

Multiágens modellek a társadalomtudományokban*

Vág András

közgazdász, szociológus

E-mail: wifig@yahoo.com

Az ágensek a mesterséges intelligencia kutatások elméletének és gyakorlatának fontos szereplői. Emellett a szimulációs eljárások (rendszerdinamika, sorbanállási modellek, sejtautomata, tanuló és más evolúciós modellek stb.) között is folyamatosan növekszik a jelentőségük. Megkönnyíti az ilyen kezdeményezések első éveit az a tény, hogy a kutatók már jó ideje fészegetik a statisztikai változókra alapozott szociológia és az idősorokra és egyensúlyi modellekre alapozott közgazdasági modellezés határait. Láthattuk ezt a káoszelmélet vagy az evolúciós közgazdaságtan fogadtatásán is. A tanulmány ismerteti a multiágens-modellezés alapfogalmait, működési elveit, társadalomtudományi alkalmazásának és általánosításának lehetőségeit, bevezetést ad a multiágens modellek készítésének kérdéseibe, végül röviden ismerteti néhány konkrét alkalmazást is. Kiemelt szerepet kap a tanulmányban a statisztikai idősorok és fejlett módszerek integrációja a multiágens modellekbe.

TÁRGYSZÓ:

Alakfelismerés, mesterséges intelligencia.

Modellépítés.

* A T 48539 sz. OTKA-kutatás keretében készült tanulmány.

Az ágensek a mesterséges intelligencia kutatások elméletének és gyakorlatának jó ideje fontos szereplői, és a szimulációs eljárások (rendszerdinamika, sorbanállási modellek, sejtautomata, tanuló és más evolúciós modellek stb.) között is 5-10 éve folyamatosan növekszik a jelentőségük (Vág [2004b]). Bármennyire egyszerű is az alapgondolat, túl fiatal még ez a módszer, és túl szerteágazók a kapcsolódásai ahhoz, hogy egységes terminológiája és bejáratott alkalmazásai legyenek. Ez azonban egyáltalán nem zavarja a fejlesztéseket. Megkönnyíti az ilyen kezdeményezések első éveit az a tény, hogy a kutatók már jó ideje feszegetik a statisztikai változókra és táblázatokra alapozott szociológia és az idősorokra és egyensúlyi modellekre alapozott közgazdaságtan határait. Láthattuk ezt a törekvést például a káoszelmélet vagy az evolúciós közgazdaságtan fogadtatásakor. A multiágens-modellezést többféle elnevezéssel illeti az angol nyelvű szakirodalom (például Multi-Agent Simulation – MAS, Agent-Based Simulation – ABS, Agent-Based Modelling – ABM stb.). Társadalomtudományi felhasználás esetén leggyakrabban az Agent-Based Social Simulation (ABSS) kifejezést használják. A tanulmány ismerteti a multiágens-modellezés alapfogalmait, működési elveit, társadalomtudományi alkalmazásának és általánosításának lehetőségeit. A társadalomtudományi érdeklődésű olvasók számára bevezetést ad a multiágens modellek készítésének kérdéseibe, végül röviden ismerteti néhány konkrét alkalmazást is.

„A szó jelentésének felfedése érdekében érdemes kicsit megvizsgálnunk annak etimológiáját. A szó a latin *ago*, *agere* szóból származik, melynek elsődleges jelentései mozgásba hozni, elintézni. ... Az ágens szó magyarul is elfogadott. Az informatikánál nagyobb múlttal rendelkező tudományokban az ágens szó használata, érthetően, a latin jelentésből eredeztethető. A kémiában és a biológiában a bonyolultabb, önálló komponenseket jelölik vele. A katonai szakzsargonban pedig vegyi- és biológiai fegyverek, illetve hatóanyagaik megjelölésére használják ... A nyelvészetben az ágens egy szemantikai kategória, a cselekvő szereplő a mondatban. A mai hétköznapi nyelvbe a szó az angol nyelvterületről érkezett, új, részben leszűkült jelentéstartalommal. Így az ágens szót „ügynöknek” fordítva elsősorban utazási ügynökre (*travel agent*), eladóra (*sales agent*), titkosügynökre (*secret agent*) gondolunk. Mivel a modern tudományok (például a robotika, informatika stb.) közös nyelve az angol, azt várnánk, hogy a szó használata az angol jelentéshez közelebb kerüljön. Ez azonban nem így van, mert a latin nyelvi tradíciókkal rendelkező országokban az eredeti ágens szó hatása is megjelenik. A kettős nyelvi kölcsönzés az egyik oka a szó használatával és fordításával kapcsolatos félreértéseknek. A főleges félreértések elkerülése végett az MI-ben, akár csak a biológiában vagy a vegyészetben, nyugodtan használható az ágens szó. Sőt, hibás és félrevezető az

„ügynök” fordítás, mert jelenleg ez a szó sokkal korlátozottabb jelentésű, mint a tudományban használt angol megfelelője. (Ráadásul az „ügynök” kifejezés politikai öröksége miatt negatív emóciókat is ébreszt sok emberben.)” (*Futó* [1999] 710–711. old.)

