

# A RAPPEREKTŐL A MOLEKULÁRIS BIOLÓGIÁIG

Árulkodó kapcsolódásokat bárhol felfedezhetünk. Telefonhívásaink elárulják, hogy milyen közösségekhez tartozunk, a Wikipédia oldalai és szerkesztői egy több millió pontból álló „térkép” résztvevői, a fehérjék kölcsönhatási hálózatának csoportjai pedig rávilágíthatnak bizonyos áttétek képződésének okaira. Ami közös, hogy az egymással átfedő csoportoknak kitüntetett szerepe van egy-egy hálózatban. Két díjnyertes, ugyanazon tudományos iskolából való hálózatkutatóval beszéltem ezzel kapcsolatos vizsgálataikról: Farkas Illés tavaly Talentum Díjat vehetett át, Palla Gergely pedig az idei Junior Prima Díj magyar tudomány kategóriájának egyik nyertese. A kapcsolódási pont a kutatócsoport vezetője, Vicsek Tamás.

**A**két fizikus jelenleg az MTA-ELTE Statisztikus és Biológiai Fizika Kutatócsoport tudományos főmunkatársa. Farkas Illés harmadéves fizikus hallgatóként került Vicsek Tamás szárnyai alá: nála kezdett el TDK-zni, utána diplomamunkáját, doktoriját is az ő vezetésével írta. Palla Gergely a doktori fokozat megszerzését követően, 2003 óta vesz részt a hálózatok kutatásában. Az MTA-ELTE-s csapat számítógépes statisztikus fizikai módszereket és modelleket használ a csoportos mozgás és hálózatok vizsgálatára, és 2005-ben Derényi Imre közreműködésével egy egyedülálló hálózati csoportkeresési technikát fejlesztettek ki. Azóta rendkívül szerteágazó területeken használták ezt a csoportkeresőt világszerte, egy érdekes példa erre egy szociológiai vizsgálat, ahol amerikai rapperek együttműködési hálózatát tanulmányozták.

**– Hogyan kerül a képbe a statisztikus fizika?**

Farkas Illés: – A statisztikus fizikában régi és nagyon alaposan vizsgált kérdés az, hogy ha sok egymással kölcsönható részecske van egy rendszerben, akkor azok együtt teljesen másként képesek viselkedni, mint egyenként. Például, ha egyetlen mágneses atom (mondjuk egy vasatom) viselkedését nézzük külső mágneses tér és más atomokkal való kölcsönhatás nélkül, akkor ez az egyetlen atomi mágnes a hőmérséklettől függetlenül mindig „össze-vissza” áll.

Hidegben és melegben is. Viszont egy kézbe fogható mágnesrúd esetén már – amiben rengeteg mágneses atom van – nem mindegy a hőmérséklet. A rúd-ban lévő elemi mágnesek szobahőmérsékleten szeretnek azonos irányban állni, de ha a rudat több száz fokra hevítjük, akkor a hőmozgás miatt már mind „össze-vissza” áll. Tehát egy atomi mágnesnek nem számít a hőmérséklet, de ha sokan vannak együtt (egy mágnesrúd-ban), akkor már igen. Sok hasonló „összetevő” együtt nagyon másként viselkedhet, mint egyenként.

**– Elvontabb dolgokra is lehet ezt értelmezni? Vegyük például Jézus és Barabás történetét, amikor a tömeg mást kiált, mint amit az egyének gondolnak. Vagy ilyen jellegű tulajdonságokat nem lehet leírni?**

Farkas Illés: – A természettudományokban az a nagyszerű, hogy mérhető mennyiségekről elméleteket lehet felállítani, amelyeket utána ellenőrizni lehet más kérdésekben is. Ezzel szemben az emberek viselkedéséről sokunknak az jut eszébe, hogy ott nagyon ritkán lehet pontos méréseket végezni. Érdekes kérdés, hogy a társadalomtudományok területén lehet-e méréseket végezni. Azt vehetjük észre, hogy egyre inkább lehet.

**– Például hogyan?**

Farkas Illés: – Például emberek mozgásáról, videofelvételekkel. Ha videofelvételt készítünk például több tízezer mekkai zarándokról, akkor láthatjuk, hogy hogyan mozognak együtt, és ab-



Farkas Illés

ból tudunk következtetni a mozgásuk szabályaira. Szintén az emberek csoportos viselkedését írja le, hogy milyen ismeretségi és együttműködési kapcsolatokat kötnek. Ezt jelentős részben lehet már követni telefonhívások alapján, közösségi portálok, nyilvános publikációs adatbázisok és a Wikipédia minden szócikkénél elérhető szerkesztési történet segítségével.

