

Vicsek Tamás

Leírható-e egyenletekkel az embertömegek viselkedése?

A szociális csoportokban fellépő kollektív jelenségek statisztikus fizikai leírása

A kollektív emberi viselkedés értelmezése a társadalomtudományok számára nagy kihívást jelent. Jelen cikkünkben ennek a problémának egy új – a statisztikus fizika egzakt módszerein alapuló – megközelítését tárgyaljuk. Bemutatjuk, hogy azokban az esetekben, amikor egy csoport tagjai között az együttműködés viszonylag jól meghatározott (például a gyalogosforgalom, szegregáció, vastaps, pánik esetében), a megfelelő numerikus modellek segítségével megvilágítható a megfigyelt jelenségek lényege. A modellek számítógépes szimulációja az alábbi előnyökkel rendelkezik: a) a paraméterek változtatásával a különböző helyzetek egyszerűen modellezhetőek, b) előre jelezhető egy beavatkozás eredménye, c) az optimális végeredményre vezető feltételek hatékonyabban tervezhetőek. A lehetséges alkalmazásokon kívül megközelítésünk mélyebb bepillantást nyújt azoknak a mechanizmusoknak a részleteibe, amelyek a szociális csoportokban előforduló néhány kollektív jelenséget meghatározzák.

Motiváció

- Az emberiség sikeres technológiai fejlődési periódust él át. Ez a korszak a különböző fizikai és kémiai folyamatok mélyebb megértését lehetővé tevő tudományos fejlődés eredménye. Az elért nagyszerű eredmények után most egyre inkább nő az érdeklődés aziránt, hogy pontosabban megértsük a társadalomban lejátszódó főbb folyamatokat irányító mechanizmusokat is. Egyre nyilvánvalóbb, hogy az emberi viselkedés tanulmányozása kapcsán is szükség van a természettudományok terén megszokott, szilárd alapokon nyugvó, reprodukálható eredményekre.
- Az információ és a közlekedési technológiák forradalma az emberek egyre nagyobb tömegeit hozza közel egymáshoz (fizikailag vagy távközlés segítségével). Sokféle, részben új típusú csoportosulás jön létre, ilyenek például az internetes „chat” csoportok vagy a különböző koncerteken, sporteseményeken, pályaudvarokon, esetleg tüntetéseken összegyűlt nagy tömegek.

- Mivel ezek a spontán közösségek viszonylag egyszerű példák emberi csoportok kialakulására, jól tanulmányozható tárgyait képezhetik a társadalmi mechanizmusok vizsgálatának.
- A különböző tudományágak közül a szociológia vagy a szociálpszichológia a fő jelölt az embercsoportok viselkedésével kapcsolatos kérdések feltárására. Ugyanakkor a mai szociológia számos problémával küszködik: a vezető elméletek többségét erősen kritizálják, a szociológia előrejelzéseit megkérdőjelezzik és egyáltalán nem nyilvánvaló, hogy a szociológiai vizsgálatok eredményei képesek-e lényegesen hozzájárulni az életminőség javulásához. Másfelől, az embertömegek viselkedésének leírása, analízise a szociológia viszonylag jól körülhatárolt területe, és az elmúlt évszázad során sok fontos, elsősorban kvalitatív felismeréshez vezetett [1–3]. Bár a szociológiai jelenségek kvantitatív megközelítéssel történő tanulmányozása széles körben elterjedt, ezek a módszerek tipikusan nem lépnek túl a létező adatbázisok és a kérdőívek segítségével összegyűjtött nagy adathalmazok statisztikai kiértékelésén.
- Az embertömegek viselkedését túlnyomóan a politikusok szeretik értelmezni és hangolni. Az információ-technológiai forradalomnak köszönhetően megnövekedett annak lehetősége, hogy az emberek viselkedését nagymértékben befolyásolják. A tömegek manipulációjának bonyolult technológiáit dolgozták ki. Az emberek befolyásolását általában nagy gyanakvás kíséri, bár az nyilvánvalóan jó és rossz eredményre is vezethet.
- Egyrészt ezek a fejlemények bizalmatlanságot keltenek a vezető társadalomtudósok és politikusok által képviselt elméletek/vélemények iránt. Másrészt az a tény, hogy az embertömegek manipulálhatók, növeli az elvárást és érzékenységet ezekkel a módszerekkel kapcsolatban.

Következésképpen, nő az egyetértés arra vonatkozólag, hogy az emberi viselkedés leírására használt jelenlegi módszereket meg kellene haladni. Egy lehetséges fejlődési irány a megközelítések *kvalitatívabbá tétele* úgy, hogy a megfigyelt jelenség magyarázatának szubjektivitását minimalizáljuk.

Nagyon nehéz azonban a tömeges viselkedést olyan kísérletek segítségével vizsgálni, amelyeket hagyományosan bármilyen jelenségről nyerhető megbízható információ fő forrásának tartanak. A kollektív emberi viselkedésre vonatkozó kísérlet emberek százainak és ezreinek jól irányítható körülmények közötti ismételt megfigyelését jelentené, amely csak rendkívül nehezen kivitelezhető.