1. Alapfogalmak

Az *ágens*t a valóságos világban dolognak, tárgynak, szubjektumnak is szoktunk nevezni. Állat, ember, emberek csoportja ugyanúgy lehet ágens, mint egy robot, egy szoftver vagy egy egyszerű eszköz, például egy termosztát. Mivel az ágens társadalomtudományokban is használt fogalma a mesterséges intelligencia (MI) definícióját vette át, ezért álljon itt az egyik legfontosabb Magyarországon megjelent MI-értelmezés. „Az ágens szónak az intelligenciához hasonlóan nincsen általánosan elfogadott jelentése. Három jelentésszintjét szokták megkülönböztetni. (1) Ágens mint gyűjtőfogalom: Ágens lehet bármi ami bizonyos fokú önállósággal, autonómiával bír és amely reaktív...(2) Ágens az MI-ben: Ágens lehet bármi, ami általában megfelel a következő öt kritériumnak: önállóság, célvezérelt viselkedés, reaktivitás, szociális képesség (kommunikáció az emberrel és/vagy másik ágenssel), pro-aktivitás (kezdeményező képesség)...(3) Ágens, mint szoftvertechnológiai újítás: Az ágensek tekinthetők speciálisan kibővített objektumoknak, amelyek az objektumokhoz hasonlóan absztrakciós eszközök, valamint a programok építőkövei.” (*Futó* [1999] 964. old.) Az ágens tehát „ingerreakció” modell alapján működik, érzékeli a környezetét és a tulajdonságai, belső függvényei szerint reagál rá, vagyis valamilyen módon beavatkozik környezetébe. Elég egyfajta inger és egyfajta reakció ahhoz, hogy ágensről beszéljünk. Gyakorlatilag – természetesen – ennél többről van szó (*Vág* [2004a]).

A *környezet* az a „közeg”, amelyben az ágensek léteznek, működésük egyik fontos meghatározója, „háttéré”, kerete. A környezet tehát nem több, mint egy speciális ágens, melynek tulajdonságai és tulajdonságainak értékei sajátos módon különböznek a többi ágensétől. Az a felfogás tehát, hogy a környezet maga is egy ágens egyrészt a modellek felépítése, tervezése és programozása során, másrészt pedig azok értelmezésekor, különféle elméletekbe illesztésekor jelentkezik. Ezenfelül az egyedi ágens számára a többi ágens is a környezet része.

Minden ágens *autonóm* módon működik. Az inger az ágensek érzékelőire ható jel, az érzékelőként definiált tulajdonságok aktuális értékeinek változása. Az ágensek érzékelőin ingerként jelenik meg – elvileg – az összes ágens által létrehozott reakció, a beavatkozóként definiált tulajdonságok aktuális értékei. A reakció az ágens belső

függvényei által meghatározott válasz. A valóságban és a modellekben is leggyakrabban csak a közelben, a „szomszédságban” vagy meghatározott távolságon belül lévő ágensek érzékelik egymást és lépnek kölcsönhatásba. A „közelség” a számítógépes modellekben fiktív fizikai közelséget jelent, ami például egy multiágens modell „világát” mutató számítógép képernyőjén válik láthatóvá. (Lásd az 1. ábrát.) A közvetlen kölcsönhatásnak nem mindig feltétele a fizikai közelség. Például hálózatok modellezése esetében – amikor a távolságot a telekommunikáció gyakorlatilag kiküszöböli – a kapcsolat azonnal létrejön.

A reaktív ágenseknél fejlettebb intelligenciával rendelkező ágenseket *kognitív ágenseknek* nevezik. Ez utóbbiak magasabb szinten képezik le a körülöttük levő világ egy részét és cselekvéseiket ennek függvényében végzik. A kognitív ágensek – röviden összefoglalva – „ágenspszichológiával” rendelkeznek, azaz képesek környezetük és a többi ágens működési modelljének belső reprezentációjára. Cselekvésekké kognitív képességeiket az intelligens ágensek egyik szemléletes metafórája, a „képzetek–vágyak–szándékok” („Beliefs–Desires–Intentions” – BDI) szerinti működés alakítja. Jelesül, hogy

1. képzetük, tudásuk van a világról (de ez lehet téves is);
2. rövid távú céljaik (vágyaik) vannak, melyek elérésére törekszenek; és
3. terveik, elképzeléseik vannak arról, hogy ezeket a célokat elérik.

