

BARABÁSI ALBERT-LÁSZLÓ

KISZÁMÍTHATÓ-E AZ EMBERI VISELKEDÉS DINAMIKÁJA?



A jelenleg Bostonban, a Northeastern Egyetemen és a Harvardon dolgozó fizikaprofesszor – aki ma is rendszeresen hazajár Csíkszeredába, és akinek a Korunk eddig is figyelemmel kísérte munkásságát – a komplex hálózatok elméletének területén elért eredményeivel vált világhírűvé. Amikor elterveztük az élővilág kommunikációját bemutató lapszámunkat, természetesen az ő jelenlétére is számítottunk. Hiszen Barabási akadémikus és munkatársai úttörőnek számító lépést tettek a bonyolult, önszervező rendszerek – pl. egy sejt genetikai hálózata vagy egy társadalmi háló – szabályozhatóságához vezető úton. A vírusok terjedésének becslésétől a mobilvírusokig. Kapóra jött, hogy a múlt esztendő végén élő közvetítésben láthattuk a Mindentudás Egyeteme újabb sorozatának nyitó előadását. Ennek szöveggéközléséhez kértünk engedélyt tőle, illetve az MTA tudománykommunikációs osztályától. A szöveggéközi ábrák egy részéről technikai okok miatt le kellett mondanunk. Amiért a szerző és az olvasók elnézését kérjük.

Cs. P.

Emberek a mikroszkóp alatt

■ A természettudósok hisznek abban, hogy a természeti jelenségeket meg lehet mérni, matematikailag le lehet írni és előre lehet jelezni. És ezt is teszik naponként – köztük én is, aki fizikus vagyok –, és ebben senki nem talál semmi kivétnevlőt. De ha a természeti jelenségeket az emberi viselkedéssel helyettesítjük be, veszélyes vizekre evezünk. Megmérni, matematikailag leírni, sőt előre jelezni az emberi viselkedést? Ez ijesztő gondolatnak tűnik. A tudománynak egy olyan titkához jutunk itt el, amiről nem nagyon szoktunk beszélni: az elmúlt 100-200 évben tapasztalt fantasztikus tudományos fejlődés valójában megállt a természettudományok határán.

...az adatmennyiség és az óriási számítógépes kapacitás rendelkezésünkre áll. Ami még hiányzik, az a modell és az elmélet.

Mit jelent ez? Például pontosan meg lehet jósolni egy elektron pályáját, de nagyon-nagyon nehéz megjósolni a gazdasági kríziseket vagy a tőzsde hullámzásait. Össze lehet kapcsolni géneket, ugyanakkor reménytelen vállalkozás lenne megjósolni a háborúkat vagy a válságokat. Vajon mi az oka a tudomány eme megtorpanásának? Az, hogy egy baktérium egyáltalán nem sértődik meg, ha mikroszkóp alá teszik; a Hold nem perli be azt, aki leszáll a felületére; az elektronnak sincsenek személyiségi jogai. De ha valaki az embert szeretné tanulmányozni, akkor pontosan úgy kellene megfigyelnie, mint az elektronokat és a baktériumokat. Folyamatosan, 24 órán keresztül, állandóan mikroszkóp alatt tartva. Létezik olyan ember, aki hajlandó lenne ezt vállalni? Az igazság az, hogy igen, egyre inkább mindnyájan vállaljuk!

Ahhoz, hogy bármit is megjósoljunk, adatokra van szükségünk, óriási mennyiségű adatra. Csak a tenyérjósok és az üzleti tanácsadók állítanak olyasmit, hogy képesek adatok nélkül jósolni, a fizikusok vagy a matematikusok soha. Az emberi viselkedést leíró adatok tekintetében komoly változásoknak vagyunk tanúi. Manapság jóformán mindenki e-mailezik, és a szolgáltató pontosan tudja, kik a barátaink, kikkel tartjuk a kapcsolatot. A mobiltelefon-szolgáltató pontosan tudja, hogy hol vagyunk, hová megyünk, kikkel és milyen gyakran kommunikálunk. A bankunk tudja, mit engedhetünk meg magunknak, milyen az ízlésünk, hol vásárolunk, hová járunk, merre utazunk. Ennek a különböző adatbázisokban összegyűlt, óriási adatmennyiségnek köszönhetően a mai modern világban élő ember élete majdnem percnyi pontossággal nyomon követhető. Tehát a világ átalakult, és ebben az új világban már igenis lehet tanulmányozni az emberi viselkedést.

Meglehet, az ilyen kutatás lehetősége alapvető paradigmaváltáshoz vezet. Az elmúlt kétszáz évben ugyanis a tudomány lényegében azzal volt elfoglalva, hogy eszközöket dolgozzon ki a különböző jelenségek mérésére. Azért fejlesztették ki a mikroszkópot, hogy megérthessék a mikroszkopikus világot, a baktériumok és a sejtek viselkedését. Azért fejlesztették ki a távcsöveket, hogy a távoli világot, a bolygókat, galaxisokat próbálják meg valamilyen módon leírni a segítségével. Az előtünk álló paradigmaváltás lényege az, hogy születőben van egy olyan új tudomány, amely a már rendelkezésünkre álló adatokon alapul. Tehát már nem az adatok összegyűjtése jelenti a legnagyobb feladatot (hiszen ezek már a rendelkezésünkre állnak a különböző adatbázisokban), hanem az, hogy értelmezzük ezt a hatalmas adatmennyiséget, és megértsük az emberi viselkedés törvényeit.

