

Válasz Scheuring István opponensi véleményére

Nagyon köszönöm Scheuring István alapos munkáját, ami feltétlenül hasznos visszajelzés számomra, különösen egy, a biológiai rendszerekben is járatos szakértőtől. Természetesen örültem a pozitív véleménynek, a nagyon tárgyyszerű és konstruktív kritikai észrevételekre a következőket szeretném válaszolni.

A bíráló felveti, hogy a vizsgált modellekhez kapcsolódó tágabb irodalmi kitekintést, összehasonlítást indokoltnak érzett volna. Kétségtelen tény, hogy a korábbi eredmények részletesebb, értékelő bemutatása tovább emelhette volna a dolgozat színvonalát. Gyenge mentségemre csak az szolgál, hogy elsősorban annak az általános elvárásnak igyekeztem megfelelni, hogy „a dolgozat világosan és érthetően tükrözze a jelölt elért eredményeit”.

Felmerült, hogy a 3.1. fejezetben, a tekintély spontán kialakulását vizsgáló modell esetén nem került tárgyalásra az, hogy a relatív időskálák szétválasztása miként befolyásolja a végeredményt. Teljes mértékben elfogadom azt, hogy a mikroszkopikus dinamikát meghatározó folyamatok egymáshoz való viszonya befolyásolhatja egy-egy makroszkopikusan megfigyelhető mennyiség értékét. Erre a lehetőségre már több korábbi munka is rávilágított (pl. PRL 97, 158701; 97, 258103) és valójában az alapmodell kiterjesztésének tekinthető 3.1.1. alfejezetben foglalkoztam is ezzel a kérdéssel. Tény, hogy a dolgozatban csak nagyon szűkszavúan, de a fejezet alapjául szolgáló cikk tartalmazza az ezt a hatást feltáró vizsgálatok illusztrációját is. Egyetértve a bírálat alapját képező gondolattal, ezt a szabadsági fokot magam is fontosnak tartom, amit más rendszerek esetén is vizsgáltam (pl. EPL 84, 50007; PRE 80, 021901).

Azt a felvetést, hogy a 3.2. fejezetben a befolyási kör bővülését vizsgáló modell esetén az információcsere és a globális együttműködési optimum közötti korrelációt más paraméterértékek esetén is meg lehetett volna vizsgálni, szintén jogosnak tartom. Az ok, amiért a maximális kapcsolatszám függvényében mutattam ezt be az, hogy ez a mennyiség lényegében a modell kontrollparamétere, aminek a függvényében történik a legnagyobb mértékű változás. Be kell ismernem, hogy más paraméterek függvényében is lehetett volna illusztrálni ezt a korrelációt, de a vizsgálat során gyarló módon megelégedtem azzal, hogy sikerült a jelenség magyarázatát kvantitatív szinten is alátámasztani.

A 3.3. fejezetben tárgyalt modell kapcsán a bíráló rámutat arra, hogy tanítási képesség–életkor függvényben szereplő exponens $\alpha > 1$ esetén is tárgyalható az eredeti motivációval összhangban. Kétségtelen, ha az egyszerűség kedvéért homogén koreloszlást feltételezünk, akkor a tanítási képesség, mint valószínűségi változó sűrűségfüggvénye $Q(w) = \frac{1}{\alpha} w^{\frac{1}{\alpha}-1}$, ami valóban $\alpha > 1$ esetén vált monoton csökkenővé és $\alpha = 2$ -nél már kellően (de nem túlságosan) hangsúlyos a vizsgálni kívánt hatás. Sajnálom ezt az apró figyelmetlenséget.

A 4.2. fejezettel kapcsolatban felmerül az a jogos kérdés, hogy a rendszer fejlődése során vajon miért olyan zajsztint választódik ki, ami a maximális vagy ahhoz közeli együttműködési szintet eredményez. Férfiasan bevallom, ennek a mélyebb okát még nem értem. Az, hogy a szarvasvadász játéknak nevezett paramétertartományban a rendszer a tiszta kooperátor állapot felé sodródik még érthető, hiszen ez a globálisan legnagyobb együttes nyeresémet biztosító állapot - éppen a térbeliség okozta korlátos kölcsönhatások

miatt – lokálisan is sikeres lehet, ami az imitáció révén elterjedhet. Az viszont, hogy a fogoly-dilemma tartományban miért az optimálistól kicsit kisebb zajsztint választódik ki, már sokkal nehezebb kérdés. Ez bizonyára összefügg azzal, hogy itt egy mindkét stratégiát tartalmazó állapotról van szó, ezért az utánzás révén nem egyértelmű egy adott állapot elterjedése. Ugyanakkor fontosnak tartom azt a megfigyelést, hogy ennek ellenére egy olyan állapot alakul ki, ahol minden játékos egységesen, ugyanolyan mértékű zajsztinttel jellemezhető módon „tanul”. Ez utólagosan is alátámasztotta azt a korábbi munkáinkban egyszerűsítésként használt feltételezést, hogy a mikroszkopikus dinamika esetén a stratégiaátadásnál ugyanazt a paraméterértéket használjuk.