Ezeket a jellemzőket természetesen az ágensek programozott reprezentációi hordozzák.

Multiágensrendszerekről beszél a szakirodalom akkor, ha egy modell több ágensből épül fel. Az ágens alapú modelleket az ún. „elosztott mesterséges intelligencia” (Distributed Artificial Intelligence) technológiájának megteremtése tette lehetővé. A gondolat lényege, hogy a műveletvégzés, a gondolkodás és irányítás nem egy centrumban történik, hanem több helyre szétosztva, esetleg hálózatban. Ennek a tulajdonképpen kézenfekvő ötletnek megvalósulásai a multiágensrendszerek. A publikációkban közzétett modellek gyakorlatilag mind ilyenek.

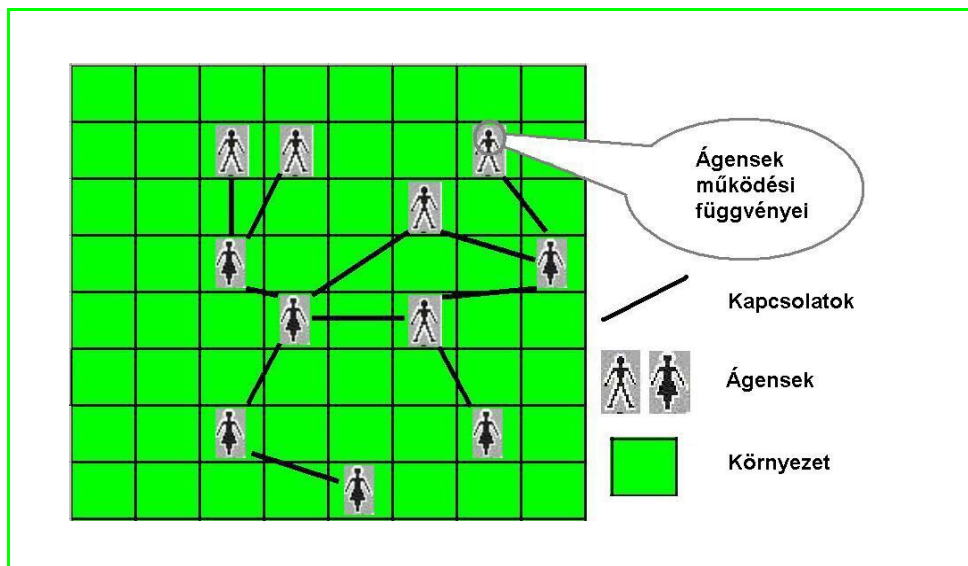
A multiágensrendszerek többféle módon tipizálhatók. Az egyik lehetséges csoportosítás két típust használ. Az egyikbe azok a modellek tartoznak, amelyekben viszonylag kevés ágens szerepel, de azok meglehetősen intelligensek, a másikban olyan modellek vannak, amelyekben sok az egyforma ágens, de azok nem túlságosan intelligensek, csak néhány egyszerű feladatra képesek. Ez utóbbiak az eddig megalkotott multiágens alapú társadalomtudományi szimulációkban sokkal elterjedtebbek. Ennek a relatív egyoldalúságnak több oka van. *Axtell* szerint ennek egyik magyarázata, hogy a matematikusok olyan modelleket építenek előszeretettel

tel, melyek eltekintenek a gondolkodás részleteitől. Hasonlóképp látja a közgazdászok és „kvantitatív társadalomtudósok” érdeklődésének szerepét is, amit indokol az általános érvényű kognitív modellek hiánya is (Axtell [2000]). További indokként említi – és ez a multiágens-modellezés talán legsűrűbben aláhúzott tulajdonsága –, hogy nagyszámú egyszerű ágenssel könnyen modellezhető számos „komplex aggregát viselkedés”, mint például viselkedési normák vagy koalíciók spontán létrejötte.

2. Működés

A társadalmi viselkedést szimuláló multiágens modellek működése legfőbb jellemzőinek ismertetése előtt célszerű egy pillantást vetni az 1. ábrára, ami egy fiktív multiágens modell alapvető elemeit és elnevezéseit mutatja. A képen egy lokális világ látható, melyben négyzetháló alakú környezetben különféle ágensek mozognak (a példán férfiak és nők). Az ágensek viselkedését a beépített belső működési függvények irányítják. Az ágensek egymással is kapcsolatba kerülnek, amit az ábrán vonalak jelölnek. Az 1. ábra egy egyszerű multiágensvilágot és szereplőit mutatja.

