

Vélemény Szolnoki Attila *Együttműködés térbeli koevolúciós modellekben* című MTA doktori értekezéséről.

1. A témaválasztásról

Az együttműködés a biológiai összes szerveződési szintjén kulcsfontosságú szerepet tölt be. A nagy evolúciós átmenetek szinte minden esetben tekinthetők valamilyen új kooperációs szint megjelenésének. Biológiai jelentősége mellett a kooperáció evolúciós hátterének megértése komoly tudományos kihívás, hiszen első ránézésre a természetes szelekció minden esetben előnyben kell részesítse a kooperációt kihasználó csalo viselkedésformákat. Nem meglepő hát, hogy a kérdés évek óta az evolúció biológia egyik kiemelt fontosságú kutatási területe. Jelen dolgozat e kutatások közé illeszkedik, alkalmazva a statisztikus fizika szemléletét és eszköztárát.

A disszertáció a lokális kapcsolati hálóval rendelkező egységek közötti kooperáció fennmaradásának körülményeit vizsgálja a fogolydilemma alkalmazásával. Kiemelkedő érdeme, hogy egy nagyon egyszerű kiindulásként kezelt dinamikai rendszer viselkedését tárja fel nagy mélységben, ezzel együtt a vizsgálandó rendszert a korábbi eredmények birtokában fejleszti fokozatosan. Ez a nagyon következetes kutatómunka vezetett oda, hogy a jelölt az adott modellcsaládra igen általános átfogó megállapításokat tudott tenni.

2. Általános értékelés

A dolgozat 110 oldalon 5 fejezetre oszlik, melyek összesen 54 ábrát tartalmaznak. Nyelvezete, gondolatmenete világos, könnyen követhető. Az ábrák és ábramagyarázatok általában informatívak, segítik a megértést. Úgy vélem, a szerző igyekezett nagyon összefogottan, csak a felvetett modellre és annak elemzésére koncentrálni. Ez a módszer kétségtelenül segíti a közvetlen megértést, azonban esetenként szélesebb, modell összehasonlításokat is magába foglaló kitekintést, összehasonlítást is indokoltnak éreztem volna (különösen az első illetve az utolsó fejezetben). A célkitűzéseket valamint az alkalmazott módszereket minden esetben pontosan ismerteti. Hasonlóan az eredmények bemutatását is gondosan elvégzi. Összefoglalva: a disszertáció alapos, átgondolt munka eredménye, olvasása élményt jelentett számomra.

3. Részletes értékelés

A dolgozathoz kapcsolódó tézislevelet 15 közlemény alapján ugyanennyi tézispontot fogalmaz meg. Az első 5 tézispont a második fejezetben ismertetett eredmények összefoglalása. E munkák alapötlete, hogy a kapcsolati rendszerben sokféle heterogenitás definiálható, és így vizsgálható, hogy a heterogenitás milyen jellemvonásai felelősek a kooperáció egyensúlyi szintjének emelésében a fogolydilemma játékban. Megmutatta, hogy a heterogenitás nem szükségszerűen vezet a kooperációs szint növeléséhez ([T1] tézispont). A [T2-T4] tézispontok éppen arra mutatnak rá, hogy a különböző modellekben egységesen aszimmetrikus stratégiaátadás az, ami a nagyobb kooperációs szinthez vezet. Megállapítom, hogy a [T1-T4] tézispontok a jelölt önálló tudományos eredményei.

Megmutatta továbbá, hogy az információs centrumok közötti gyenge de preferenciális kapcsolat jelentősen növeli a kooperatív stratégia sikerességét [T5]. E tézispontot is elfogadom új tudományos eredményként. Jelentősége éppen abban rejlik, hogy az alkalmazott modell segítségével alátámasztható a kooperatív stratégia terjedésében kitüntetett szerepe van a befolyásos játékosok hatókörének. Az eredményt némileg gyengíti, hogy a modellnek nehéz közvetlen biológiai interpretációt találni (kivéve az emberi kooperációt), illetve, hogy jelentős hatáshoz a paraméterek viszonylag finom hangolására van szükség.

Ezután a szerző azokat a munkákat fogja egybe, ahol a rendszerben megjelenő inhomogenitás valamilyen szelekciós vagy evolúciós folyamat eredménye.