Hogyan lehet leírni a bonyolult rendszereket?

■ Alapvető kérdés az is, hogy miért érdekesek számunkra az emberi viselkedés törvényei. Különösen számomra, aki fizikus vagyok. Még kiélezettebben fogalmazva: miért egy fizikus tart előadást az emberi viselkedésről? Miért nem egy pszichológus, egy agykutató vagy egy szociológus? Hiszen ez az ő szakterületük.

Nos, tartozom egy vallomással: engem egyáltalán nem érdekel az emberi viselkedés. Azért tanulmányozom mégis, mert ez a megismerés felé vezető egyik út. Fizikusként engem elsősorban a komplex rendszerek viselkedése érdekel. Ilyen komplex rendszer az agy is, amely több milliárd neuron kommunikációja révén létrehozza az öntudatot, létrehozza a látás, a gondolkodás, az előrelátás képességét. Ilyen komplex rendszer a gazdaság is, ahol több millió gazdasági szereplő, cégek, egyének, döntéshozók valamilyen módon együttműködnek, és létrejön egy többé-kevésbé működő gazdaság. Ilyen komplex rendszer a sejt is, ahol több ezer gén kommunikációja révén létrejön az, amit életnek nevezünk. Az alapvető probléma az, hogy hogyan írjuk le ezeket a hihetetlenül komplex rendszereket. Az elmúlt tíz évben komoly előrelépés történt ezen a téren, és ezt leginkább a hálózatelméletnek köszönhetjük.

A hálózatelmélet, amely az elmúlt évtizedben az én kutatási témám is volt, a bonyolult rendszereket a struktúrájukon keresztül próbálja megérteni. A hálózatkutató egy bonyolult génhálót, a gének összekapcsolódásának térképét látja a sejtben. A hálózatkutató az internetet egy nagyon-nagyon bonyolult hálónak látja, térképnek, amelynek segítségével optimalizálni próbálja az információ megtalálását a hatalmas adatmennyiségben. Több mint tizenkét évvel ezelőtt én is részt vettem a hálózatelmélet kifejlesztésében döntő szerepet játszó skálafüggetlen hálók elméletének kutatásában. Az eredményeinket közlő cikk megjelenésének tizedik évfordulóján a *Science Magazin*, a világ talán legrangosabb tudományos folyóirata egy önálló számot jelentetett meg, amely az elmúlt tíz évet értékelte. E terület fontosságát mutatja az is, hogy az Egyesült Államok Akadémiáján belül működő National Research Council – amelynek a szerepe az, hogy az Egyesült Államok kormányát szakmai tanácsokkal lássa el és tájékoztassa a tudományban és a társadalomban zajló folyamatokról – már két tanulmányt is közölt a hálózatelmületről. A National Research Council álláspontja szerint a hálózatkutatással egy új tudományterület született, amelynek kérdései nagyon fontosak mind a gazdaság, mind a tudomány számára, és ezért úgy kell tekinteni és úgy kell támogatni mint önálló tudományágat. Ez meg is történt: az Egyesült Államokban az elmúlt néhány évben több száz millió dollárt fordítottak hálózatkutatásra.

Ugyanakkor a komplex rendszerek megértéséhez rendkívül fontos, de nem elégséges a hálózatkutatás. Valóban nélkülözhetetlen a térkép és a térkép megértése. De egy komplex rendszer sokkal több, mint maga a hálózat. Nagyon fontos lenne például megértenünk, hogy az agy egyes részei hogyan kapcsolódnak egymáshoz. De az agy működésének megértéséhez azt is látnunk kell, hogy ezek a kapcsolatok időben hogyan változnak meg, mikor sülnek ki a neuronok. Tehát egy dinamikai jelre van szükségünk, amely valós időben mutatja minden neuronnak a viselkedését. A korábban példaként említett gazdaság esetében sem elégséges azt tudnunk, hogy ki kinek a termékét vásárolja, meg kell ismernünk az időbeli folyamatot is, hogy értsük az érték változásait, az árak mozgásait, és hogy ezek a kapcsolatok ténylegesen hogyan épülnek ki és szűnnek meg. A sejtek esetében is szükséges, de nem elégséges a sejtekben található genetikai háló megértése. Ha meg akarjuk ismerni a sejtek működését, akkor látnunk kell, hogy a gének hogyan és mikor kapcsolódnak ki és be, mi ennek a rendszernek a belső dinamikája. Tehát a komplex rendszerek megértéséhez hozzátartozik a hálózat megértése, de ugyanilyen fontos feltérképeznünk azt is, hogy a rendszer időben hogyan fejlődik és változik.

Csak hogy a tudomány mai állása szerint nem tudhatjuk meg, hogy az egyes neuronok hogyan és mikor sülnek ki az emberi agyban, vagy hogyan és mikor aktivizálódik egy-egy gén a sejtben. Ezeket az adatokat ma még nem tudjuk összegyűjteni. Pillanatnyilag a leginkább tanulmányozható komplex rendszer a társadalom, mivel az óriási adatmennyiségnek köszönhetően minden komponensnek, minden egyénnek a viselkedése valós időben követhető. Egyszóval nem azért tanulmányozzuk az emberi viselkedést, mert maga az emberi viselkedés érdekkel minket, hanem azért, mert ez vezet a komplex rendszerek megértése felé. [...] Néhány hónapig egy GPS-órát hordtam, amely pontosan jelezte a pozíciómat és a mozgásomat a városban belül. Noha én pontosan tudom, hogy mikor hova és miért megyek, egy külső szemlélő számára ez már egyáltalán nem nyilvánvaló, számára a pályám véletlenszerűnek tűnhet. Ha a mozgásom valóban véletlenszerű volna, akkor ezt egy olyan matematikai elmélettel írhatnánk le, melyet Einsteinnek köszönhetünk. Einstein 1905-ben három korszakos jelentőségű cikket is írt. Az egyik, amelyik világhírt hozott a számára, a relativitáselmületről szólt. A másik, amelyért

később Nobel-díjat kapott, útjára indította a kvantummechanikát. A harmadik pedig a véletlen mozgás elméletét vezette be.

