai routerek is ismerik az általuk irányított hálózat elemeit). Az idegsejtek címei a hálózatban elfoglalt helyükre is utaló koordinátáikat jelentik. E koordináták alapján minden sejt (elméletben) kiszámít egy útvonalválasztási táblát. E tábla abban segít neki, hogy egyfajta lokális döntést hozzon arról, hogy egy távoli idegsejttel való kommunikációhoz melyik szomszédos idegsejtnak kell átadnia az információt a célidegsejt felé vezető útvonal következő állomásaként.

Az elméleti számítások alapján minden idegsejtre (pontosabban a feltérképezett agyi hálózat elemeire, amelyek egyenként is sok idegsejtet tartalmaznak) meg lehet határozni a számukra ideális útvonalválasztási táblát. Azaz a létrejövő lehetséges táblák közül meg lehet keresni azokat, amelyek információelméleti entrópiája minimális, más szóval amelyek a legjobban tömöríthetőek. Vagyis amelyek esetében az idegsejteknek a legkevesebb „tudásra” van szükségük ahhoz, hogy a hálózaton keresztül kommunikálni tudjanak.

A „csontváz”

„Miután kiszámoltuk, hogy ez az entrópia milyen struktúrában lehet minimális, elkezdtünk azon gondolkodni, hogy ha nekünk kellene agyat terveznünk, akkor hogyan nézne ki a leghatékonyabb szerkezete – folytatja Heszberger Zsolt. – Ezáltal olyan „csontvázat” (vagyis gráfelméleti fát) építettünk fel, amelyen be tudtuk mutatni, hogy ha e famentén történne az agyban a kommunikáció, akkor az ahhoz szükséges információ összentrópiája minimális lenne. Vagyis ebben a struktúrában kellene a legkevesebb információt eltárolni az idegsejteknek ahhoz, hogy működtetni tudják a hálózatot.”

Az eredmények ellenőrzéseként a kutatók megvizsgálták, hogy az elméleti számításaik alapján előállt kommunikációs váz valóban megtalálható-e az agyban. Kiderült, hogy az információs entrópia minimalizálásával felépített hálózat igen nagy pontossággal megtalálható az agyban, amiből arra lehet következtetni, hogy

az idegsejtek közötti kommunikációban az energia minimalizálásának elve is szerepet játszik.

Az elméleti hálózatot negyven személytől származó agyi hálózaton tesztelték. Ezek adattömbök, amelyek különböző felbontásokban tartalmazzák az egyes agyi régiók közötti kapcsolatokat. A különböző agyi hálózatokat összevetették, és megkeresték azon jellegzetességeiket, amelyek mindenkire jellemzőek. A kutatók értékelése szerint ezzel elvetették az agy „egyéniségét”, és csak a legalapvetőbb kapcsolatokat tanulmányozták.

„Fontos figyelembe venni, hogy itt nem egyedi idegsejtek közötti kapcsolatokról van szó, hiszen még nem áll rendelkezésünkre olyan technológia, amely az agy neuronszintű kapcsolatrendszerét képes lenne feltárni – mondja Bíró József. – Az általunk használt agyi hálózatokban az agykérget sok részre (a legnagyobb felbontásban ezer részre) osztják fel, majd meghatározzák, hogy e részek mely más részekhez kapcsolódnak az idegpályákon keresztül (miközben az egymáshoz kapcsolódó régiók térben nem feltétlenül esnek közel egymáshoz).”

Mind a negyven személytől öt különböző felbontású agyi hálózatot vizsgáltak, és azt kapták eredményül, hogy a kisebb felbontású (kevesebb részre tagolt agykéregről készített) felvételek nagyobb mértékben feleltethetők meg az energiahatékonyági váznak, míg a nagyobb felbontású hálózatok kevésbé. E váz anatómiai információt nem használ a hálózatban szereplő régiókról, mindössze a kommunikációhoz szükséges energia minimalizálására törekszik.

„Nem tudjuk, hogy ennek az elméleti kommunikációs váznak ténylegesen és közvetlenül van-e köze az agyban zajló kommunikációhoz. Mindenesetre kérdésfelvetésként rendkívül érdekes, hiszen ez egy új szempontot jelenthet az agykutatásban” – érvel Bíró József.

Válogatta: Fonyó Istvánné

Forrás: www.mta.hu