Nyilvánvaló, hogy a természettudományban kifejlesztett módszerek lényegesen kevesebb szubjektív elemet tartalmaznak, mint azok, amelyeket általában az emberi viselkedés magyarázatára használnak. Ha az egzaktabb megközelítést társadalmi helyzetekre is alkalmazhatóvá tesszük, akkor képessé válik a kívánt objektivitás (reprodukálhatóság, előrejelezhetőség) biztosítására. Mivel emberek nagy csoportjának viselkedését vizsgáljuk, a statisztikus fizika természetes ötletként merül fel, mint egy lehetséges, jól alkalmazható tudományág. A továbbiakban bemutatásra kerülő megközelítés nagyon friss. Az utóbbi években tett erőfeszítéseink kívül [4–12] néhány más csoport is elkezdett hasonló irányú kutatásokat. Például egy londoni kis cég a rendőrség számára végez emberi tömeg szimulációkat [13]. A hollandiai Groningenben egy szociológiai professzor a diákjaival számítógépes programokat fejleszt utcai zavargások modellezésére [14].

A sok hasonló részecske tudománya

- A *statisztikus fizika* mint tudományág a sok egymással kölcsönható, egyszerű és hasonló objektumot (egységet) tartalmazó rendszerek tulajdonságaival foglalkozik.
- Ebben az összefüggésben az *egyszerű* azt jelenti, hogy az objektumok közötti kölcsönhatás az, ami a rendszer egészének viselkedése szempontjából döntő. Az egyes objektumok belsejében lejátszódó folyamatok elhanyagolhatóak a teljes rendszer viselkedés-

sének vizsgálatakor. Ez a kölcsönhatás viszonylag jól meghatározott (az egyes objektumpárok között) és nem túl bonyolult.

- Az ilyen objektumok elnevezésére a *részecske* szót használják.
- Az utóbbi két és fél évtizedben a statisztikus fizikában áttörés történt és elméletileg megalapozták azt az elvet, hogy a sok hasonló részecske kollektív viselkedése számos univerzális jellemzővel, tulajdonsággal rendelkezik. *Univerzális* abban az értelemben, hogy a kölcsönhatás részletei nem változtatják meg az adott a tulajdonságot.
- Más szóval, annak a ténynek következtében, hogy a részecskék közötti, különböző eredetű eltérések a részecskék nagy tömegére kiátlagolódnak, a rendszer viselkedésében felismerhető néhány tipikus viselkedési minta. Megfelelő átalakítás vagy átskalázás segítségével sok különböző modell egymásra vetíthető, vagyis alapvetően azonos módon viselkedik. Az, hogy a modellek bizonyos osztálya azonos típusú állapotokba kerül, mutatja az azonos típusú átmeneteket és leírható ugyanazzal a „*fázisdiagramma*”, amely a megfelelő állapotokat valamilyen kontroll paraméterek függvényében ábrázolja. A módszerek ilyen osztályát *univerzálitási osztálynak* nevezzük, mivel ezen modellek bármelyike azonos típusú univerzális viselkedést (azonos jelenséget) mutat. Következésképp, általában az univerzálitási osztály tulajdonságaival rendelkező leg-egyszerűbb modellt igyekszünk megtalálni. A fizikusok ezt minimális modellnek, prototipikus modellnek vagy játék modellnek nevezik, a matematikusok pedig a megfelelő matematikai egyenleteket normál alaknak nevezik. A teljesen különböző — fizikai, biológiai vagy szociális — rendszerekben lejátszódó jelenségek összehasonlítására használt rendszerelmélet sikere ebben az univerzális viselkedésben rejlik. Mivel azonban ezek a rendszerek különböző egységekből jönnek létre és az azok közötti kölcsönhatás egymástól igen eltérő lehet, nem mindig egyszerű a dinamika mögött a változók és paraméterek azonosítása.
- Ezeket a jelenségeket a statisztikus fizika módszereivel nagyon hatékonyan tanulmányozhatjuk. A megfelelő elméleti és numerikus megközelítések megbízható és sokszor pontos leírását adják a sok részecskéből álló rendszerekben lejátszódó folyamatoknak.

Alapfeltevések

Fontos kiinduló pontunk, hogy bizonyos feltételek mellett a nagy embercsoportokat tekinthetjük részecskék halmazának, mivel léteznek különböző olyan helyzetek, amelyekben az emberek közötti kölcsönhatás elég jól meghatározott (például egy folyosón két egymás felé tartó ember el fogja kerülni egymást éppen úgy, mintha taszító erő lépett volna fel közöttük).

Bár a társadalom és gazdaság világában számos önszerveződő jelenség lép fel, sok ember úgy hiszi, hogy a jelenséget leíró dinamika túlságosan bonyolult ahhoz, hogy matematikailag modellezhető legyen. A hiedelem mögött többféle ok rejtőzhet: nagyszámú olyan változó fordulhat elő, amelyeket nem lehet mennyiségileg leírni, valamint ilyen a döntéshozatal feltételezett szabadsága vagy a társadalmi-gazdasági rendszerekben fellépő nagy fluktuációk megléte. Sok esetben azonban a rendszert alkotó élő egységek valamilyen (többé-kevésbé) optimális viselkedést választanak, amely egy bizonyos mértékig megjósolhatóvá teszi ezeket a rendszereket (gondoljunk a választások megközelítő kimenetelére vonatkozó prognózisokra). Még inkább ez az eset áll fenn, ha a viselkedés bizonyos korlátok között mehet csak végbe, például a gyalogos- vagy járműforgalomban. Miközben a gyalogosok vagy járművek szabadon haladhatnak kis sűrűségű forgalomban, nagy sűrűség esetén a másokkal és az út határaival fellépő kölcsönhatások a mozgási viselkedés egy kis spektrumára korlátozzák őket. Következésképp, az empirikus közlekedési dinamika meglepő módon jól reprodukálható lesz szimulációs modellek segítségével.