**– Hozzájuthattok olyan adatokhoz, amelyek segítségével ezt vizsgálni tudjátok?**

Farkas Illés: – Igen. Egy 2007-es Nature-cikkben Palla Gergely, Barabási Albert-László és Vicsek Tamás mobiltelefon-hívások hálózatát vizsgálták egy

## MAGYAR GYÖKEREK

A hálózat kutatás kezdetét nehéz lenne meghatározni. Hiszen, ha a gráfelméletet is idesoroljuk, akkor egészen Eulerig is visszamehetünk. Komoly fordulópontra volt, amikor a század közepén Erdős és Rényi megalkották a véletlen gráf fogalmát.

Sokáig azt tekintették az egyetlen modellnek, ami olyasmi rendszereket ír le, amelyet a való életben láthatunk. Az ezredforduló környékén egyre könnyebbé vált igazi hálózatok adataihoz hozzájutni. Kiderült, hogy az Erdős-Rényi-féle klasszikus véletlen gráf bizonyos jöslataival ellenkező sajátosságok fedezhetők fel.

szolgáltató négy millió felhasználója között. De akadnak olyan nagy adatsorok is, amelyek teljesen nyilvánosak, például a kutatók együttműködési, társszerzőségi kapcsolatai. Ezek közül talán a legismertebb a PubMed, ahol jelenleg 17 millió körüli publikáció és 5 millió körüli szerző neve található meg. Szintén bárki számára ingyenesen letölthető egyetlen file-ban minden, amit a Wikipédia szerkesztői szerkesztettek a Wikipédia 2001-es alapítása óta.

### ***– A Wikipédián is hasonló együttműködési hálózatot fedezhetünk fel?***

Farkas Illés: – Igen, mi most arról végzünk kutatásokat, hogy a Wikipédián egymással együttműködő szerzők hogyan képesek minőséget előállítani. Az angol Wikipédián több millió oldal és több százezer szerző van, és másodpercenként több tízezer kérdés fut be. Azaz rengetegen dolgoznak rajta, kialakul egy hálózat, az oldalak hálózata. E mögött van egy másik hálózat is, ami a szerkesztők együttműködési hálózata. Hogyan lesz ebből minőség? Hiszen az oldalakat bárki szerkesztheti. Vannak olyan oldalak, amelyeket sokan néznek. Ezeket az oldalakat valószínűleg többen is javítják, és így gyorsabban fejlődnek. Emiatt még többen helyeznek el rájuk mutató hiperlinket. Ettől még több látogatójuk lesz és tovább javul a minőség. Ez egy önmagát erősítő folyamat, ami rengeteg kérdést vet fel: Mi ebben a folyamatban az alulról jövő kezdeményezések és a felügyelet helyes aránya? Egyáltalán miért kell ehhez felügyelet?

### ***– Egy mobilszolgáltató miként tudja felhasználni az eredményeiket?***

Palla Gergely: – Nagyon aktuális kér-

A kutatók elkezdtek azon gondolkodni, hogy mi magyarázhatja ezeket az eltéréseket a klasszikus véletlen hálózathoz képest, a tapasztalatok alapján új modelleket alkottak. Ennek az eltérésnek az lehet az oka, hogy nem véletlen jelenségekről van szó.

Az Erdős-Rényi-modell nagyon demokratikus felfogású: veszünk  $n$  darab csúcstól, ezek lesznek a csomópontok, ezeket egymástól függetlenül ugyanolyan valószínűséggel kötjük össze. Mindenki egyforma. A valós rendszerek ettől nagyon eltérőek. Vannak olyan csomópontok, amelyeknek nagyon sok kapcsolata van, másoknak nagyon kevés.

P. G.

dés, még nincs kiforrott válasz. A szolgáltató számára az egyik kulcskérdés az, hogy miként tud egy új terméket elterjeszteni a felhasználók

közötti átfedéseket. Még hozzá jelentős módon, olyan rendszerben is tudunk csoportokat keresni, azaz hálózatot klaszterezni, ahol a csúcsok döntő többsége egyszerre több csoportba is tartozik.

### ***– Ez másnak nem jutott eszébe, vagy nem tudta kezelni a kérdést?***

Palla Gergely: – Sokaknak nem jutott eszébe effektív módszer, sokak pedig annyira alapvetőnek gondolták, hogy diszjunkt, azaz elkülönülő csoportokat célszerű keresni, hogy eszükbe se jutott. Pedig egy tipikus rendszerrel nem jogos ez a feltételezés.

