

## Gulyás László

### Szimuláció, önszerveződés, multi-ágens rendszerek

Gulyás László az ELTE programtervező matematikus szakán végzett 1996-ban, jelenleg a SZTAKI kutatója. Tanított a Közép-Európai Egyetemen, dolgozott az Agent Lab-nél, a Harvardon pedig ágens alapú modellezésben és szimulálásban vett részt. Az ágens alapú szimulációs nyelvekre (MAML, RePast) vonatkozó fejlesztésekből szintén bőven kivette a részét. Az ágens kutatások egyik legautentikusabb hazai képviselője.



#### ***Hogyan jutott el az ágens kutatásig?***

Középiskolás koromban, informatikai diákolimpikonként sokat tanultam különböző gráfkereső algoritmusokról. Ez terelte érdeklődésemet később az MI felé. Viszont mire elvégeztem az egyetemet, a klasszikus megközelítés kissé nehézkesnek tűnt. Ezért PhD-hallgatóként az MI akkor megjelenő új irányzatát, az ágens kutatást választottam témámnak. Ez azért is megfelelő döntésnek látszott, mert az amúgy nehezen definiálható MI-nek az ágensmetafora viszonylag könnyen értelmezhető keretet ad.

#### ***Mit ért pontosan mesterséges intelligencián?***

Tatai Gáborral mindig azzal kezdtük közös ágens alapú kurzusunkat az ELTE-n, hogy az MI-t magát próbáltuk a diákokkal közösen definiálni. Elég hamar kiderül ugyanis, hogy igazán jó definíció nem létezik. A „mesterséges” még csak-csak meghatározható, de az „intelligencia” kifog rajtunk. Sokféle módon lehet próbálkozni, ezek közül néhány próbálkozás klasszikusnak is számít, de bármilyen irányban induljunk is el, végül mindig az emberhez hasonlításához vagy a funkciók elvégzéséhez jutunk. Ugyanakkor az előbbi szorososan kapcsolódik az utóbbihoz, mivel nyilvánvalóan nem az, és nem lehet az a célja a mesterséges intelligencia-kutatásoknak, hogy „embert gyártson”. Ennek semmi értelme nem volna, és nem is célja senkinek. Hogy úgy mondjam, az „biológiai kérdés”... Ha viszont a cél egy, az emberhez valamilyen szempontból hasonló jelenség előállítására, akkor tulajdonképpen egy feladatot fogalmaztunk meg: ilyen és ilyen helyzetben az ember így és így viselkedik, alkossunk gépet, ami ugyanezt képes tenni. Az intelligencia, s ezen keresztül az MI definíciójának funkciókhoz vagy feladatmegoldásokhoz való kötése azonban csapdát rejt magában. Futóvadvésről van szó ugyanis: egy feladatra rábökünk – az ember meg tudja oldani, a

számítógép nem. Ha azonban olyan programot írunk, amely megoldja a problémát, pillanatokon belül kiderül róla, hogy az csupán a feladat mechanikus, algoritmikus megoldása. „Nem is intelligencia.” Ez történt a sakkozással, a beszéddel, a szövegértéssel, a képfelismeréssel, és lehetne sorolni még. Ezért szokták – visszatérő kritikaként, már a hetvenes évek óta – azt állítani, hogy az MI egy helyben topog. Amikor a kilencvenes évek közepén elkezdtem foglalkozni vele, még erős volt a nyolcvanas-kilencvenes évek fordulójára jellemző „AI is dead” hullám. Mindez azért álságos, mert csomó mindent megtermelt „egy helyben topogása” közben – például hang- és képfelismerést, beszédszintetizálást, telefonközpontokat –, amiket ma már nem sorolunk az MI-hez.

Részben erre a problémára válaszul jelent meg az ágens metaforája. Hasznos ugyanis, ha kezdettől fogva valamilyen feladat, globális cél megoldásának kontextusában, a cselekvési környezettel együtt beszélünk az „intelligens programokról”. Olyan cselekvőt feltételezve, amely képes a környezet változásaira úgy reagálni, hogy céljának eléréséhez közelebb kerüljön.