Módszerek

A statisztikus fizika módszerei a bonyolult rendszerek különböző megközelítését meglepően jól képesek reprodukálni. Az utóbbi két évtizedben talán a legsikeresebb megközelítésnek a számítógépes szimulációk bizonyultak. Az ilyen vizsgálatokban egy olyan egyszerű modellt konstruálnak, amelyről feltételezik, hogy a tanulmányozott rendszer leglényesebb jellemzőit képes megragadni. Ekkor az algoritmust a számítógépen futtatva a paraméterek változtatásával a kollektív jelenségek sok változata válik megfigyelhetővé. A modell jóságát aztán az előrejelzéseinek a valódi rendszer viselkedésével történő összehasonlítása fogja eldönteni.

A számítógépes szimulációk, ahogy azt fentebb említettük, nagy előnnyel rendelkeznek a közvetlen kísérletekhez képest, mivel ez utóbbiak megvalósítása nagy embertömegek esetén nehezen kivitelezhető alternatíva.

A kölcsönhatások típusai

Számos lehetséges kölcsönhatás-fajta létezik, többségük azonban néhány tipikus osztályba sorolható.

Térbeli kölcsönhatások

- Vonzás (A két részecskéhez rendelhető erő egymáshoz közelebb igyekszik hozni őket. A részecskék csoportosulása, vagy másképpen aggregációja spontán kialakul.)
- Taszítás (A két részecskéhez rendelhető erő eltávolítja őket egymástól. A létező csoportok eltűnnek.)
- Irány szerinti igazodás (A hozzájuk rendelt „ferromágneses” erő eredményeként a részecskék iránya/irányultsága azonos lesz. Itt a részecskék lehetnek aszimmetrikusak és mutathatnak egy megadott irányba vagy egyszerűen mozoghatnak az adott irányba. A részecskék „csapatái” koherensen azonos irányba mozognak.)

Viselkedési kölcsönhatások

- Csorda hatás (Az ide tartozó kölcsönhatás eredménye mások viselkedési mintájának gyors elfogadása. A pánik erre egy példa.)
- Szinkronizáció (Az ilyen kölcsönhatás eredménye a viselkedési minta szinkronizációja nem feltétlenül térbeli változás formájában. Erre példa egy periodikus hang típusú jel szinkronizációja, például a tapsé.)

Külső eredetű (kölcsön)hatások

- A határok korlátozhatják a térbeli viselkedést (például egy folyosó falai).
- Külső hajtóerő (például erős „szél” egy kívülről meghatározott irányba hajthatja, befolyásolhatja a részecskéket).

Véletlen (kölcsön)hatások

- A fluktuáló hatások tipikusan idetartoznak. Ez a fajta hatás gyakran felelős lehet a különböző rendszerekben fellépő idő- és térbeli változásokért (például egy személy reakciója — az adott személy pillanatnyi szellemi/fizikai állapotától függően — megváltozhat, ha a rá ható külső inger ingadozása megnő).

Különböző típusú részecskék között fellépő kölcsönhatások

Sok esetben a rendszerben jól definiálható különböző csoportok vannak. Például az X csoport tagjai vonzhatják egymást, miközben taszítják az Y csoportba tartozó részecskéket. Az Y csoport részecskéi vonzhatják vagy taszítják egymást. (Példa erre egy különböző töltésű részecskéket tartalmazó rendszer, de az emberek esetében ennek a kölcsönhatásnak alapja lehet a szimpátia, illetve ellenszenv, vagy annak a valószínűsége, hogy a másik csoport tagjával kapcsolatba kerülve nyerünk vagy veszünk).

Összetett kölcsönhatások

A fenti esetek kombinációja más további természetes kölcsönhatásokkal gazdag viselkedési formák nagy változatosságát hozza létre.

Példa lehet erre egy irány szerinti kölcsönhatással bíró részecskéket tartalmazó rendszer, amelyben néhány kívülről irányított részecske is van. Tekintsünk egy kis nyilakból (például kis mágnesekből) álló rendszert, amelyek azonos irányba hajlamosak mutatni. Tegyük fel, hogy egy kis fluktuáció lép fel. Eredetileg két eset különböztethető meg: a) a nyilaknak sikerül egy véletlenül kiválasztott közös irányt találniuk, és mindegyikük bizonyos kis fluktuációval ebbe az irányba mutat. b) a fluktuációk túl nagyok ennek az állapotnak a kezelésére, és az idő legnagyobb részében a nyilak majdnem teljesen véletlen irányokba mutatnak.

A modell módosításával a helyzet megváltoztatható. Képzeljük el, hogy bevezetünk kívülről jól definiált irányba mutató nyilakat. Nagy esélyünk lesz rá, hogy ez a perturbáció mindkét esetet módosítja. Az a) eset úgy változhat, hogy egy idő eltelte után a nyilak az előírt irányba mutatnak majd (a véletlenül választott irány helyett), míg a b) esetben lehetséges, hogy az irány szerint rendezett néhány nyíl bevezetésével az egész rendszer rendezett állapotba kerül (a rendezetlen helyett).