1. ábra. Egyszerű multiágensvilág és szereplői



A multiágens modell egy olyan világ, amelyben több száz vagy ezer ágens „él”, *működik párhuzamosan* egymással szimultán kölcsönhatásban. Ez a *folymatos kölcsönhatás* az ágensvilág működésének legfőbb jellemzője. Mint ahogy a valóságos világban, úgy az ágensvilágban is az egyik kulcskérdés, hogy mi mivel (ki kivel) lép valamilyen kölcsönhatásba. Ez a kiindulópontja minden számításnak, magyarázatnak, elméletnek. Az ágensvilágban a gondolat síkján elvileg végtelen számú kapcsolódás lehetséges. A számítási kapacitások és sebességek további, jelenleg felmérhetetlen bővülésével és gyorsulásával olyan nagyságrendű ágenskapcsolat szimulálható, mely messze meghaladja elképzeléseinket.

A szimulációs programok általában vizuálisan is megjelenítik a modell világát a számítógép képernyőjén. Egyszerű esetekben ez egy négyzet, melyben az ágensek a függvényeik által determinált feladatokat végzik. Egyes állapotaik, a hatékonyabb problémareprezentáció érdekében, jól látható módon jelennek meg, például mozognak vagy megváltoztatják színeiket. Ebben a négyzetvilágban az ágensek és közvetlen vagy távolabbi szomszédaiak helyének a kölcsönhatás-függvények szempontjából jelentősége lehet, például csak a közvetlen szomszédságukban levő többi ágenssel lépnek interakcióba. Az összekapcsolódások alkotják a modell struktúráját. Az ágensekkel foglalkozó szakirodalomban legtöbbször külön kezelik az ágensek működésének és az együttműködések hálójának (interakció-topológiának) specifikációját.

A multiágens szimuláció az *események különféle történeteit* állítja elő. Az ágensek tulajdonságai időpillanatról időpillanatra lépve határozódnak meg vagy „állítódnak be”. A tulajdonságok konkrét értékeit az ágensmodellben a számítógépes program számítja ki. Az időlépések a konkrét problémától, feladattól, rendelkezésre álló adatoktól függően változhatnak. Az ágensmodellben évenkénti, de akár naponkénti vagy percenkénti változást is lehet szimulálni. Ez tehát egy technikai szempont „csupán”. Az ágensvilágban minden időpillanatban az összes ágens érzékeli a korábbi időpillanatban képződött „ingereket” mint függvénybemeneteket és előállítja a „reakciókat” vagyis a függvénykimeteket a következő időlépés számára. Egy szimulációs programfutás tehát egy *eseménytörténet* előállítása mind az egyedi ágensek, mind a totalitás, a teljes struktúra szintjén.

Az egyre terjedő társadalomtudományi és ökológiai felhasználások megkönnyítése céljából érdemes átgondolni az ágensmodellek felépítésének és működésének elvi határait. Az ágensmodellek működésének keretei – a szoftverágensekhez kapcsolódó összefoglalókkal és működési leírásokkal ellentétben – nem kerültek eddig általános szinten szisztematikus megfogalmazásra. Ennek vélhető oka, hogy

1. a szoftverágensek tervezésekor és programozásakor nem volt igény az általános szintű leírásokra, másrészt

2. az „alulról felfelé” építkező ágensmodellek nem annyira a teóriákkal, hanem sokkal inkább demonstrációkkal, a tudásbázisok feltöltésével és a helyes adaptációkkal foglalkoztak.

Az *emergencia*, pontosabban a kollektív viselkedés emergenciája – az új megjelenése a régi struktúrában – szimulálásának képessége a multiágens-modellezés egyik legnagyobb előnye. Az emergenciát az idézett mű így definiálja: „Olyan, csak egy magasabb absztrakciós szinten észlelhető, illetve értelmezhető jelenség vagy viselkedés, amelyről a rendszer alacsonyabb absztrakciós szinten álló leírása nem, illetve csak implicit módon ad számot. Például a személyautó-közlekedés leírásakor a forgalmi dugó jelensége, vagy a hangyavár felépülése...” (*Futó* [1999] 970. old.) A multiágens-modellezés társadalomtudományi alkalmazásának irodalma sokat foglalkozott az emergencia kérdésével és jelentős mértékben kibővítette a fenti definíciót. *Cariani* az újdonságok keletkezésének három lehetőségét különbözteti meg: „számításon alapuló, termodinamikai és modellhez viszonyított emergencia.

A „számításon alapuló” emergencia a helyi, individuális viselkedésekből kialakuló új, csoportos viselkedési formák megjelenésével kapcsolatos, mint például a tömeg mozgása és a káosz.