### *Mik a legfőbb különbségek az ágenskutatóhoz kapcsolódó rajintelligencia és az ágenstechnológia között?*

Az ágenseknek legtöbbször nem statikus, hanem dinamikusan változó környezetben kell elérniük céljaikat. Sőt az is gyakori, hogy a dinamikát további ágensek cselekvései okozzák. Azaz az általunk megalkotni kívánt ágens nincs egyedül a vizsgált környezetben. Az ilyen rendszereket szokás multiágens rendszereknek nevezni. Rajintelligencia alatt olyan speciális multiágens rendszert értünk, ahol viszonylag egyszerű, uniformizált ágensek nagy tömege dolgozik együtt egy globális cél érdekében. Fontos, hogy ebben az esetben nem az egyes ágensek önálló céljainak elérésében, hanem rendszerszinten mérjük a sikert. Az is kulcsfontosságú, hogy itt az „együttműködés” legtöbbször nem jelent együttműködést, legalábbis abban az értelemben, hogy a raj ágensei nem tudják, hogy ők egy nagy rendszer fogaskerekei. Csupán teszik a dolgukat, és alkalmazkodnak a környezetükhöz. Amiben történetesen sok száz hozzájuk hasonló „alkalmazkodó” van.

### *Az utóbbi években sokat foglalkozott az ágenskutatók egy speciális ágával, az ún. ágens alapú modellezéssel, illetve szimulációval.*

Igen. Az ágens metaforája hasznossága mellett kissé túl általános. Ezért szükségszerűen specializálódnom kellett egy bizonyos területre. A véletlen úgy hozta, hogy 1996-ban a Közép-Európai Egyetemre kerültem, ahol akkor indult a társadalmi rendszerek számítógépes modellezésével foglalkozó Systems Laboratory.

Az ilyen problémák megoldásában is nagy segítséget nyújt az ágensszemlélet: a komplex társadalmi rendszerek aktorai természetes módon tekinthetők egy dinamikus környezet szereplőinek.



Persze ez a megközelítés azon a tudományfilozófiai, módszertani tézisen alapul, hogy számítógépes modellekkel, szimulációkkal lehet – tudományosnak elfogadott módon – vizsgálni a világot. Ez egyrészt triviálisan igaz, másrészt triviálisan nem igaz. Azért igaz, mert minden számítógépes programra, szimulációra adható egzakt matematikai leírás. Matematikai modellekkel pedig bevett dolog valós, akár társadalmi rendszereket vizsgálni. Viszont a matematikai modelleket a hagyományos metodológia szerint bizonyos kimenetek bizonyításával és formális levezetésükkel kell megoldani. A szimuláció annyiban tér el ettől, hogy nem feltétlenül mutatunk bizonyításokat, állításainkat nem mindig vezetjük le formálisan, hanem a számítógép segítségével végrehajtjuk az absztrakt szabályokat. Egyszerűen szólva kipróbáljuk, hova vezetnek az adott modell feltételezései.

### ***Kozsik Tamással és Fazekas Sándorral kidolgoztak egy multiágens-modellező nyelvet (MAML).***

A MAML az előbb említett modellezési munkának a terméke, melyet praktikus probléma szült. A számítógépes szimulációk írásának nagy része repetitív feladat: az eredményeket meg kell jeleníteni, statisztikákat kell készíteni, véletlen eloszlások kellene és így tovább. Ha az ágens alapú modellek területére szűkítünk, ott is megvannak a visszatérő problémák. Nagy szükség van tehát egy olyan eszközre, mely ezekre a problémákra általánosan használható megoldásmintákat ad.

'96-ban egyetlen ilyen rendszer létezett, az új-mexikói Santa Fe Intézetben kifejlesztett Swarm. Hamar kiderült azonban, hogy nehezen használható, elsősorban kísérleti célra készült rendszerről van szó, amely oktatási célra – ami szintén feladatunk volt – teljesen alkalmatlan.