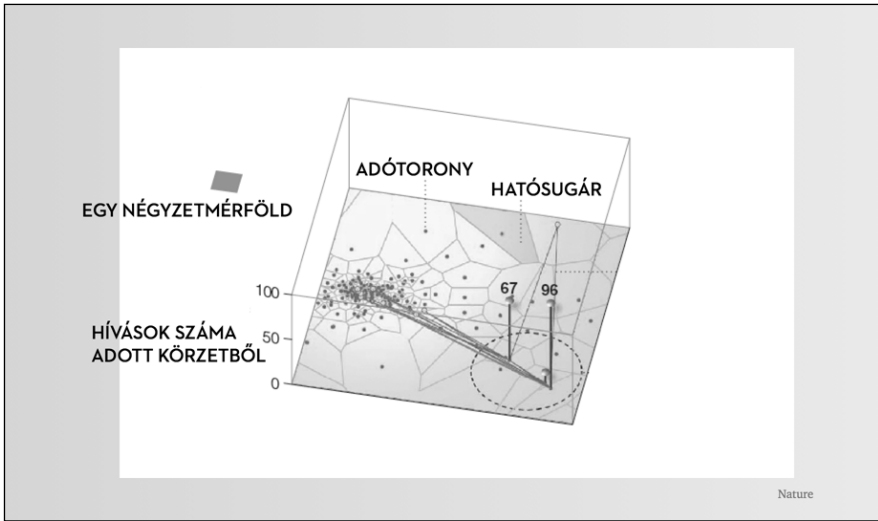
A véletlen mozgás vagy bolyongás olyan mozgás, amelynek során egy részecske minden pillanatban teljesen véletlenszerűen dönt arról, hogy előre, jobbra, balra vagy visszalép-e. Einsteint a gázok és folyadékok viselkedésének megértése motiválta a véletlen mozgás elméletének kidolgozására, ugyanis a molekulák teljesen véletlenszerűen mozognak a gázban. Ha az emberi mozgást véletlenszerűnek véljük, akkor az Einstein által kifejezett matematikai modellt alkalmazni lehetne az emberi viselkedésre, az emberi mozgásra is. Ha ki akarjuk próbálni, hogy valóban alkalmazható-e rá, akkor össze kell gyűjtenünk az emberi mozgást leíró adatokat. Nos, a legelső adatsor érdekes forrásból származott: egy Amerikában felettébb népszerű internetes játékból, amelynek neve *Where's George?* A játék lényege a következő: veszünk egy bankjegyet, ráírjuk a weboldal címét: wheresgeorge.com (a profi játékosok pecsétet használnak). Ha valaki megtalálja ezt a bankjegyet, és észreveszi a pecsétet vagy a ráírt szöveget, akkor megnyitja ezt a weboldalt, beírja a bankjegy sorszámát és a tartózkodási helyének az irányítószámát. Így követni lehet a bankjegy útját Amerikában. Ennek a népszerű játéknak a legaktívabb játékosa 3 millió egydolláros bankjegyet pecsételt le és indított útjára. (A látszat ellenére korántsem gazdag emberről van szó. Személyesen is találkoztam vele. Pennsylvania északi részén, egy szerény kis faluban él, és fegyvereket árul. Amerikában a fegyvervásárlás általában nem hitelkártyával történik, a fegyvert és muníciót vásárló emberek nem szeretnék, ha pontosan nyomon követhető lenne, hogy hol, mikor és mit vettek, ezért inkább készpénzzel fizetnek. Így rengeteg bankjegy fordul meg az üzletében, ő pedig lepecsételi, és úgy adja őket tovább.) [...]

Mi mindenre jó a mobiltelefon?

■ A bankjegyekkel azonban van egy komoly probléma: valójában nem követnek egyetlen egyént sem, hanem kézzől kézre járnak, mint egy stafétabot, zsebből zsebbe vagy pénztárcából pénztárcába. Vagyis nem segítenek, hogy megértsük egy egyén mozgását. Ha tovább akarunk lépni, akkor olyan technológiák kifejlesztésére van szükség, amelyek segítségével sok egyén mozgása valós időben tanulmányozható.