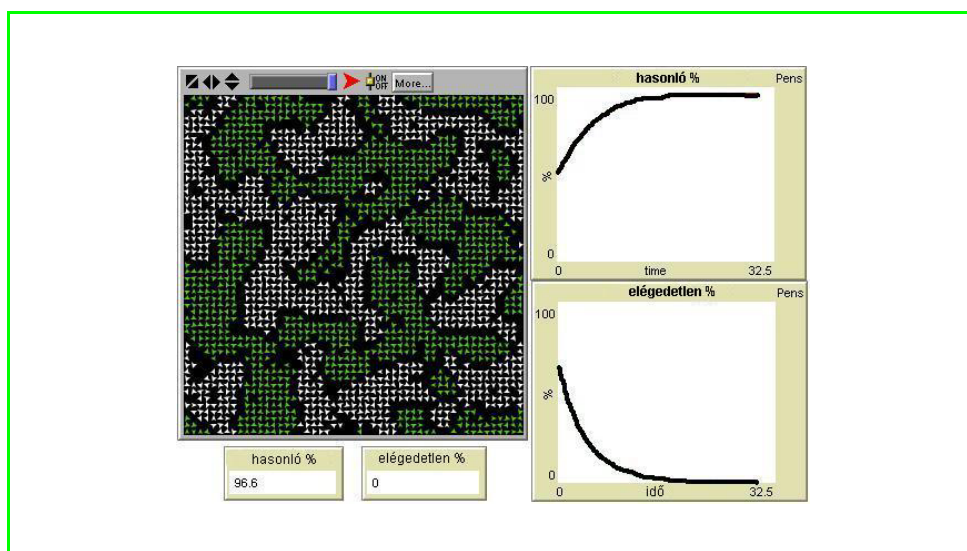
A „termodinamikai” emergencia a káoszból a zajból létrejövő rendezettséggel foglalkozik, mint például az élet létrejötte. A „modellhez viszonyított” emergencia olyan folyamatokat ír le, melyekben az egyedeknek – a rendszerhez való alkalmazkodás érdekében – meg kell változtatniuk saját viselkedésüket (*Cariani* [1992] 776. old.). Ez az értelmezés az evolúciós változások szemléltetésére alkalmas.

Az egyedi jelenségek, a különleges helyzetek, más szóval az újdonságok létrejötte (emergencia) az ágensvilágban is a legizgalmasabb témák egyike. Az újdonság az ágensvilág minden részét érintheti: megjelenhet „új” ágens, „rég” ágens vehet fel új tulajdonságokat vagy „rég” ágens régi tulajdonságai vehetnek fel olyan értékeket, amelyekkel eddig sohasem rendelkezett. Az emergencia lényege azonban makroszinten jelentkezik: olyan új struktúrák jönnek létre, melyek nem vezethetők le közvetlenül a mikroszintből. Ha struktúraváltozásban gondolkodunk, akkor természetesen a megszűnések is ebbe a körbe tartoznak.

Tegyük fel, hogy egy szoftverágensnek két változója van, mindkettő értékészlete két értéket tartalmaz. Ebben az esetben az ágens működését egy 2x2-es táblázat tökéletesen leírja. Már egy ilyen egyszerű ágensekből felépített modellel is érdekes jelenségek szimulálhatók. Egy fokkal összetettebb a modell, amikor az ágensek több, például 3-5 bemeneti változóval rendelkeznek, de a kimenet csak egy tulajdonság dichotóm változása. Még bonyolultabb a helyzet, ha kimeneti tulajdonságok száma is több, és a belső működést leíró függvények is bonyolultabbak, például úgy, hogy korábbi időszakok állapotait is figyelembe veszik.

Egy nagyon egyszerű és a szakirodalomban sokszor idézett példaként álljon itt *Schelling* egyik híres modellje. A modell elméleti megfontolásból született, a probléma azonban a valóságos helyzetet tükrözte. Schelling etnikai szegregációs modelljében a családok lakásválasztási szokásait nézte városi környezetben. A vizsgált időszakban már a növekvő etnikai tolerancia volt jellemző Amerikára. A modell kiinduló feltételezése az volt, hogy ha a szomszédok bőrszíne számít a lakásválasztásban, akkor még ha az egyének tolerálják vagy egyenesen támogatják is az integrációt, akkor is kialakul az etnikai szegregáció. Az ágenseket úgy programozták, hogy „saját” környezetükbe költözzenek, ha nem voltak „elégedettek” környezetükkel. Akkor voltak „elégedettek”, ha adott sugarú körben szomszédaiknak legalább X százaléka velük egyező „bőrszínű”. Ha egy fehér ágens új helyre költözött, akkor ezzel megnövelte a fehérek arányát az új helyén és ez onnan elköltözésre készítetett egy fekete ágens. A program futásakor – kiinduló paraméterektől függően – vagy előbb-utóbb beállt egy stabil állapot, vagy instabil maradt, és az ágensek örökösen „költöztek”.¹ Az eredmény egyértelműen azt jelezte, hogy már kismértékű intolerancia is létrehozza a szegregációt (*Schelling* [1971], [1978]).