A bíráló diszkréten utal arra, hogy a „koevolúció” kifejezés alatt a biológiában nem feltétlen azt értik, ahogy azt a dolgozatban használom. Ezt természetesen elfogadva, ennek a jelzőnek a használatánál, amit egyébként sokan mások is hasonló módon használnak (pl. PRE 66, 056118; EPL 93, 48003), az a megfontolás vezetett, hogy önmagában már azt is evolúciós játékelméletnek szokás nevezni, amikor a játékosok változtathatják, átvehetik egymás stratégiáját a sikerességük függvényében. Ehhez képest nevezhetjük koevolúciónak azokat a modelleket, ha a mikroszkopikus dinamika során más, a játékost egyénileg jellemző mennyiség (kapcsolati rendszer, stratégiaátadó képesség, stb.) is változhat.

Scheuring István azt is hangsúlyozza, hogy a biológiában előfordulnak olyan rendszerek, amelyek kicsik és ezért a véges méretből fakadó hatásokat (pl. fixáció) vizsgálni kell. Elfogadva ennek az észrevételnek a létjogosultságát, talán a fizikusi háttér miatt is, engem elsősorban azoknak a megoldásoknak a keresése inspirál, amik a véges méretből származó csapdahelyzeteket túlélve, a nagy rendszerméretek esetén is érvényesek. Szerencsére ilyen rendszerekre is találhatunk példákat. A térbeli modellek vizsgálata éppen abban nyújtanak új lehetőségeket, hogy a mintázatképződés révén kialakulhatnak olyan megoldások, amivel a kis rendszerméretnél vagy a jól kevert körülmények között nem is találkozhatunk.

Kritikai észrevételként felmerült, hogy az eredményeknek a mikroszkopikus frissítési szabályokra való érzékenysége a dolgozatban nincs említve. A dolgozat írásakor próbáltam törekedni arra, hogy az olvashatóság érdekében ne bocsátkozzak folyamatos ismétlésekbe az egyébként egymástól független vizsgálatok ismertetésénél, ezért a mikroszkopikus stratégia frissítés lehetőségeit a bevezető fejezetben igyekeztem összefoglalni. Ugyanakkor kétségtelen tény, hogy bizonyos speciális esetekben, a frissítési szabály lényegesen módosíthatja a végső állapotot, amire a bíráló által említett Ohtsuki-Nowak cikk is utal, ahol párközelítés keretein belül vetették össze néhány lehetséges dinamikát jól kevert és reguláris gráf kapcsolatoknál. Köszönhetően az erős interdiszciplináris jellegnek, számos további lehetőség is felmerült, kezdve a sejtautomatáknál megszokott szinkronizált frissítéstől egészen Glauber-dinamikára emlékeztető rövidtávú érdeket szem előtt tartó (myopic) szabályig. Talán azt a kollektív tapasztalatot sikerült leszűrni, hogy azzal a mikroszkopikus dinamikával kerülhető el leginkább a mesterkéltségek, szigorúan csak 1 szabályhoz kötődő (sőt, gyakran 1 adott kezdőállapothoz rendelhető!) megoldás, amelyik a lehető legnagyobb szabadságot nyújtva implicit és explicit zaj révén lehetővé teszi a rendszernek az állapottérben történő bolyongást. Az aszinkron imitáció már önmagában is egy zajforrás, amihez rendelt Fermi-függvényyszerű valószínűség lehetővé teszi, hogy explicit módon is tanulmányozhassuk a kiválasztás „erősségének” a hatását. Egy-egy modell definiálásánál az is fontos szempont volt, hogy lehetőleg csak kontrolláltan (minél kevésbé) térjen el egy korábban már vizsgált modelltől, ilyen módon is segítve az újonnan fellépő jelenség