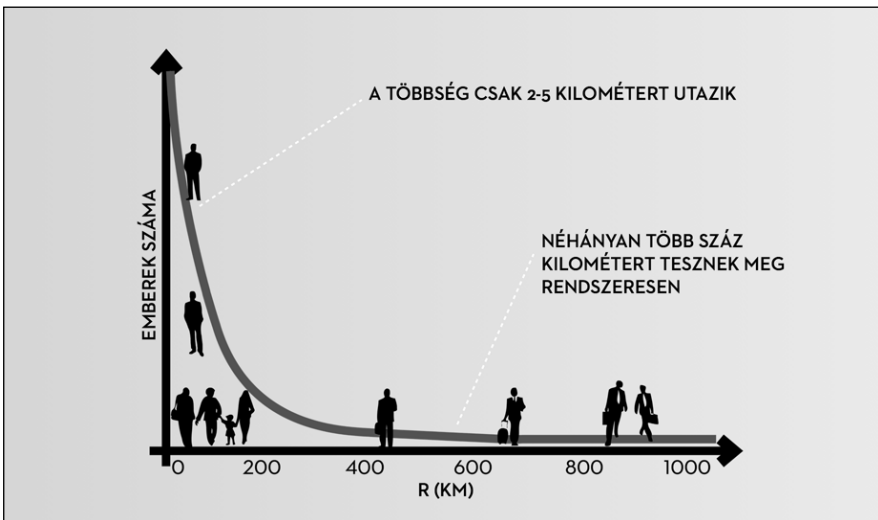
Az igazság az, hogy ez a technológia a kezünkben van. Úgy hívják, hogy mobiltelefon. Manapság már majdnem mindenkinek van mobiltelefonja a modern és a kevésbé modern társadalmakban is. Bizonyára mindenki tisztában van azzal, hogy a mobiltársaságnak tudnia kell, hogy hol tartózkodik a mobiltelefon tulajdonosa, különben nem lenne elérhető a hívó felek számára. Ennek érdekében mára lényegében az egész Föld föl van osztva különböző méretű cellákra. A cella közepén található egy adótorony. A cella azt mutatja, hogy körülbelül milyen távolságon belül fogható annak az adótoronynak a jele. Valahányszor telefonálunk, a telefonunk kapcsolódik a legközelebbi adótoronyhoz, és azon keresztül jut el a jel ahhoz, akivel beszélünk. Azaz a mobiltársaságok által összegyűjtött adatok segítségével elég pontosan lehet követni az egyén mozgását.

A következő ábrán egy ember viselkedését látjuk, körülbelül két héten keresztül. 90 alkalommal telefonált az egyik torony közeléből, 67-szer pedig a másik torony szomszédságából. Az is látható, hogy nem nagyvárosban él, hanem valahol vidéken, mert viszonylag ritkák a toronyok. Továbbá, hogy a szomszédságában van egy nagyváros, ahova néha elutazik, és ott is telefonál. A két hely közül valószínűleg az egyik az otthona, a másik a munkahelye. Ha megnéznénk, hogy mikor telefonált, az is kiderülne, hogy melyik az otthona, és melyik a munkahelye.



E példa is mutatja, hogy a mobiltársaságok kezében óriási adatmennyiség gyűl össze arról, hogy hol vagyunk, hogyan mozgunk, és kivel kommunikálunk. Ezeket az adatokat féltve őrzik; két okból. Egyrészt törvény kötelezi őket erre, másrészt pedig meg akarják őrizni a felhasználók bizalmát. Ugyanakkor maguk a szolgáltatók is rájöttek arra, hogy ezekben az adatokban rengeteg nagyon hasznos információ rejlik – mind üzleti, mind társadalmi szempontból. Ezért elkezdték anonim módon megosztani az adatokat kutatókkal, például velünk is. Az anonimitás jelen esetben azt jelenti, hogy nem kapunk sem neveket, sem mobilszámokat, számunkra minden egyén egy részecskévé, gázmolekulává válik, amely le és fel mozog a térben napi mozgásának megfelelően. Azaz nem tudjuk, kiről van szó, nem tudunk semmilyen személyes információt, ezeknek az adatoknak a segítségével mégis nagyon részletes képet nyerhetünk az emberi mozgásról. [...] A lényeg tehát az, hogy akár egy egész társadalom viselkedése követhető valós időben a mobiltelefonok segítségével. Mi is erre alapozzuk a kutatásunkat, anonim módon, a személyiségi jogok megsértése nélkül.

Hogyan használhatjuk fel ezeket az adatokat? Először is megmértük, hogy milyen távolságot tesz meg egy ember két mobiltelefonálás között, vagy egyszerűbben, egy



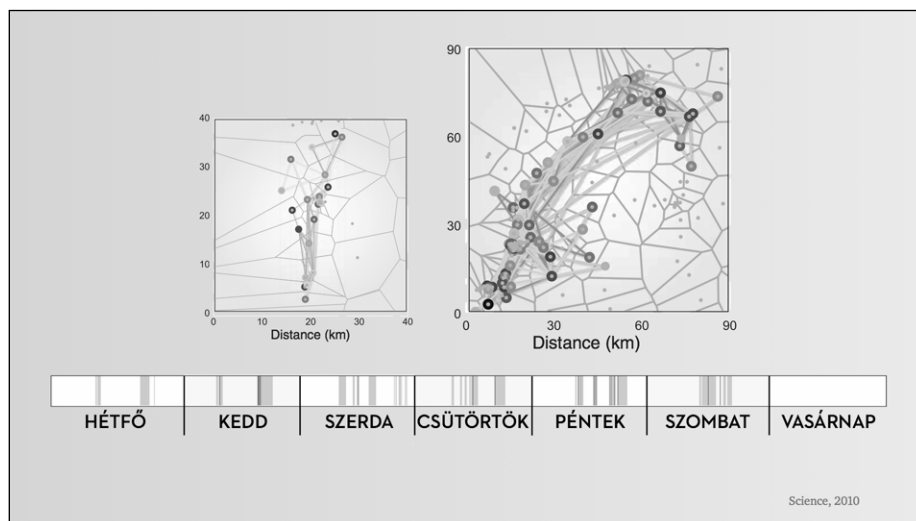
órán belül. Az eredmények itt is egy fontos matematikai törvényszerűséget mutatnak: azt láttuk, hogy a legtöbb ember tipikusan 2-3-4-5 kilométert tesz meg napon-ta, ugyanakkor vannak néhányan, akik több százat. Tehát minden egyénhez hozzá tudunk rendelni egy kört, amelyen belül az illető az életét éli – és ezek egyénekenként nagyon különböznek. Ez önmagában egyáltalán nem meglepő, mi is azt vártuk, hogy lesznek egyéni különbségek. A meglepő az, hogy bár mindenki teszi a dolgát, mindenki oda megy, ahová neki fontos, akkor utazik, amikor akar, de a társadalom egészében véve mégis egy matematikai törvényt, az alábbi ábrán látható hatványfüggvény-eloszlást követi, vagyis Lévy-mozgást ír le. Ezek a mérések rámutatnak arra, hogy a sok látszólagos rendezetlenség és véletlen mellett az emberi mozgásban bizonyos belső törvényszerűségek is érvényesülnek.