Ezért határoztuk el, hogy létrehozunk egy a Swarmhoz hasonló, de annál átláthatóbb és egyszerűbben használható eszközt. Ez lett a MAML. Nem futott be világkarriert, de meglepően sok helyen, például egyesült államokbeli egyetemeken alkalmazták. A fejlesztés praktikus okok, a labor átszervezése miatt állt le. Azóta megjelent egy újabb generációs rendszer, a Chicago Egyetemen kidolgozott RePast, amelynek a fejlesztésébe bekapcsolódtam.

### ***Informatikusként tehát társadalmi rendszerek vizsgálatával foglalkozik.***

Igen, de mindig az adott terület művelőivel együttműködve. Ezekben a munkákban én az informatikát képviselem, ami újszerű eszközt nyújt a társadalomtudósok kutatásaihoz. Érdekes itt azt is megvizsgálni, hogy eddigi történelmük során a társadalomtudományok hogyan, milyen módszerekkel vizsgálták az őket érdeklő kérdéseket. Három korszakot különböztethetünk meg, amelyek között persze vannak átfedések is.

Kezdetben diszkusszív, szövegalapú, Marx *Tőkéjéhez* hasonló megközelítést használtak: vastag könyveket írtak, és kifejtették az adott rendszerre vonatkozó



elméleteket. Itt, a az elméletkifejtés alapvető eszközei példa és az érvelés. Teljesen érvényes ez a módszer, működik, sok mai tudományágban bevett forma. Praktikus baja az információáramlás lassúsága, mert négy-ötyszáz oldalon kifejtett elméletekkel nehéz vitatkozni.

A második korszak a matematika bevitelével, a formalizálással jellemezhető. Könnyebben ellenőrizhető az elmélet, ha jól definiált, formális rendszerben dolgozom. Átláthatóbbak, kísérletekkel igazolhatók az ezzel kapcsolatban megfogalmazott tételek. A matematikai eszközök társadalomtudományi bevezetésének két fő iránya van: az egyik, a statisztikai lényegében arról szól, hogyan lehet mégis kísérleteket végezni időben elhúzódó, sok ember részvételével zajló folyamatokkal kapcsolatban. A másik bizonyos cselekvési helyzetek absztrakt matematikai modellel történő megfogalmazása, a játékelmélet.

Az így felírt matematikai problémákat azonban sokszor nehéz megoldani. Ezért szokás meglepő leegyszerűsítéseket tenni ezekben a modellekben. Gond lehet például, ha sok szereplő van. Ezért van, többek között, hogy a világpolitika modelljeiben gyakran csupán két-három állammal számolnak. A probléma másik megkerülési módja ugyanolyan szereplők feltételezése, vagy a szereplők osztályokba sorolása.

Egy másik probléma, hogy ezek a modellek általában fix számú szereplővel dolgoznak. Tehát modelljeinkben az emberek nem halnak meg, és nem születnek újak. Az interakciós struktúra se változik, sőt leggyakrabban azt feltételezzük, hogy mindenki tud mindent, mindenki ugyanannyit tud, és nem modellezzük azt, honnan tudja. Hasonlóképpen nem foglalkozunk azzal, mire képesek a szereplők. Korlátlan racionalitást feltételezünk róluk. Azaz feltesszük, hogy a rendelkezésükre álló információ alapján mindig kiválasztják a számukra optimális cselekvést – függetlenül attól, milyen nehéz elméleti probléma is ezt az optimumot megtalálni. Szintén gond lehet, hogy a játékelméleti kérdések megoldásai egyensúlyi helyzetekre, végeredményekre koncentrálnak. Ez tulajdonképpen a matematikai probléma bonyolultsága miatt van így: azzal egyszerűsítünk, hogy bizonyos kiemelt, tovább már nem változó helyzetekre koncentrálnak. Durván fogalmazva lehet, hogy egy ilyen modellel meg tudom mondani, ki kerül kormányra a következő választásokkor, de azt már nem biztos, hogy lesz-e közben polgárháború. Persze, a játékelmélet új irányzatai próbálják kezelni ezeket a problémákat, de egyelőre csak külön-külön, nem az összeset egyszerre.