Köznapin nyelven ez azt jelenti, hogyha az emberek egy csoportja egy megadott módon kezd viselkedni (például mindegyik azonos irányba néz), akkor valószínűleg a többiek követni fogják viselkedésüket. A fő ötlet ebben az (amint azt már fentebb is megjegyeztük), hogy mindezek a jelenségek a statisztikus fizika eszközeivel kezelhetők.

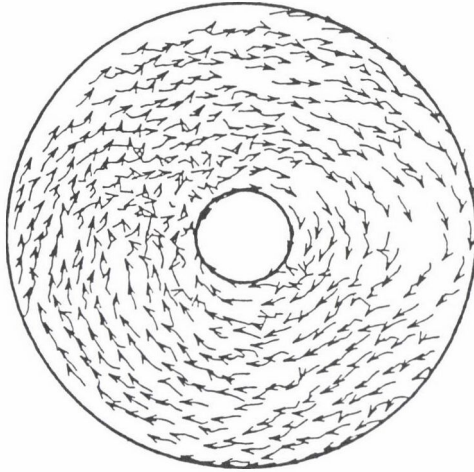
Példák (esettanulmányok)

Az általános bevezető megjegyzések után vizsgáljunk meg néhány, a fenti vonásokat mutató, jellemző példát. Azt reméljük, hogy az egyes példák tanulmányozása és ezzel egyidejű általános absztrakciója segítségével eljuthatunk a kollektív emberi viselkedés elméleti leírásához.

1. példa: Emberek mozgása térben körülhatárolt helyeken

Itt először azzal az általánosabb kérdéssel foglalkozunk, hogy vannak-e a lokális mozgásnak globális, esetleg univerzális vonásai (felismerhetők-e tipikus változások a mozgás formájában). Ilyen viselkedés fordul elő, mikor sok organizmus egyidejűleg mozog és változnak olyan paraméterek, mint a perturbáció szintje vagy az egyének közötti átlagos távolság.

A különböző organizmusok kollektív mozgása (például madárrajoké) nagyon általános jelenség. Az esztétikai szempontokon túl a kollektív mozgás tanulmányozásának érdekes alkalmazásai is lehetnek: egy óriási tengeri halraj úszási mintázatának jobb megértése hasznos lehet a halászási stratégiák kidolgozásánál vagy az embertömegek mozgásának modellezése segítheti a várostervezőket.



1. ábra

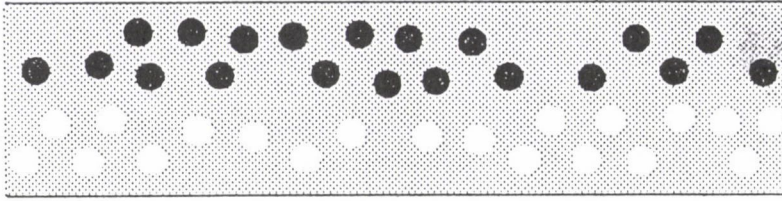
Részecskék kollektív mozgása kör alakú tartományban. A szimuláció véletlen helyzetekből véletlen irányokba mozgó részecskékkal kezdődik. Ha a részecskéket szomszédaik követésére kényszerítjük, akkor egy idő eltelte után spontán módon egy koherens típusú forgó mozgás alakul ki a rendszerben. Analóg mozgásformát figyelhetünk meg forgó baktériumkolóniák, medencében úszkáló halcsapat, sőt még emberek esetén is (például Mekkában a Kába kő körül).

Ha a mozgó részecskék alávetik magukat a „kövesd a többieket” szabálynak, akkor az egyetlen stabil mozgás csak az összes objektum egy középpont körüli egyidejű forgása lehet [6]. Érdekes, hogy bizonyos feltételek mellett még az emberek csoportjai is az egyszerű modell által megjósolt módon viselkednek. Valóban, Mekkában minden évben emberek ezrei köröznék a Kába kő körül, amint egyszerre próbálnak mozogni és másokkal nem összeütközni egy zárt térségen.

C) A következőkben folyosón egymással ellentétes irányba mozgó gyalogosokat vizsgálunk. A folyosó legyen széles (néhányszor szélesebb, mint egy ember átmérője). Feltesszük, hogy a járókelők fele balról jobbra, a többiek pedig ellenkező irányba mozognak. Az adott modellben az is feltétel, hogy a részecskék állandó sebességgel haladnak a kívánt irányba és egy taszító erő miatt kerülnek ki egymást [7,8].

Ezt az egyszerű modellt szimulálva a megfigyelt emberi viselkedést meglepően jól reprodukálhatjuk. Ellentétes irányba mozgó részecskék tömegében megfigyelhetjük az azonos irányba haladók ösvényeinek spontán kialakulását. Nyilvánvaló, hogy az utacsák képződése maximalizálja a kívánt mozgási irányba tartók átlagsebességét, és segítségével mérhető a mozgás „hatékonysága” és „sikeressége”. Megjegyezzük, hogy az útvonalak kialakulása ennek a modellnek speciális következménye, és nem mindig lép fel ellenkező irányba tartó gyalogosoknál. Részletesebben, az ösvények kialakulását a következőképpen érthetjük meg: Az egymással ellentétesen haladó gyalogosok között gyakoriak és erősek lesznek a kölcsönhatások. Minden kölcsönhatásban a találkozó gyalogosok kicsit odébb mozdulnak, hogy egymás mellett elhaladhassanak. Ez az oldalirányú mozgás választja el az ellenkező irányba mozgó gyalogosokat. Ezen felül, ha már egyszer az azonos irányba közlekedők útvonala kialakult, akkor nagyon ritka és gyenge kölcsönhatásokban lesz részük az ott haladóknak. Így az a tendencia, hogy a kialakult utacsákától eltérjünk, elhanyagolható lesz. Továbbá a legstabilabb konfigurációnak a minimális kölcsönhatású

állapot felel meg [6]. Ezért az ösvények kialakulása, valamint a minimális kölcsönhatás, valójában ugyanannak az éremnek a két oldala.