2. ábra. Schelling szegregációs modellje



A 2. ábra a modell futási eredményét ábrázolja. A képen látható „foltok” az adott városrész különböző bőrszínűek által lakott részeit jelentik. Szimuláció közben a kép

¹ A modell a Netlogo nevű fejlesztőprogrammal készült. A szimuláció internetes böngészőben is fut, a <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Segregation> címen megtekinthető.

folyamatosan változik, az adott bórszín-összetételnek megfelelően, úgy, mintha márdártávlatból vagy inkább műholdfelvételtől néznénk felgyorsítva az évek alatt lejátszódó folyamatot. Az ábra jobb oldalán a lakóhelyükkel elégedettek (felső diagram) és elégedetlenek (alsó diagram) arányainak időbeni változása látható.

A multiágens-modellekben a folyamatos visszacsatolás eleve beépített. Eszerint nemcsak egyirányú mikro => makrofolyamat működik, hanem makro => mikro is. Vagyis a viselkedési szabályok és a makroszinten létrejött struktúrák visszahatnak az egyén magatartására, prioritásaira is, folyamatos változásra készítve azokat, ha szükséges. *Normává* akkor válik egy makroszintű vagy lokális jellegzetesség, ha azt mikroszinten spontán módon és tömegesen követni kezdik, vagyis a viselkedés szabályozójává válik. Ilyen és ehhez hasonló modellekből kiindulva a „mikromotívációkkal” magyarázott „makro” jelenségek, különösen az ágens alapú szimuláció szoftverek megjelenésével, egyre népszerűbbé váltak.

Egy multiágens modell még teljesen egyforma induló feltételek mellett sem adja mindig pontosan ugyanazokat a futási eredményeket. Az eltérések az ágensek spontán viselkedéseiből fakadnak. Különböző induló feltételek mellett viszont az események története gyökeresen különbözhet. Látszólag egyszerű eltérések is (például az ágensek számának növelése) jelentős különbségeket okozhatnak. A szimuláció során számos kezdeti feltételt – „ha -akkor” típusú kérdésfeltevést – ki lehet próbálni. A modell lehetséges vagy érdekes kezdeti feltételeit sorra, egymásután kipróbálva, számos eseménysort kapunk futási eredményként. A szimulációk halmaza, a kvantifikált eseménysorok együttese az eseménytér. Ezeket az eseménysorokat a multiágens modellek diagramokban, egyéb vizualizációs megoldásokban vagy táblázatokban mutatják. A multiágens-modellekkel folytatott egyes kutatások befejező szakasza az eseménytér adatainak elemzése. Ha szükséges, akkor ezt külön matematikai statisztikai elemző programmal végzik. Sokszor azonban első ránézésre is nyilvánvalók az eredmények.

3. Multiágens modellek a társadalomtudományokban

A társadalomtudomány régóta keresi a választ arra a kérdésre, hogy az egyének interakciói miként hozzák létre a társadalmi szinten értelmezett történéseket. A társadalom, a politika, a gazdaság változásainak megértéséhez nem elegendő a résztvevők cselekvéseinek leírása és magyarázata, hanem az egyének kölcsönös kapcsolatait is be kell vonni a vizsgálódás körébe. Az egyes társadalmi jelenségek elméletei általában adószak maradtak a társadalmi változások olyan magyarázataival, amelyekben az egyének kölcsönös interakcióinak is szerepe van. Vannak ugyan kivételek, de ál-

talában vagy az egyének szerepelnek az elméletekben és ezek nagytömegű (de egyforma!) viselkedése tükröződik a makroleírásokban, vagy kizárólag társadalmi jelenségek (statisztikai átlagok és eloszlások) szerepelnek a magyarázatokban. Ha olyan rendszert vizsgálunk, melyben a szereplők interakciói esetlegesek (például a múltbéli események eltérő interpretációi miatt), miközben folyamatosan adaptálódnak a környezethez (vagyis megváltoztatják viselkedésüket), akkor a dinamikus konzekvenciák levonására a matematikai elemzés lehetőségei általában nagyon korlátozottak. Az ágens alapú modellezés társadalomtudományi felhasználásait – mint tipikus *mikroszimulációs* alkalmazásokat – elsősorban ennek a problémának a tanulmányozására hozták létre.