Meglepően kiszámíthatóak vagyunk

■ Mit állapítottunk meg tehát eddig? Először is azt, hogy az emberi viselkedés bizonyos értelemben mérhető, például a mobiltelefonok mozgásának követése révén. Másodszor, hogy ezt a viselkedést matematikailag le lehet írni. A harmadik állítás pedig az, hogy a viselkedést előre is lehet jelezni. Akkor mondhatjuk ugyanis, hogy egy rendszert megértettünk, ha előre is tudjuk jelezni. De vajon hogyan fest ez az emberek esetében?

Olyan alapvető kérdés ez, amely jó néhány éve foglalkoztatott engem és kollégáimat. Kutatásaink eredménye pontosan egy évvel ezelőtt, 2010 februárjában jelent meg a *Science*-ben. A cikkben azt boncolgattuk, mennyire jóslható meg az emberi viselkedés. Meg tudjuk-e mondani, hogy hol lesznek a vizsgálat alanyai holnap délután háromkor? És mennyire pontosan tudjuk megmondani?

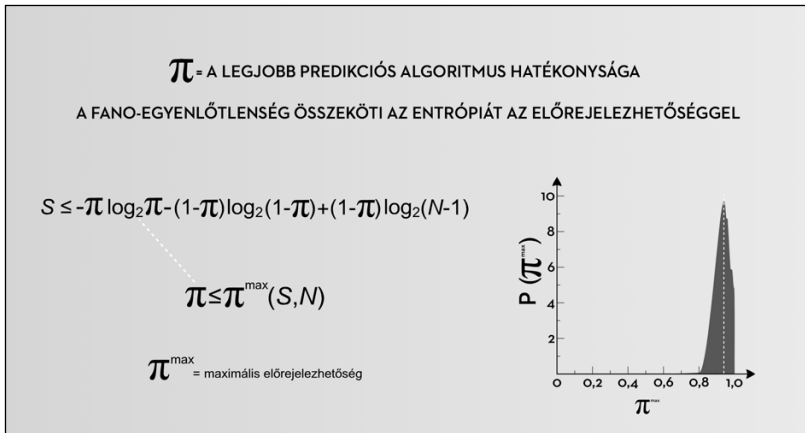
A mobiltelefonos adatokra hagyatkozva alkottuk meg két egyén trajektóriáját:



Körülbelül két héten keresztül követtük a mozgásukat. A bal oldalon látható egyén kevesebbet mozog; 20 kilométeres körzetet jár be. A kör a toronynak felel meg, amely az illető közelében volt egy adott pillanatban. A jobb oldalon látható egyén sokkal többet utazik, és száz kilométeres köröket ír le nagy rendszerességgel, ezért a trajektóriája is nagyon különbözik a másiktól. Ez egyáltalán nem meglepő, megfelelő a várakozásainknak, hogy igen jelentős különbségek mutatkoznak az egyén mozgását leíró trajektóriák között. Ennél lényegesebb, hogy ezeknek az adatoknak a se-

gítségével minden egyénhez hozzá tudunk rendelni egy idősort, amely azt mutatja, hogy hol található az illető az egyes időpontokban. De nem mindig mutatja meg. A színes vonalak azt jelzik, amikor pontosan tudjuk, hogy az egyén hol található, mert éppen telefonál. A fehér és a sárga tartományok annak felelnek meg, amikor nem tudjuk, hogy hol van, mert épp nem használta a telefonját. Ezek az adatok tehát csak akkor állnak rendelkezésre, amikor az emberek használják a telefonjukat, vagyis alapján véve az adatsor hiányos. Ugyanakkor rendkívül hosszú, több év alatt felhalmozódott adatsorunk van, ezért hozzá tudunk rendelni minden egyén idősorához egy entrópia nevű mennyiséget. Az entrópia azt mutatja meg, hogy mennyire rendezett egy rendszer belső viselkedése. [...] Minél nagyobb a rendszer entrópiája, annál rendezetlenebb. Az entrópia tehát a rend mértéke. Azért fontos, mert szorosan összefügg a jóslhatósággal.