Az első bemutatott munkában a sikeres stratégia átadásával az egyed stratégia-átadási képessége is nő. Így egy pozitív visszacsatolással jelenik meg a tanítási heterogenitás, mely a korábban elemzett okok miatt a kooperációs szint növeléséhez vezet [T6]. Kétségtelen, hogy itt is önálló, új tudományos eredményről van szó, de a szerzők korábbi kutatásai alapján ez az eredmény kevésbé meglepő. Jelentőségét inkább a témában újszerűnek tekinthető evolúciós szemléletmód adja. A modell olyan módosítását is vizsgálták, ahol az átadott stratégia jellegétől függött a stratégiaátadó képesség növekedése. Kissé meglepő módon a kooperációs szint jobban növekedett, ha csupán a csalók befolyása növekedett a tanítás során. Ahogy azt a szerző kimutatta ennek oka az, hogy így még nagyobb stratégia átadási heterogenitás jön létre, mely hosszabb távon kedvez az együttműködőknek [T7]. Megállapítom, hogy a megfogalmazott két tézispont is új, önálló tudományos eredmény. Megjegyzem, hogy ahogy arra pl. a 3.1-es ábra is rámutat a stratégia-átadási képesség megváltozásának és a stratégiák közötti szelekció

dinamikájának a relatív időskálája határozza meg, hogy az így létrejött heterogenitás mennyire segíti a kooperációt. Úgy vélem a modell ilyen jellegű érzékenysége jobban rámutathatott volna a szerző.

Ezt követően egy olyan modellt vizsgál, amelyben a stratégiaátadás sikeressége az egyed kapcsolati hálójának bővüléséhez vezet. A dolgozat korábbi eredményei alapján [T2-T4,T6] nem meglepő, hogy a legnagyobb befolyási körrel jellemzett egyedek esetében létezik egy, a kooperáció fenntartása szempontjából optimális befolyási kör. A jelölt azt is megmutatta, hogy ez az optimum az egyedek közötti információcsere mértékével van korrelációban [T8]. A fejezet nagyon gondosan kidolgozott, a tézis természetesen önálló új kutatási eredmény. Egyetlen apró kritikai észrevételem, hogy az olvasót jobban meggyőzte volna, ha a 3.11-es ábra nem csak egyetlen paraméter mellett mutatná meg a $[p_c]$ és $[a_s]$ függvények közötti hasonlóságot.

Véleményem szerint a játékosokhoz rendelt életkor, és az életkorral növekedő tanítási (stratégia-átadási) képesség bevezetése igen eredeti ötlet, és izgalmas, hogy egy, a korábbiaktól eltérő dinamikai mechanizmus támogatja ilyenkor a kooperátorok fennmaradását (lásd 3.14-es ábra) [T9]. Megállapítom, hogy az itt megfogalmazott tézis önálló, szignifikáns tudományos eredmény. Nem értem viszont, hogy miért az $\alpha \geq 2$ esetén lesz a stratégia eloszlás hatványfüggvény (61. oldal), miért nem $\alpha > 1$ esetén?

Számomra a 3.4-es fejezet volt a legérdekesebb. A szerző és munkatársai a kapcsolati rendszerek dinamikus változásának egy nagyon egyszerű, de biológiailag releváns módját javasolják. Az új stratégiát átvevő játékosok (újszülöttek) kezdetben csak a „szülő” egyeddel lesznek kapcsolatban. Így legtöbb esetben egy igen magas kooperációs szintet lehet elérni a fogolydilemma játékokban [T10]. A mechanizmus segítségével azonos stratégiát követő csoportok alakulnak ki. Ezen csoportosulások közötti verseny eredményezi a kooperatív csoportok terjedését és sok esetben a fixációját is [T11]. A mechanizmus hatékonysága és biológiai relevanciája miatt ez utóbbi megfigyelést tartom az egész dolgozat legfontosabb tézispontjának. Bár a szerző külön tézispontban nem utal rá, érdekesnek tartom a héja-galamb játékokban megfigyelhető oszcillációt és annak magyarázatát is.

A negyedik fejezet a stratégiaátadás zaj paraméterének hatását vizsgálja szelekciós és evolúciós modellekben különböző kapcsolati topológiák mellett. A szerzők zérus és 1/3 fürtösödési együtthatójú véletlen kapcsolati hálózatokon értelmezett fogolydilemma játékok összehasonlítását végezték el különböző zajszint mellett. A szimulációs vizsgálatok eredményeit összehasonlították a dinamikus átlagtérszámítások eredményeivel. E két módszer teljes összhangban mutatta, hogy a perkoláló háromszögek jelenléte vagy hiánya döntő mértékben befolyásolja a kooperatív stratégia sikerességét [T12, T13].