A szimuláció – a dedukció és az indukció mellett – a tudomány harmadik módszerének tekinthető. A tudósok a dedukciót arra használják, hogy az adatokból és feltételezésekből elméleteket építenek, az indukciót pedig arra, hogy az empirikus adatokban és adatokból mintázatokat, szabályokat fedeznek fel. A szimuláció azonban – szemben a dedukcióval – nem bizonyít vagy hoz létre elméleteket, hanem új adatokat állít elő az induktív elemzés számára. Mindamelllett a szimulált adatok – szemben a tipikus indukcióval – pontosan specifikált feltételezésekből származnak, függetlenül attól, hogy azok tényleges vagy hipotetikus rendszerre vonatkoznak. A szimuláció tehát mind alkalmazásaiban, mind céljaiban különbözik a dedukciótól és az indukciótól. A szimuláció ellenőrzött számítógépes kísérletek révén a rendszerek mélyebb megértését teszi lehetővé. A multiágens-modellezést ebből következően, a mesterséges intelligencia eszközeivel létrehozott társadalomtudományi laboratóriumi kísérleti eszköznek lehet tekinteni.

A mesterséges társadalmak bemutatása szinte kivétel nélkül az ún. „kollektív viselkedés” szimulációjával kezdődik. „Kollektív viselkedés az a mód, ahogy az egyed viselkedését szomszédai irányítják annak érdekében, hogy minden egyed egyidejűleg, egy közös minta szerint változtassa meg viselkedését.” (*Vicssek* [2001] 421. old.) Ilyen a repülő madárraj mozgása vagy a tapsolás hullámozása a tömegben, például a futballpályán. Egyébként az ilyen, látszólag egyszerű jelenség magyarázata is számos elméleti problémát vet fel (*Miller–Page* [2004]). A kollektív viselkedés szimulációi néhány igen egyszerű programlépés felhasználásával létrehozzák, és a számítógép képernyőjén vizuálisan bemutatják ezeket a jól ismert jelenségeket. A demonstrációs vagy oktatási célokat szolgáló modellek ágensei nagyon egyszerűek. Ezek nem alapulnak semmilyen, a társadalomhoz kapcsolódó elméleten, viszont szemléletesen mutatják egy közösség nem koordinált, hanem az egyedek kapcsolataira épülő együttes mozgását.

Gondolkodás. A multiágens modellek egyik legfontosabb jellemzője, és a működés alapvető mozgatója a modellben található ágensek intelligenciája. Bár a nagyon egyszerű elveken működő, reaktív ágensek együttese is képes komplex jelenségek szimulációjára és új struktúrák létrehozására, a cél mégis számos kutató számára az,

hogy minél összetettebb legyen az ágensek gondolkodása, minél több intelligens funkcióval rendelkezzenek, egyszóval minél „okosabbak” legyenek az ágensek. A gondolkodó, célorientált, reaktív, autonóm, adaptív, tanuló, kommunikatív és együttműködő viselkedést reprezentálni képes ágensek számítógépes modelljei számos kérdést vetnek fel a kognitív tudomány számára. Miután a mesterséges intelligencia kutatások kezdetén kiderült, hogy milyen hatalmas feladat az emberi gondolkodás szimulálása, az érdeklődés az intelligencia egyes speciális aspektusaira szűkölt. Olyan modellek születtek, melyek szigorúan csak egy-két kognitív funkciót használtak fel. Mostanában azonban egyes kutatók már megpróbálják a részeket összeilleszteni. A multiágens-modellezés ennek a törekvésnek további lendületet adott. Egyre többen foglalkoznak kognitív architektúrákkal, ontológiákkal, tudásreprezentációval, tanulással dinamikus környezetben, a kognitív viselkedés evolúciójával, és így tovább.

Szó sincs természetesen arról, hogy azt hinné bármelyik multiágens-modellező, hogy bármelyik ágens az emberi gondolkodás komplexitását közelíteni tudná. Egy igen fontos törekvésről van szó, arról, hogy az emberi gondolkodás és az azt követő cselekvések azon részeit, melyek a modell szempontjából relevánsak, minél jobban, minél élethűbben lehessen szimulálni.

A kognitív modelleknek számottevő külföldi és hazai irodalma van, közöttük némelyek átfogóan nyúlnak a problémához, vagyis bizonyos szintű teljességre töreksenek. Ezek közül természetesen csak néhány jelent meg a különféle multiágens-modellekben. Több multiágens modellt építettek például az ACT-R „kognitív architectura” (*Anderson–Lebiere* [1998], *Anderson et al.* [2004], *ACT-R-honlap*), a COGNEM/iGEN „eszköztár” (*COGNEM/iGEN-honlap*) és a SOAR (*Laird–Newell–Rosenbloom* [1987], *SOAR-honlap*) segítségével. Emellett alaposan kidolgozott részfunkciókkal rendelkező kognitív modelleket is fejlesztettek kifejezetten multiágens-szimulációs célokra. Ilyen például *Marco Janssen* és *Wander Jager* kognitív modellje, a „Consumat” (*Janssen–Jager* [1999]) A kognitív ágensek kutatásának egyébként meghatározó irányzata a robotika, melytől a társadalmi jelenségek ágens alapú szimulációja számos dolgot átvesz. Az intelligens robotok kognitív teljesítménye általában meghaladja a szoftverágensek tudását. A robotok azonban általában nem társadalmi jelenségek szimulációjára alkalmas multiágens-rendszerben működnek, bár vannak kivételek.