2. ábra

Azonos irányba (feketék balra, fehérek jobbra) tartó részecskék útvonalának spontán kialakulása. Ehhez nagyon hasonló szétválási (szegregációs) jelenség figyelhető meg egy folyosó mentén, ahol emberek ellenkező irányba közlekednek.

D) Itt most nem tárgyaljuk (mert egy már kialakult, nagy terület) a közlekedési modellek kérdéskörét, amely szintén nagyon közel állnak témánkhoz. Az országúti közlekedésben rengeteg kollektív jelenség (dugó, szinkronizált mozgás stb.) fordul elő, amely sikeresen vizsgálható vezetők és autók modelljeinek numerikus szimulációja segítségével.

2. példa: Különböző típusú emberek szétválasztása, szegregációja

Tekintsünk a szegregációra egy egyszerű modellt [9]. Használjunk egy periodikus rácsot I rácsponttal $x \in \{1, \dots, I\}$ és két populációt $\{a, b\}$ összesen $N = N_1 + N_2 < I$ egyeddel. A $t = 0$ időpontban az egyedek kezdeti megoszlása véletlen. Aztán a $t + 1$ időpontban az alábbi ismételt alkalmazott lépések határozzák meg az egyedek megoszlását:

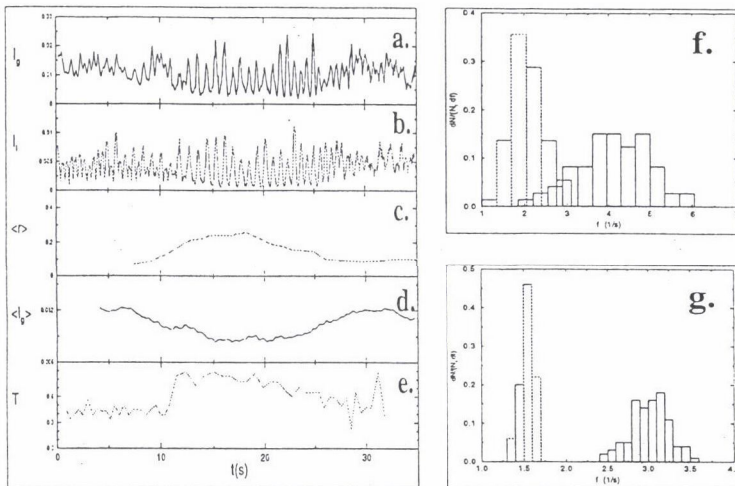
- Számítsuk ki az S mennyiséget (egy adott formula szerint), amelyben szerepel $n_{x^b}(t) = p_b(x, t) I$, ami b populáció egyedeinek száma az x helyen. Itt a sikerességnek nevezett S mennyiség olyan szám, amely megfelel annak az előnynek, amit két részecske a kölcsönhatásból nyerhet, esetünkben abból, hogy azonos helyzetben vannak (ha S negatív, az veszteséget jelent).
- Minden a egyedre határozzunk meg egy η_a véletlen számot, amely a $[0, S_{max}]$ intervallumban egyenletes eloszlású, ahol S_{max} legyen egy nagy konstans érték (az ábrákon $S_{max} = 20$).
- Mozgassuk az a populációhoz tartozó a egyedet az x helyről az $x + 1$ helyre, ha $c(x + 1, t) [S_a(x + 1, t) - S_a(x - 1, t)] > \eta_a(t)$, illetve az $x - 1$ helyre, ha $c(x - 1, t) [S_a(x - 1, t) - S_a(x + 1, t)] > \eta_a(t)$. Azokban az esetekben, ahol a várt sikeresség becslésében hibákat tételeztünk fel, ott az $S_a(x, t)$ helyett $S_a(x, t) + \xi_a(t)$, ahol a $\xi_a(t)$ valamilyen valószínűségi eloszlás szerint generált véletlen érték. A legésszerűbb véletlen szekvenciális újraszámolási szabályt alkalmaztuk.

Ebből a modelltől különböző realiztikus helyzetek állíthatók elő, amelyek segítségével számos szegregációs jelenség mennyiségileg vizsgálható. Az S_{aa} , $S_{ab} = S_{ba}$ és S_{bb} értékektől függően a következő eseteket kapjuk: a) mindkét populáció homogén elterjedésű (nincs szétválás, szegregáció); b) a két populáció szétválék egymás melletti kis csoportokra; c) a populációk különböző rácshelyekre válnak szét úgy, hogy a kis szétvált csoportok között nincs üres tartomány; d) a populációk mindkét eredeti populáció tagjait tartalmazó külön kis csoportokra oszlanak szét, végül, mindkét populáció minden tagja ugyanazon a helyen gyűlik össze.