Az ágens alapú számítógépes szimulációval viszont a problémák jelentős része kezelhető. Elvben tetszőleges ágensből álló modelleket lehet építeni. A populáció mérete lehet dinamikus: tudok elvenni ágenseket, és újakat létrehozni. Ugyanakkor kénytelen vagyok figyelembe venni a modellezett szereplők képességeit, mert le kell írnom, milyen algoritmus szerint hozzák meg döntéseiket. Ehhez aztán azt is tudnom kell, mit tud az ágens, és honnan tudja. Tehát az interakciós topológiát is modelleznem kell. Ha ezekre a kérdésekre nem adok pontos válaszokat, akkor modellem sincs.



*Több, egymástól független projektben vesz részt: RePast alapú oksági megközelítés Kampis Györggyel, önszerveződő városok a Harvardon, háromszemélyes fogolydilemma, mesterséges értéktőzsde, a Schelling-féle szegregációs modell kiterjesztése, és még folytathatnánk...*

Közös projektünkről Kampis György beszámol a vele készített interjúban.

A hagyományos elmélet szerint a városok kialakulása földrajzi és gazdasági adottságoktól függ. Ezek nyilván szerepet játszanak, ám az önszerveződő megközelítés szerint a jelenségek magyarázatáról ez nem mond el mindent. Boston a példám: egyrészt embert próbáló az időjárás, másrészt más helyek szintén rendelkeztek hasonló kikötési adottságokkal. A nagyváros mégis az adott helyen jött létre. A konkrét esetben az ok valószínűleg az, hogy arrafelé kötött ki annak idején a Mayflower. Valósnak tűnő városstruktúrák ugyanakkor földrajzi eltérések nélkül is generálhatók, az emberek spontán önszerveződéséből kiindulva. Erre mutat példát Paul Krugman modellje, amit harvardi kollégámmal, Yuri Mansuryval továbbfejlesztettünk. A mi munkánk arra irányult, hogy az USA városeloszlásának egy speciális jellegzetességét reprodukáljuk önszerveződő alapon. A jelenségre egyébként többféle magyarázat született már, viszont önszerveződő modell még nem létezett.

A háromszemélyes fogolydilemma a kétszemélyes alapeset természetes kiterjesztése. A klasszikus problémában két szereplőnek kell döntést hoznia, és egymástól független cselekedeteik eredője mindkettejükre visszahat. Az általánosítás motivációja az, hogy tetszőleges számú szereplő cselekedeteinek a közösségre történő visszahatását vizsgáljuk. Első lépésként olyan problémahelyzetet, amiben három ágens vesz részt. Modellünkben tetszőleges számú ágens lehet, akik lépten-nyomon ilyen háromfős problémahelyzetekbe keverednek. Lehetséges stratégiáik közül az eddigi tapasztalatok alapján választanak. A projektben azt vizsgáljuk, miként függ a rendszer viselkedése attól, hogy ki kivel keveredik konfliktusba; és hogyan helyezkednek el egymáshoz képest az egyes stratégiákat alkalmazó csoportok.

A mesterséges tőzsde projekt az egyik legújabb munkám, ami – úgy vélem – módszertanilag is igen érdekes. Egy ma már klasszikusnak számító ágens alapú modelltől indultunk ki, amelyben tanulásra, stratégiájuk fejlesztésére képes ágensok kereskednek. Az eredeti modell fő eredménye az, hogy a mesterséges környezetben létrejövő árfolyammozgások igen hasonlóak a valós tőzsdéken látottakhoz. Mi azt találtuk ki, hogy ebben a modellben néhány ágens valódi emberekkel helyettesítünk. Ezek az emberek ugyanazokat az információkat kapták meg egy internetes felületen keresztül, mint a mesterséges ágensok, és a cselekvési lehetőségeik is megegyeztek. Azt találtuk, hogy már viszonylag kevés ember is jól érzékelhető változásokat okoz. Sokkal látványosabbak lettek a szimulált tőzsdén a „buborékok”...