Csoportnak általában egy sűrűbb részgráfot hívunk, melynek tagjai egymáshoz erősebben, sűrűbben kapcsolódnak, mint a hálózat többi részéhez – például egy mobilhálózatban a család, baráti kör, munkahelyi közösség ilyen. Ha veszünk egy tetszőleges



Palla Gergely

FOTÓ: TURCSÁN EDIT

között. Ehhez véleményformáló kulcsfigurákat kell megtalálnia a hálózatban, amiben segíthet a csoportkeresés is, hiszen aki párhuzamosan sok csoportban vesz részt, az információt adhat egyik csoportból a másikba és egyszerre több csoportra is hatással lehet. Vannak cégek – mi egy céggel állunk kapcsolatban – melyek használják az eredményeinket. Egy-két javaslatról most is tárgyalás folyik, persze a válság nem tesz jót az új ötletek kipróbálásának.

### ***– A csoportkeresés kidolgozásában mi volt a vívmányotok?***

Palla Gergely: – A módszerünk nagy útjátá az volt, hogy megengedte a csoport-

személyt, akkor ő egyszerre tagja a családjának, a baráti körének, munkahelyi körének, és ezek jól elkülönülő csoportok, amiket sok esetben csak az ő személye köt össze. Viszont ő mindegyikhez kötődhet erősen. Az ilyen rendszerek klaszterezését a mi módszerünk oldotta meg. A módszer népszerűségéhez az is sokban hozzájárult, hogy készítettünk egy ingyenesen letölthető szoftvercsomagot, mely képes a megtalált csoportok vizualizálására is. Sokan letöltik, használják, írnak levelet, ha valami nem megy.

### ***– Ha jól tudom, a rákkutatásnál is használják a módszereket. Ott miként lehet ezt alkalmazni?***

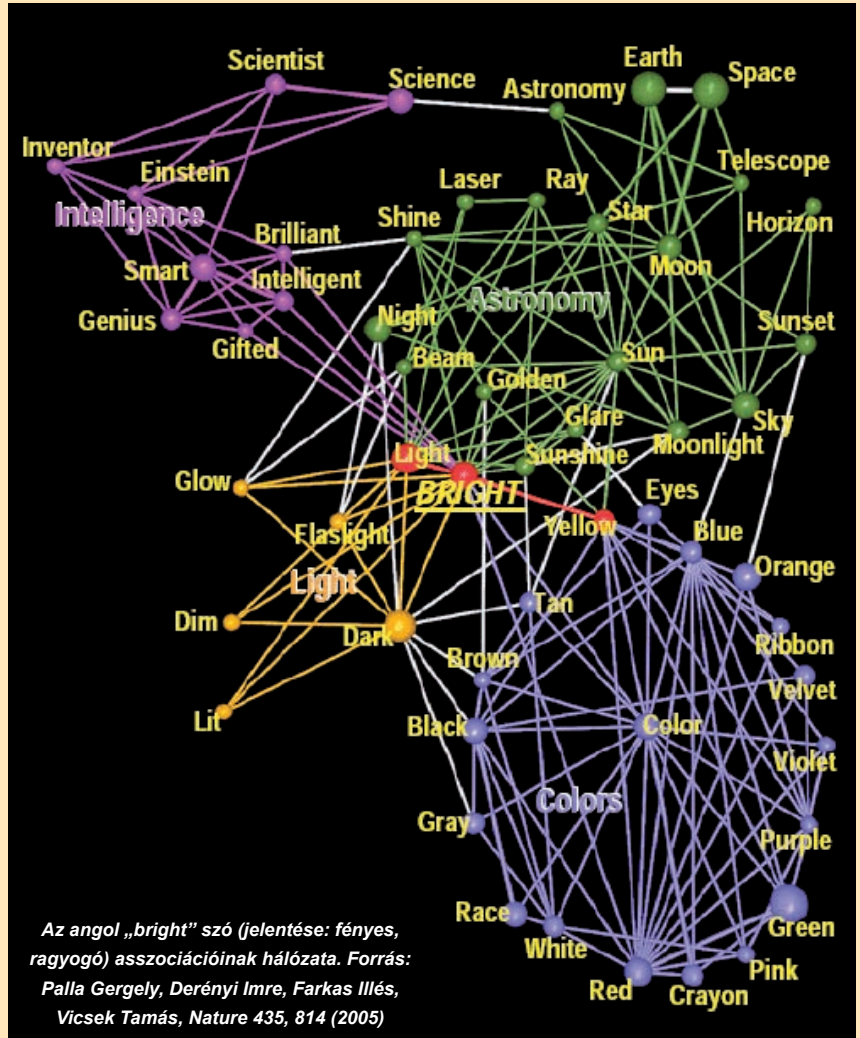
Palla Gergely: – Olyan fehérje-fehérje kölcsönhatási hálózatok vizsgálatánál használták, melyek a rák metasztázisával, azaz áttétképződésével álltak kapcsolatban. A klaszterezés segítségével észlelték, hogy a csoportok közötti átfedésekben az áttét képződésében résztvevő fehérjék sokkal nagyobb arányban fordulnak elő, mint azt a véletlen indokolná. Ezt lehet úgy magyarázni, hogy a fehérje-kölcsönhatási hálózatokban a csoportok sokszor fehérjefunkcióknak felelnek meg, tehát azonos funkciójú fehérjék tömörülnek egy ilyen csoportba. Egy olyan fehérjének, amelynek több funkciója van, azaz több csoportban felbukkanhat, gyakrabban köze lehet az áttét képződéséhez.