3. példa: Ritmikus taps és a hozzákapcsolódó szinkronizációs jelenségek

Egy jó előadáson a hallgatóság tapsolásának típusával és erősségével fejezi ki tetszését. A kezdeti folyamatos taps gyakran alakul át vastapsá (szinkronizált tapsolássá), amely a hangverseny-látogatók számára ismerős esemény. A vastaps kialakulásának jól definiálható menete van: a kezdeti erős, inkoherens tapsot egy viszonylag hirtelen szinkronizálási folyamat követi, amely után mindenki egyidejűleg és periodikusan tapsol. A jelenség a társadalmi önszerveződés pompás példája, és a természetben megfigyelt számos szinkronizációs folyamat embereknél előforduló változata.

A fenti folyamatról magnetofonfelvételt készíthetünk és azt a fizikában szokásos technikák segítségével analizálhatjuk [10]. Az analízis különböző érdekes vonásokat tár fel: amikor a szinkronizáció megjelenik, spontán kialakul egy perióduskettőződés (egy néző természetes tapsolási periódusához képest). Más szóval, egy kezdeti szinkronizálatlan fázis után, amelyet magas frekvenciájú (I. típus) taps jellemez, az egyének tapsukat szinkronizálják, minden második ütem kihagyásával hirtelen átváltak egy megkettőzött periódusú (II. típusú) tapsra, amelyre a szórás (a tapsolási frekvenciák relatív különbsége) kisebb. A periodikusan viselkedő globálisan összekapcsolt csoportokra kidolgozott statisztikai elméleteket felhasználhatjuk annak demonstrálására, hogy a szinkronizálás kialakulásának szükséges feltétele, hogy a szórás egy kritikus értéknél kisebb. Következésképpen, kiderül, hogy a perióduskettőződés lesz a szinkronizálódás feltétele, mivel ez olyan lassabb tapsolási módokra vezet, amely alatt lényegesen kisebb szórás érhető el. Így, a mérések kiértékelése a szinkronizált tapsolás (vastaps) mechanizmusához vezető utat tárja fel: gyors tapsolási szinkronizáció nem lehetséges a tapsolási frekvenciák nagy szórása miatt. A perióduskettőződés után, amint a kis szórású II. típusú tapsolás megjelenik, a szinkronizáció elérhető és el is érik azt. Ahogy azonban a hallgatóság az átlagos hangerő növelése céljából fokozatosan csökkenti a periódust, fokozatosan visszatér a nagy szórással járó, gyors tapsolási módra és ezzel elrontja a szinkronizációt.



3.ábra

A szinkronizáció megjelenése tapsolás esetén. (a) A globális hangerő az idő függvényében. A digitalizált adatokat négyzetre emeltük és mozgó átlagolást hajtottunk végre 0,2 s méretű ablakkal, amely lényegesen kisebb a tapsolási periódusnál. Az ábra egy jellemző tartományt mutat be a szinkronizált taps (vastaps) létrejöttékor és eltűnésekor. (b) Egy néző közelében elrejtett mikrofonnal mért lokális zajintenzitás. (c) A rendparaméter, a ρ , a $\langle \rho \rangle$ jel és egy harmonikus függvény normalizált korrelációjának maximuma. (d) Az átlagos

átlagos hangerő, amelyet az a) ábrán mutatott globális hangerőből 3s méretű ablak felhasználásával, mozgó átlagot képezve számítottunk ki. (e) A tapsolási periódus, amely a nyilvánvalóan megkülönböztethető maximumok közötti intervallum hossza. (f) 73 (egymástól elszigetelt) gimnazista tapsolási frekvenciájának normalizált hisztogramja a tapsolás két típusára, I. típusú (bal oldalon) és II. típusú (jobb oldalon). (g) Egy diák I. és II. típusú tapsolásának normalizált hisztogramja, amelynél a mintavétel 100 alkalommal történt egy hét alatt.

4. példa: Pánik

A pánik a kollektív emberi viselkedés egyik jól ismert példája. A könnyebb közlekedés és a populáció növekedése miatt egyre több ember látogatja a különböző eseményeket. Talán a sportesemények a legjobb példák, de a tüntetések vagy munkaszüneti napokon a bevásárlóközpontok szintén tipikus helyek, ahol nagy a tömeg. A fizikai jelenlétén kívül az embereket más eszközök is összehozzák. Manapság az információ különösen gyors terjedési módjai miatt az emberek nagy csoportja értesülhet valamilyen nem kívánatos fejleményről, amely egy jellemző esete lehet a pánik jellegű események kialakulásának (erre a bankpánik példa).

Szociálpszichológiai tanulmányok megállapították az emberek pánik alatti viselkedésének jellegzetes vonásait. Ezek a vizsgálatok főként egy személy pszichológiai állapotának sajátos változásaival foglalkoztak. Ha azonban meg akarjuk előre mondani a szobán forgó emberek kollektív viselkedésének határozott kimenetelét, akkor a hagyományos leíráson túl kell lépniük és meg kell próbálnunk kiszámítani a tömeg egészének időbeli viselkedését. Az alábbiakban egy ilyen megközelítést tárgyalunk [11].