Térjünk vissza a korábbi, rendezett állapotba, vegyünk ki egy golyót, és nézzük meg, hogy mit látunk. Hiányzik egy golyó, és az is nyilvánvaló, hogy honnan. Mivel a rendszer rendezett, tehát az entrópiája nulla, nagyon pontosan jóslható. Most vegyük ki a golyót a másik rendszerből. Ebben az esetben már nagyon nehéz megmondani, hogy honnan hiányzik a golyó. A tanulság: ha egy rendszer entrópiája alacsony, akkor nemcsak rendezett, hanem erősen jóslható is, és minél magasabb az entrópiája, annál kevésbé jóslható. Ez matematikailag is nagyon pontosan megfogalmazható:

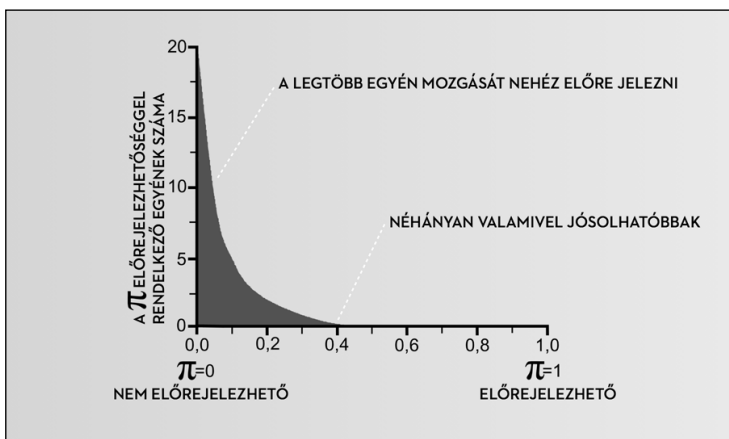


Az entrópia segítségével minden egyénhez hozzá tudunk rendelni egy mennyiséget, nevezzük π -nek, ami az előreláthatóság. Az előreláthatóság azt jelzi, hogy a lehető legjobb program milyen pontosan mondja meg, hogy valaki hol lesz holnap délután háromkor, vagyis azt, hogy mennyire pontosan tud a program jósolni a múltbeli adatokra építve. Ha a π értéke 0,7, akkor senki nem tud olyan programot írni, ami 0,8-as pontossággal, vagyis 0,7-nél nagyobb pontossággal meg tudná jósolni valakinek a pozícióját a jövőben.

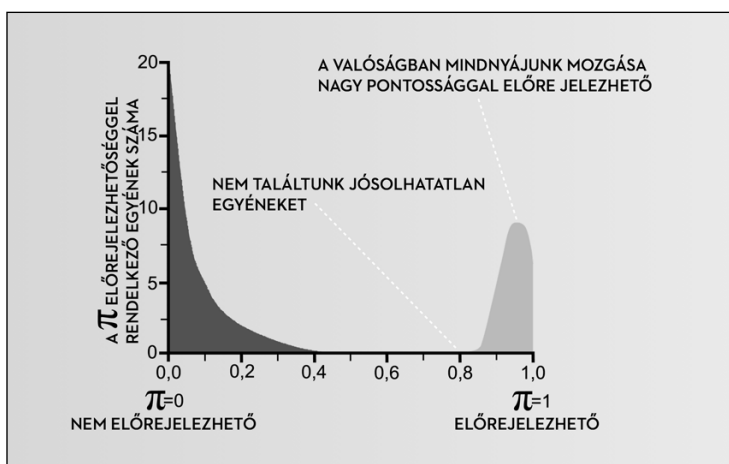
Az előreláthatóság egy ún. Fano-egyenlőtlenség révén szorosan összefügg az entrópiával. Tehát ha ismerjük az entrópia értékét, és minden adatbázisban található egyénhez hozzá is tudjuk rendelni ezt az értéket, akkor megkapjuk az előreláthatóságot, amely megmondja, hogy mennyire jóslható az egyének mozgása.

A mi kutatásunkban ez a következőképpen néz ki:

A $\pi = 0$ azokra az egyénekre vonatkozik, akiknek a mozgása egyáltalán nem jelezhető előre, akik lényegében kockadobással döntenek el, hogy hova mennek a következő alkalommal. A $\pi = 1$ kategóriába kerülnek azok az egyének, akiknek a mozgása teljes pontossággal előre jelezhető. A kettő közötti intervallumban pedig a többé



vagy kevésbé jól megjósolható egyének helyezkednek el. Arra számítottunk, hogy a legtöbb egyén mozgását nagyon nehéz lesz előre látni. Hiszen mindannyian spontának vagyunk, nemde? Néha úgy döntünk, ide megyünk, néha úgy döntünk, oda megyünk. Az ábra mutatja a várakozásainkat: azt gondoltuk, hogy a legtöbb ember ilyen lesz, és csak kevesen élnek olyan rendszeres életet, hogy nagy pontossággal megjósolhatnánk, hol lesznek másnap három órákor. Ehhez képest szinte sokkoló volt a valóság:



Azt kellett látnunk, hogy a legtöbb egyén az erősen megjósolható kategóriába tartozik. A görbe csúcsa 0,93, ami azt jelenti, hogy egy tipikus ember esetében nagy valószínűséggel, 93%-os pontossággal meg lehet mondani azt, hogy hol lesz holnap délután háromkor. A 93%-os pontosság azt jelenti, hogy a program 100 esetből 93-szor helyes választ fog adni, és csak 7 esetben fog hibázni. Ez óriási szám!