Bár a modellek közvetlen biológiai relevanciája csekély, segítenek feltárni a térbeli fogolydilemma játékok dinamikai viselkedésének háttérmechanizmusait.

A fejezet második részében a játékosokhoz egyénileg vannak a stratégiaátadási zajparaméterek rendelve, és a stratégiák mellett ezek is örökölhető paraméterek. Szolnoki Attila és munkatársai megmutatták, hogy a játék során egyetlen zajszint fixálódik a populációban [T14]. A fixálódó zajszint mellett maximális vagy ahhoz közeli kooperációs szint alakul ki. Kidolgoztak egy numerikus módszert, melynek segítségével ez a fixpont hatékonyan meghatározható [T15]. A bemutatott téziseket elfogadom önálló tudományos eredménynek. Nem vitatom, hogy a jelölt komoly erőfeszítéseket tett, hogy a modell dinamikáját mélyen megértse, mégis úgy vélem, hogy arra nem kaptunk választ miért szelektálódik ki olyan zajszint, ahol a kooperáció (közel) maximális.

Az összefoglalás tárgyszerűen és egyben érthetően foglalja össze a diszertáció eredményeit.

4. Kritikai észrevételek, megjegyzések

- Természetesen, mint minden munkában így ebben a dolgozatban is fellelhetőkapróbb pontatlanságok, elírások, hiányok egyes ábrafeliratokon, stb. Ezek részletezésétől eltekintek, mert a megértést egyik esetben sem akadályozták.
- Nem tartalmi kritika, mégis megjegyezném, hogy a „koevolúció” kifejezés véleményem szerint a mű címében kissé félrevezető, hiszen egyrészt bemutat tisztán szelekciós modelleket is, másrészt a koevolúciónak nevezett modellek szimplán evolúciós modellek. Koevolúciónak akkor lennének, ha a modellekben legalább két paraméter evolválódna. Jelen esetben a stratégiák között csupán szelekció működik.
- A dolgozat során a szerző többször hangsúlyozza, hogy a véges méret effektusok kiküszöbölése érdekében nagyméretű hálózatokat használ. Ez az eljárás szilárdtest fizikai rendszerekben minden esetben indokolt, de biológiai rendszerekben a hálózatok sokszor meglepően kicsik. Tehát érdemes a kisméretű rendszereket is vizsgálni, hiszen a véges méret hatások sokszor fontos részei lehetnek a jelenségnek!
- Köztudott, hogy a hálózatokon definiált játékok viselkedése nagyon érzékeny a frissítési szabályokra (lásd pl. Ohtsuki és Nowak 2006).

JTB. 243, 86-97) Hiányoltam, hogy a modellek ilyen irányú sebezhetősége a dolgozatban szóba sem került.

- Hiányoltam, hogy sem a bevezetésben sem az összefoglalásban nem mutatott rá a szerző, hogy a kooperációs problémák sok esetben nem írhatók le a fogolydilemmával, szarvasvadász vagy a hótorlasz játékkal: pl. ha a dilemma egy $N > 2$ személyes játék, vagy indirekt reciprocitás van a játékosok között.

5. Kérdések

Kérdésem a disszertáció utolsó két mondatával van kapcsolatban. Szolnoki Attila itt utal Martin Nowak nevezetes közleményére, amiben Nowak 5 fő mechanizmust sorol fel, mely segít a kooperatív viselkedés fenntartásában. Kutatási eredményei alapján tudna-e újabb, a kooperációt segítő elveket felsorolni?

6. Összefoglaló értékelés, javaslat

Szolnoki Attila disszertációját gondos, szakmailag alátámasztott, önálló munkának tartom. A tézisfüzetben megfogalmazott téziseket elfogadom önálló szignifikáns kutatási eredményként, melyek az MTA doktori követelményeinek megfelelő tudományos eredményeket tartalmaznak. Ennek alapján javaslom a diszszertáció elfogadását és a nyilvános vitára bocsátását.

Budapest, 2011 január 12.

Scheuring István