Az egyik leggyakrabban tanulmányozott helyzet, amikor egy hirtelen, riadalmat keltő információ (például tűzriadó esetén) után zárt térben (terem, bolt, mozi) tartózkodó embereket vizsgálunk. Ezek a feltételek számítógépes modellek segítségével jól vizsgálhatóak. Az itt leírt modell szoros kapcsolatban áll az 1. példában leírtakkal. A modell azt a helyzetet értelmezi, mikor egy sötét (füstös) szobából nem ismert előre a menekülési útvonal.

Az embereket reprezentáló részecskéket véletlen módon egy olyan szoba alakú tartományon helyezzük el, amelynek egyetlen ajtaja van, ahol a részecskék kiléphetnek. Minden egyes részecske mozgásának kezdeti irányát véletlenszerűen választjuk. Az egyes részecskék mozgását a következő tényezők határozzák meg:

- Minden részecske megpróbál egy jól definiált v_0 sebességgel haladni.
- A mozgás irányát meghatározza a) a szomszédok mozgási iránya, b) egy „pánik paraméter” p , c) egy véletlen perturbáció, valamint d) a szoba falának létezése.
- Ha a p pánikparaméter kicsi, a részecskék hajlamosak a pillanatnyi irányukat tartani. Ha p nagy, akkor feladják önkontrolljukat és hűen követik szomszédaik átlagos irányát. A közbeeső értékekre a részecskék közbeeső irányokat választanak, egyaránt követve másokat, miközben valamilyen mértékig eredeti irányukat tartják.
- A fenti módon kiszámított irányhoz adott mértékű véletlen irányt adunk, mert a véletlenszerűség az emberi döntések jellemzője és a pánik szintjétől is függ.
- Ha a részecske a falhoz érkezik, úgy módosítja irányát, hogy a módosított irányba történő haladáskor ne ütközzön a falba.

Az „ajtónál” (a fal hiányánál) a részecskék elhagyják a szobát.

A fenti modell szimulációiból meglepő következtetéseket vonhatunk le: a) Kis pánik esetén viszonylag hosszú ideig tartott a szoba kiürülése. A részecskék nem lépnek kapcsolatba, megpróbálják eredeti irányukat tartani (amely általában nem mutat közvetlenül a láthatatlan kijárat irányába) és végül az alkalmazott véletlen irányváltozások akkumulált hatása miatt menekülnek csak meg. b) Nagy pánik esetén szintén hosszú ideig tart a megmenekülés. A részecskék szorosan követik egymást és ha a részecskecsoport iránya

nem a helyes irány, akkor a rendszer az a) helyzetbe kerül, de most a teljes csoport próbál a rossz irányba mozogni, korrekció nélkül. c) A közbeeső értékekre azonban a részecskék gyorsabban elhagyják a szobát. Ebben az esetben van hajlandóságuk a többieket követni, de más hatásokra (véletlen, fal) is változtatják irányukat és elfordulnak attól a csoporttól, amelyik tartósan rossz irányba tart. Így csatlakozhatnak ahhoz a részecskecsoporthoz, amelyik sikeresen elhagyja a szimulációs tartományt.

A „pánik” egy közbeeső szintje, vagy más szóval, a tiszta önkontroll és a szomszédok általi irányítás optimális keveréke sokkal hatékonyabb viselkedést eredményez. Ez a csoportok kollektív viselkedésének egyik fontos formája lehet.

5. példa: Az internet önszerveződése

Az internetet használó több millió ember saját szabályokkal és kapcsolatokkal rendelkező speciális közösséget alkot. Itt most csak egy jelenségre kívánunk koncentrálni, a felhasználók honlapjaiból és kapcsolataiból álló hálózat szerkezetére. Különösen annak a gráfnak a statisztikai tulajdonságai érdekelnek bennünket, amelynek csúcspontjai az egyes honlapok, élei pedig a közöttük lévő kapcsolatok, azaz egy adott honlapról más honlapokra mutató hivatkozások, „hyperlink”-ek (ezeket általában kék szín jelzi és az egyik honlap címről (URL) egy másikra úgy juthatunk el, hogy erre a kék színű szövegre kattintunk).

Természetes kérdésként merülhet fel, hogy hány hivatkozás mutat egy adott honlapra. Lesznek olyan honlapok, amelyekre nagyon sok ilyen hivatkozás van (ezek népszerű, sok információt tartalmazó régi honlapok, ilyenek például a „keresők” (search engines, vagy internet újságok stb.). Sokkal több azonban az egyéni felhasználó, akire kevés más honlapról utalnak. Ezeknek a hivatkozásoknak az eloszlása mennyiségileg leírható egy $n(l)$ értékkel, ami azoknak a csúcoknak a száma, amelyre l számú „link” mutat. Például, $n(120) = 15600$ azt jelenti, hogy 15600 olyan csúcs (cím) van, amelyre 120 link mutat.

Lehetséges olyan kis „robotokat” (programokat) konstruálni, amelyek végigbogarásszák az internetet és rögzítik a csúcsok közötti hivatkozások számát. Miután összegyűjtötték az adatokat, egy hisztogram készíthető belőlük. A legújabb vizsgálatok [12] szerint az $n(l)$ mennyiség egy hatványfüggvény lesz, amely arányos az $l^{-2.1}$ hatvánnyal. Más szóval, durván négyszer olyan kevés honlap van, amelyre más honlapokról fele annyian hivatkoznak. Ez egy nagyon speciális eloszlás és a társadalomtudományokban ritkán vizsgálják, de gyakori a statisztikus fizikában (például a folytonos fázisátalakulásokkal kapcsolatban).