Nem szeretnék, és nem is lenne helyes a konkrét eredményből messzemenő következtetéseket levonni, de úgy gondolom, ez a résztvevős ágens alapú

szimulációnak nevezett új módszer nagyon hasznos irány lehet, amely az elméleti ágensmodelleket közelebb hozza a szokásos laboratóriumi csoportkísérletekhez. Egyúttal szép példája annak, ahogy a modern informatikai módszerek és eszközök hasznukra lehetnek más diszciplínáknak.

***Miben látja a kutatás-fejlesztési projektek sikerének, eredményességének a titkát?***

Nagy különbséget látok a szakmai és az üzleti eredményesség között. Ami az utóbbit illeti, a számítástechnikában és határterületein Magyarország, illetve a magyarországi vállalatok nagy hátrányban vannak. Bár ez alighanem igaz a világ legtöbb államára is. Üzletileg még a legjobb alkalmazásokkal is nehéz versenyezni az anyagilag összehasonlíthatatlanul erősebb államokkal, illetve cégekkel szemben.

Szakmai oldalról viszont vannak lehetőségek. Igaz, épp az üzleti behatároltság miatt talán inkább ott, ahol a hangsúly az ötleten, a kreativitáson van. Azaz a kutatáson, és nem a fejlesztésen. A 22-es csapdája, persze, éppen az, hogy ez az alapkutatásra helyezné a hangsúlyt, amit viszont nehéz „eladni”. Ráadásul alapkutatást tipikusan csak gazdag államok, szervezetek engedhetnek meg maguknak. Ez nehéz helyzetbe hozza az egyre inkább piacról élő kutatóintézeteket. A K+F irányultságú vállalatokról nem is beszélve.

***Milyen alapelveket érdemes képviselni ahhoz, hogy a csúcstechnológiai kutatásokban komoly eredményeket érjünk el?***

Ha csúcstechnológián a hagyományosan „high-tech”-nek nevezett félvezetőgyártást, űr- és géntechnológiát, és az ehhez hasonlókat értjük, akkor szerintem Magyarországon kevés az esély a labdába rúgásra. Ha viszont – bármely területen – élenjáró eredményekre gondolunk, akkor a széles látókör és a fókuszáltság paradox követelményét emelném ki. Egyrészt egyre fontosabbak a több tudományterületet átölelő, vagy azok határterületein ügyködő, interdiszciplináris kutatások. Ezért nagyon fontos, hogy a kutató szigorúan vett érdeklődési területén kívül más eredmények felé is nyitott legyen. Ugyanakkor az így feltáruló széles palettáról ki kell tudni választani egy körülhatárolt, kezelhető méretű feladatot, és azt végig kell vinni, akár éveken keresztül is.

Talán az emberi kapcsolatok és a csapatmunka jelentőségét emelném még ki. Úgy gondolom, egyre kevésbé lehet „magányos farkasként” sikereket elérni. Persze, ez sem igazán új jelenség, és a legtöbb K+F pályázat is a széles körű szakmai együttműködést próbálja ösztönözni.

Igaz, gyakran elsősorban üzleti, illetve politikai szempontok alapján.



**Gulyás László**

AITIA International Zrt

1039 Budapest, Czetz János u. 48-50.

<http://www.aitia.ai>

ELTE Informatikai Kooperációs Kutatási és Oktatási Központ

1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C.

<http://ikkk.inf.elte.hu>

ELTE TTK Tudománytörténeti és Tudományfilozófia Tanszék

1518 Budapest, Pf. 32., 1117 Pázmány P. sétány 1/c.

[http://hps.elte.hu/index\\_hu.html](http://hps.elte.hu/index_hu.html)

ELTE Informatikai Kar

1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

<http://www.inf.elte.hu>