forrásának az azonosítását. Természetesen nem szeretném a Fermi-függvényes frissítés kizárólagosságát hirdetni, hiszen éppen az általunk is vizsgált heterogén fokszámoszlással jellemezhető kapcsolati gráfok esetén a stratégiaváltás valószínűsége révén bevezetett zajparaméter közvetlen interpretálása erősen kérdéses, hiszen a játékosok az eltérő fokszámoszlás miatt erősen eltérő nyereményre tehetnek szert. (Éppen ezért pl. a skálamentes gráf vizsgálatoknál mi is más frissítést használtunk.) A tudományos közösség kollektív tapasztalata alapján az jóslható, hogy a térbeli modellek esetén az igazán markáns eltérést nem is pl. az ún. „death-birth” és a „pairwise-comparison” frissítés összevetése okozhatja (ezt más független vizsgálatok is alátámasztják, pl. Nature 454, 213), hanem általában az imitációs és a már említett „myopic” dinamika különbözősége. Ez utóbbi pl. lehetővé teszi azt a másiknál teljesen kizárt megoldást, hogy egyfajta szereposztás révén az együttműködő és az elősködő stratégia térben felváltva rendeződjön (PRE 82, 026110). Ugyanakkor az irracionális döntések jelentette zajnak itt is fontos szerepe van, ellenkező esetben a rendszer egy befagyott, csupán csak lokálisan rendezett állapotba kerül. De visszatérve a kérdésre, néhány esetben teszt jelleggel kipróbáltunk más dinamikát is, de a szisztematikus vizsgálatot nem vállalhattam fel. Ettől függetlenül a megfigyelt jelenségek robusztusságát illetően optimista vagyok, mert túlnyomórészt mindegyik jelenség mélyén a környezetre gyakorolt hatás visszacsatolódása áll, ami egy egy sokszor kipróbált sarokköve az együttműködés fennmaradásának.

A bíráló hiányolta, hogy a többszereplős játékok szociális dilemmában betöltött szerepéről nem esett szó. Tény, hogy csak egy kurta mondat erejéig utaltam a dolgozat bevezetőjében (9. oldal) arra, hogy a társadalmi dilemma helyzeteket leíró játékok lehetnek az elemi szinten is többszereplősek, tehát a párkölcsönhatás keretein túlmutató viszony is előállhat. Azt, hogy ennek a lehetőségnek a tudatában, a bevezetőben deklaráltan módon, csak a párkölcsönhatással leírható játékokkal foglalkozott a dolgozat, részemről egy szándékos választás volt. Az elért eredmények kínálta kereteken belül egy homogén, egy ívre felfűzhető dolgozatot szerettem volna írni, ami lehetőség szerint több oldalról is körüljárja egy modellrendszer nyújtotta lehetőségeket. Természetesen egyetértek a kritika mögött felismerhető állítással, miszerint sok valós helyzetben pl. a közlegelő játék pontosabb modelljét nyújtja a problémának. Éppen ezért korábban is törekedtem ilyen vizsgálatra (PRE 80, 056109), illetve a dolgozat lezárása óta majdnem kizárólagosan ennek a játéknak a fizikusi, azaz térbeli kölcsönhatásokat feltételező, változatainak a megértésével foglalkozom.

Végül a kérdés: „kutatási eredményei alapján tudna-e újabb, a kooperációt segítő elveket felsorolni?” Természetesen Martin Nowak sokat idézett áttekintése, illetve a válaszom írásakor már megjelent és vélhetően komoly visszhangot kiváltó új könyve (SuperCooperators) egy mélyen átgondolt osztályozása a lehetséges mechanizmusoknak, amelyek csírái szinte minden rendszerben visszaköszönnék. Ettől függetlenül abban reménykedem, hogy ez a munka csak egy pillanatnyi állapot exponálása volt és még lehetőségünk lesz ezektől részben független elvek felismerésére. Egy ilyen esélyt jelenthet az dinamikus hatások fellelése, tehát az, ha a játékosok valamilyen, a stratégia átadással kapcsolatos tulajdonsága az idő függvényében változik. Lényegében ennek a felismerésnek az előzménye volt a 3.3. fejezetben ismertetett modell, ahol a játékosok stratégiaátadó (tanítási) képessége változott az idő múlásával. Sokkal kevésbé volt előre látható viszont az, hogy részben hasonló hatást eredményezhet a stratégiaátvétel időbeli változása. A tanulási képesség heterogenitása a statikus modellekben ugyanis korábban nem eredményezett

említésre méltó hatást. A dolgozat lezárása óta befejezett munkában (PRE 82, 036110) ugyanakkor sikerült rámutatni arra, hogy az említett képesség időbeli változása markánsan beleszólhat a teljes rendszer együttműködési szintjében. Úgy tűnik, hogy ez a dinamikusan vezérelt folyamat, egyfajta inercia révén, olyan időszakosan fellépő ciklikus dominanciát eredményezhet a stratégiák viszonyában, ami révén a „diverzitás” képes fennmaradni olyankor is, amikor a nyereménymátrix definiálta körülmények alapján ezt egyáltalán nem várnánk.