A társadalomtudományok a sztochasztikus változók jellemzésére az úgynevezett Gauss-eloszlást használják. A fenti hatványtörvény ettől elég eltérő és a kapcsolatok alapszerkezetére nézve nagyon különböző következtetésekre vezet. Nevezetesen, az a rendszer, amelynek jellemző mennyiségei hatványtörvény szerint csökkennek, nem rendelkezik jól meghatározható skálával, azaz nincsen benne „tipikus” csúcs „tipikus” számú hivatkozással.

Jelen esetben a rendszer skálától (tipikus mérettől) független jellegének eredete az a mód, ahogy létrehozták. Az internet új csúcsok és hivatkozások hozzáadásával állandóan bővül. Egy új csúcsban definiált új hivatkozások elsődlegesen a már népszerű, sokat hivatkozott csúcsokra mutatnak. Az ezeken a feltételezéseken alapuló növekedési modell a fent leírt hatványtörvényt követő statisztikára vezet.

Az internet ilyen vizsgálatának érdekes eredménye, hogy a hozzá kapcsolódó modellek sok másfajta hálózat lényeges vonásaival is rendelkeznek. Például, az üzleti és közlekedési hálózatok hajlamosak hasonló elvek alapján növekedni. Úgy látszik, hogy még néhány jellegzetes társadalmi hálózat is, mint például a filmszínészek csoportja, analóg törvényeknek engedelmessé válik. A megfelelő adatbázist elemezve megállapítható az a szám, amelyik megmutatja, hogy hány olyan színész van, aki ugyanabban a filmben játszott (karrierje valamely időpontjában) l másik színésszel, és erről a számról is kiderült, hogy $l^{-2.3}$ hatvány szerint csökken.

Összegzés

Az emberek kollektív viselkedésének modelljei magyarázatot adhatnak bizonyos körülmények esetén a szociális viselkedés számos egyedi vonására. A modellek előnye, hogy a paraméterek változtatásával könnyen állíthatunk elő különböző helyzeteket. A csoportjelenségeket megfelelően leíró modellek felhasználhatók a kérdéses jelenségek lefolyásának megjósolására. A menekülési útvonalak vagy a jobb hálózat megtervezéséhez hasonló konkrét alkalmazásokon kívül ezek a modellek azért is hasznosak, mert mélyebb betekintést tesznek lehetővé az olyan kollektív jelenségek mechanizmusába mint a szegregáció, a szinkronizáció vagy a pánik.

Epilógus

A fenti kutatások lényegüket tekintve interdiszciplinárisak, azokon belül is egy mostanáig ritkán előforduló tudományterületi kapcsolódás keretében folynak. Figyelemre méltó, hogy a világ legrangosabb interdiszciplináris folyóiratainak szerkesztői, ill. bírálói kifejezetten értékelik ez ilyen irányú erőfeszítéseket, és publikálják a szociológiai kérdéseknek statisztikus fizikai alapon történő elemzése során született eredményeket.

Most már csak az a kérdésem az olvasóhoz: Olyannak gondolja-e a hazai pályázati rendszert, hogy abban egy kombinált — mondjuk a vastaps mechanizmusának feltárását célzó — statisztikus fizikai és szociológiai kutatásra megvan a megfelelő keret? Egyszerűbben: vajon a Fizika, vagy a Szociológia zsűrihez adjak be ilyen pályázatot? Hol remélhetem, hogy kifejezetten magukénak fogják érezni (pl. a fizikusokat érdekli-e majd jobban, miként tapsolnak az emberek, vagy a szociológusok támogatnak-e inkább egy Fourier-transzformáción alapuló, kölcsönható harmonikus oszcillátorok szinkronizációjáról szóló kutatást)? Vagy inkább egy (nem létező) interdiszciplináris forrásra kellene pályáznom?

IRODALOM:

- [1] J. S. Coleman, *Foundations of Social Theory* (Belcamp Press, Cambridge, Massachusetts, 1990)
- [2] Csepeli György, *Szociálpszichológia* (Századvég, Budapest, 1997)
- [3] Pataki Ferenc, *A tömegek évszázada* (Osiris, Budapest, 1998)
- [4] T. Vicsek, A. Czirók, Eshel Ben-Jacob, and Inon Cohen, *Phys. Rev. Lett.* 75, 1226 (1995)
- [5] A. Czirók, A.-L. Barabási and T. Vicsek, *Phys. Rev. Lett.* 82, 209 (1999)
- [6] A. Czirók, E. Ben-Jacob, I. Cohen, O. Shochet and T. Vicsek, *Phys. Rev. E*, 54, 1791 (1996)
- [7] D. Helbing and P. Molnár, *Phys. Rev. E* 51, 4282 (1995)
- [8] D. Helbing, I. Farkas T. Vicsek, *Phys. Rev. Lett.* 84, 1240 (2000)
- [9] D. Helbing and T. Vicsek, *New J. Phys.* 1, No. 13 (1999)
- [10] Z. Neda, E. Ravasz, Y. Brechet, T. Vicsek and A.-L. Barabási, *Nature*, 343, 848 (2000)
- [11] D. Helbing, I. Farkas T. Vicsek, kézirat
- [12] A.-L. Barabási and R. Albert, *Science*, 286, 509 (1999)
- [13] Keith Still, személyes közlés, 1998
- [14] Roel Poppinga, személyes közlés, 1999