De a görbe más meglepetéseket is tartogat. Jól látható, hogy senki sincs 80% alatt, vagyis nincsenek jósolhatatlan egyének a társadalomban. Mindannyian olyan útvonalat követünk, amelynek segítségével jósolhatóvá válunk. Meglepő az is, hogy a jósolhatóság szempontjából milyen kis különbségeket találunk az egyének között. Jómagam rendkívül rendszeres életet élek, ezért egyáltalán nem meglepő az, hogy jósolható vagyok. Ha valaki vet egy pillantást az én néhány hét alatt kirajzolódó trajektóriámra, akkor pontosan tudni fogja, hogy egy adott időpontban hol leszek Bos-

tonban. De úgy képzeltem, hogy a szomszéd lány, akinek karika van az orrában, és néha hazajön este, néha pedig nem jön haza, nem lesz megjósolható. Vagy hogy a taxisofőr mozgása sem lesz előre látható. Valójában, számunkra is megdöbbentő módon, azt láttuk, hogy minden egyének a jósolhatósága ebben a nagyon szűk intervallumban mozog, 0,85 és 1 között.

Egy MIT-en dolgozó kollégám, Alex `Sandy' Pentland elkezdte mérni az MIT diákjait. Úgy gondoljuk, hogy ha valaki spontán, akkor a diákok azok. Ők robbantják ki a forradalmakat, tőlük származnak az újítások, az új gondolatok, az új divatok. A mérés viszont azt mutatta, hogy az MIT-es diákok jósolhatósága 90–95 százalékos pontossággal működött.

Láthatjuk tehát, hogy ebből a szempontból valamennyien rendkívül szabályosak vagyunk. Ez nem azt jelenti, hogy nincsen szabad akaratunk, hanem azt, hogy nem élünk vele. Mindenkinek megvan a joga, hogy akármikor véget ér az előadás, azt mondja: én most nem megyek haza, inkább elmegyek csövezni a Lánchíd alá, vagy kirohanok a repülőtérre, és a legelső járatral elrepülök, akárhova. De garantálom, hogy senki sem fog így tenni. Más kérdés, hogy többnyire csak arra emlékezünk, amikor eltérünk a tipikus viselkedésünktől. Senki sem emlékszik arra, hogy tegnap háromkor az irodájában volt, tegnapelőtt háromkor szintén az irodájában volt, tegnapelőtt meg azelőtt háromkor szintén az irodájában volt... Arra sokkal jobban emlékszünk, amikor eltérünk a rutintól. Ebből a szempontból valóban nagyon csalóka a memóriánk. Az az időintervallum, amikor valóban eltérünk a tipikus viselkedésünktől, nagyon kicsi, mindössze 7%. A fennmaradó időben pedig messzemenően megjósolhatóak vagyunk.

Egy példa a felhasználásra: a vírusok terjedésének előrejelzése

■ Miért hasznosak ezek a kutatások? Az emberi jósolhatóságnak és a mozgás megértésének számtalan alkalmazása lehetséges. Ezek közül én csak egyet mutatok be: a vírusos betegségek terjedésének problémáját. Gondoljunk a H1N1 vírusra. Tudjuk, hogy bár nagy hírverés övezte, és nagyon ijesztőnek tűnt, szerencsére végül elég gyenge vírusnak bizonyult, legalábbis abból a szempontból, hogy kevesebb haláleset tulajdonítható neki, mint egy tipikus influenzának. Kevesen tudják azonban, hogy ez volt az első olyan járvány, amelyet rendkívüli pontossággal lehetett jósolni. Alessandro Vespignani 2009 tavaszán publikálta a vírus világszintű terjedésére vonatkozó előrejelzéseit. [...] Ahogy a betegség Mexikóból indul, majd városról városra terjed. Az előrejelzés nagyon pontos volt. Vespignani minden város esetében megbecsülte, hogy hetente hány ember fog megbetegedni, és a jóslata 10-20 megbetegedés pontossággal be is vált. Azt is megjósolta, hogy a járvány októberben fogja elérni a csúcspontját, és utána le fog csengeni, és bármilyen meglepő, de ebben is igaza lett. Mindenki azt várta ugyanis, hogy januárban tetőzik majd ez a járvány is, mint általában az influenzajárványok. Az előrejelzés azért is nagy vihart kavart, mert tudni lehetett, hogy a vakcina csak novemberre készül el, vagyis a jóslás szerint túl későn – ami be is igazolódott. Vespignani a repülőgép-járatok adatait használta fel, kizárólag az emberi mozgásra alapozott, arra, hogy az emberi mozgás igen szabályos.

Az ilyen előrejelzéseknek azért nagy a jelentősége, mert ha megjelenne egy olyan vírus, amely sokkal veszélyesebb, mint a H1N1, sőt akár halálos fenyegetést is jelenthet, akkor a vírusok manapság tapasztalható terjedési sebességét figyelembe véve reménytelen lenne védőoltásokkal vagy valamilyen orvossággal megállítani. Egyszerűen nem volna rá idő, hiszen egy vakcina kifejlesztése hónapokba, évekbe telhet. A társadalom egyedüli esélye az volna, ha megállítja a járványt. Ehhez pedig nagyon

pontosan meg kell jósolni, hogyan fog terjedni, és ki kell találni, hogy mely intézkedések lehetnek eredményesek, és melyek nem. A H1N1 példájánál maradva: a repülőjáratok felére csökkentése egyáltalán nem volna eredményes a megállításában, csak eltolná a betegségek megjelenését körülbelül két héttel, de ugyanannyi ember fertőződne meg, mint járatritkítás nélkül. Tehát a döntéshozás szempontjából rendkívül fontos, hogy megértsük a vírusok terjedését. Ez manapság már tudományos precizitással jelezhető előre.