**– A statisztikus fizikát és a tömeges jelenségeket miként házasítottátok?**

Farkas Illés: – Azt vettük észre videofelvételek elemzése után, hogy ha több tízezer gyorsan akarnak kijutni egy néhány méteres kijáraton – mert valami baj történt, és a többi kijárat le van zárva –, akkor akik hátul vannak, azok erősen nyomják a kijáratnál lévőket. A kijáratnál lévők emiatt sokkal kevésbé tudnak mozogni. Egymással összenyomódnak, nem tudnak haladni, nem kapnak levegőt, sokan nem bírják a rájuk nehezedő nyomást, így akár meg is halhatnak. Ha a kijárat elé rakunk tereptárgyakat, például egy oszlopot, akkor az oszlop és a kijárat közötti „résbe” érő gyalogosok már sokkal szabadabban tudnak mozogni, mert a hátul lévők nyomásának jelentős részét megfogja az oszlop. Így az egész tömeg tud kifelé menni, és nem történik sérülés. Érdekes a dologban, hogy az oszlop berakásával elvettünk a mozgáshoz rendelkezésre álló területtől, mégis hatékonyabb lett a csoportos mozgás.

**– Ez azóta megvalósult valahol?**

Farkas Illés: – Ez egy alapkutatói eredmény, 2000-ben Vicsek Tamással és Dirk Helbinggel, aki szintén fizikus professzor, hárman jutottunk erre a következtetésre. Azóta 2003-ban Dirk Helbing csoportja kapott megbízást arra, hogy német tengerjáró hajók kiürítési tervét vizsgálja, és ők ezt a modellt használták. Egy másik projekt, amiről hallottam, hogy az elmúlt években németországi stadionokban végeztek olyan evakuációs elemzést, amely használta a mi alapkutatói modellünket is.



**– Tudom, hogy nehéz jóslásokba bocsátkozni, mégis megkérdezem: merre halad ez a tudomány, mi az a nagy kérdés, ami foglalkoztat titeket?**

Palla Gergely: – Úgy látom, hogy a hálózatok kutatás nagy hőskorszaka kezd lezárulni: könnyen megfogalmazható modellekkel leírunk bizonyos viselkedéseket, nagy áttörő eredményeken vagyunk túl. A kutatások eléggé gyakorlatorientáltak lettek. Például Amerikában komoly járvány-előrejelzési modellt építettek rengeteg adat figyelembevételével az emberek közötti hálózatra alapozva. Ez a H1N1 esetén elég pontosan megjósolta, hogy megvékenként hány fertőzött, hány haláleset várható. Az ehhez hasonló tendenciáknak köszönhetően egyrészt egyre több alkalmazás jelenik majd meg, másrészt még finomabb, még inkább részletekbe menő elméleteket fogunk gyártani. Az egyik irány, amerre mi is elindultunk: nem csak a gráfstruktúrát néz-

zük meg egy vizsgált rendszernél, hanem a csomópontokat címkézzük fel ismert tulajdonságokkal. Például a fehérje-kölcsönhatási hálózatban a fehérjéről már rengeteg dolog ismert, amit a biológusok annotációként szoktak emlegetni. Egy fehérje annotációja egy-két kulcsszó, ami megmondja, hogy milyen folyamatokban vesz részt, miért fontos az adott fehérje. Ezeket mi kis címkéként oda-képzelteljük a csomópontok mellé. Érdekes kérdés lehet, hogy ezen címkék eloszlása milyen kapcsolatban van a hálózat struktúrájával. Nagyon sokféle rendszerben lehet ezzel a címkézési módszerrel élni: például egy társszerzőségi hálózatban, ha beküldünk egy cikket, akkor tárgyi besorolásokat, címkéket kell megadnunk. Lényegében eddig egy-egy rendszer „csontvázát” ismertük meg, most elkezdhetjük felöltöztetni ezeket az alapszerkezeteket.

MÉCS ANNA