Úton a szeszélyes emberi viselkedés modelljei felé

■ Az utolsó alapvető kérdés az, hogy hol van az emberi viselkedés jóslhatóságának határa. Ennek megértéséhez egy közismert példát idézek: az időjárás előrejelzését. Manapság mindannyian figyeljük a meteorológiai jelentéseket, és hiszünk a jóslatoknak. Ebben az esetben is igaz, hogy a memóriánk megcsal minket: sokkal jobban emlékszünk arra, amikor az előrejelzés téves volt. Manapság az időjárást a következő napra 90-95 százalékos pontossággal jelzik előre, az 5-6. napon az előrejelzés pontossága 50 százalék alá esik, és körülbelül a 19. napon éri el az úgynevezett kaotikus határt, amikor lényegében már jóslhatatlanná válik az időjárás.

A módszeres időjárás-előrejelzés Londonban született, a számítógépek előtti időkben. Több mint száz évvel ezelőtt az angolok, akiket köztudomásúlag mindig is nagyon érdekelt ez a téma, mindennap összegyűjtötték az ország egész területéről az időjárás adatokat: hogy mekkora a légnyomás, a hőmérséklet, milyenek a szélviszonyok. Minden reggel készítettek egy nagy térképet az országról, a meteorológusok pedig körülülték, és elkezdtek azon gondolkodni, hogy mikor láttak ehhez hasonló térképet. Aztán valakinek eszébe jutott, hogy három évvel és két hónappal ezelőtt is pont ilyen volt a térkép, akkor elrohantak az archívumba, előhozták azt régi a térképet, megnézték, hogy valóban egyezik-e. Ha egyezett, akkor tudták, hogy a másnapi időjárás olyan lesz, mint a három évvel és két hónappal ezelőtti térkép készítése után egy nappal. A módszer remekül működött, tudniillik az időjárásnak valóban van egy determinisztikus eleme. De az is igaz, hogy nem volt annyira pontos, mint a mai számítógépes előrejelzések.

Az időjárás tudományos előrejelzésének alapjait Lewis Fry Richardson fektette le, aki az 1920-as években felismerte, hogy az időjárás tulajdonképpen nem más, mint légmozgás, amely a folyadékelmélettel leírható. Richardson két éven át mindennap kiszámolta a reggel 7 órai összes angliai adat alapján az ugyanaznap délután 1 órára szóló előrejelzést, majd könyv formájában publikálta az eredményt. Az eredményt, amely katasztrofális volt. Olyan nyomás- és hőmérséklet-változásokat jósolt, amelyeket Angliában soha nem mértek. Pedig a matematika, amelyet alkalmazott, adekvát volt. Akkor vajon miért nem sikerült mégsem megjósolnia az időjárást?

Azért, mert a jó előrejelzéshez három komponensre van szükség. Az egyik a mechanizmusok helyes értelmezése: kell egy elmélet, egy modell, amely sikeresen írja le a jelenséget. Ez Richardson rendelkezésére állt a 19. században született folyadékelmélet formájában. A második komponens a nagy mennyiségű, pontos adat jelenti. Az időjárás esetében ennek a lehetősége csak akkor érkezett el, amikor a műholdas és a felszíni mérések elérték azt a kritikus tömeget, amely már elegendő információt szolgáltat ahhoz, hogy valóban értsük a pillanatnyi időjárást. A harmadik és egyben legfontosabb komponens pedig a számítógépes kapacitás, mely valós időben képes az adatokat feldolgozni – így az eredmény nem az előre jelzendő időjárás után két nappal érkezik meg. Az időjárás előrejelzése tehát csak akkor vált lehetségessé, amikor Neumann János elkészítette az első szá-

mítógépet. Neumann személyesen gyűjtött össze egy meteorológusokból álló kutatócsoportot az időjárás előrejelzésére. Az ő hatására vette meg az Amerikai Meteorológiai Intézet az első számítógépét, és lényegében így vált az időjárás előrejelzése tudománnyá.

Az emberi viselkedés vonatkozásában nagy kérdés, hogy el tudunk-e jutni ide. Tekintsük át ezt a három kritériumot ebben a vonatkozásban is. Az emberi viselkedés esetében a 21. században az elektronikus eszközöknek – a mobiltelefonnak, az internetnek, a Facebooknak és a rengeteg más eszköznek – köszönhetően megszülettek azok az adatbázisok, amelyek segítségével fel lehet mérni a jelenkori állapotot, és pontosan meg lehet határozni, hogy ki mit csinál aktuálisan. Megszületett a *cloud computing* is, ez az óriási számítógépes kapacitás és technológia, amelyet a Google és a Facebook is használ. Lehetőségünk nyílik tehát arra, hogy tizedmásodperceken belül végigfussunk egy óriási adatbázison, és választ kapjunk kérdéseinkre. Gondoljunk bele: a Google egy tizedmásodperc alatt át tud nézni 4 milliárd oldalt, és meg tudja keresni azt, amelyikre szükségünk van. Tehát az adatmennyiség és az óriási számítógépes kapacitás rendelkezésünkre áll. Ami még hiányzik, az a modell és az elmélet.