Evolúció. Az evolúciós modellek a komplex rendszerekben gondolkodó modellezők kedvenc témái közé tartoznak. Az eljárások lényege, hogy utánozzák a biológiai vagy kulturális evolúciót, amihez genetikus algoritmusokat használnak, mutációkat generálnak, kiválasztódást alkalmaznak, új tulajdonságokat vezetnek be stb. Egy ilyen igen érdekes megoldást mutat be *Channon* és *Damper*. Mint írják, az „evolúciós emergenciának” alapvető szerepe van a különösen intelligens szociális ágensek létrehozásában. Tanulmányuk olyan eljárást ismertet, melyben az új (emergens) viselkedési tulajdonságokkal rendelkező ágenseket nem „manuális” tervezéssel hozzák

létre, hanem folyamatos evolúcióval és társadalmi környezetben létrejövő emergenciával. Erre a célra az egyszerű mesterséges szelekciós modellek nem alkalmasak. A szerzők olyan szelekciós rendszert ismertetnek, melyben az ágenseket mind a folyamatos evolúció, mind a célfüggvénynek megfelelő viselkedés érdekében neurális hálózatok működtetik. A modellben evolúciós módon létrejött emergens társadalmi viselkedés figyelhető meg. A koevolúció során az egyik faj szelekciós előnyhöz jut a többihez képest (*Channon–Dampier* [1998]). A társadalomtudományokban az evolúciós modellezés folyamatosan terjed, különösen a gazdasági problémák területén. A különféle evolúciófelfogások és -értelmezések (szociáldarwinista, szociobiológiai, a változásokat leíró történeti vagy dinamikus gazdasági magyarázatok és a neodarwinista szintézis) közül az evolúciós gazdaságtan alapjai a „neodarwinista szintézis”, vagyis a tisztán biológiai analógiák szerint működő modelleken nyugszanak (*Chattoe* [1998]).

Adaptáció. Az adaptáció egyrészt az intelligens ágensek egyik fontos képessége, másrészt az evolúciós modellek egy tulajdonsága. Az adaptív ágens lényege, hogy válaszol a környezetére. Az adaptációnak négy fő eszköze van: reakció, gondolkodás, tanulás, fejlődés. 1. A legegyszerűbb ágensviselkedés, a reakció nem más, mint determinált válasz egy jelre. 2. A „gondolkodó” ágens döntések láncolatát hajtja végre és következtetéseket von le. Ez utóbbi nem új dolog, hiszen az ún. „szakértői rendszerek” és az „adatbányászat” is ilyen módszerekkel dolgozik. 3. Vannak ágensek, melyek korábbi tapasztalataik alapján megváltoztatják viselkedésüket, „tanulnak”. Ehhez nem kell nagy memória, elég ha teljesítményeik alapján döntéseiket súlyozni tudják. Egy másik gyakran alkalmazott tanulási eljárás a neurális háló használata. 4. Az ágensek egymás utáni generációi különbözhetnek egymástól, fejlődhetnek. A „fejlődés” – leegyszerűsítve – úgy jön létre, hogy az ágensek „genetikus algoritmusai” versengenek a túlélésért.

Kooperáció, önzés és altruizmus. A kooperációt, a kölcsönösséget, az önzést és az altruizmust mint különféle egyéni viselkedésformákat modellezési szempontból először a játékelmélet vizsgálta kiterjedten. A figyelem szinte kizárólag a kétszemélyes játékokra és ezek stratégiáira összpontosult. Néha ugyan megjelentek olyan publikációk is, amelyek kiterjesztették a résztvevők számát, de ettől még nem váltak számítógéppel szimulált multiágens modellekké. A későbbiekben a közgazdasági modellezés, különösen az ún. „ágens alapú gazdasági számítások” (Agent-based Computational Economics – ACE) vagy „ágens alapú gazdasági szimuláció” foglalkozott ezekkel a témákkal.

Híres összefoglaló munkáját *R. Axelrod* kérdéssel indítja: „Központi irányítás nélkül milyen feltételek mellett jelenik meg az egoisták világában az együttműködés?” (*Axelrod* [1984] 3. old.) A problémafeltárás során az egyének és az országok spontán keletkező kooperációját elemzi, és ennek eredményeként fogalmazza meg kooperációelméletét. A könyv szemléletére jellemző, hogy a fogolydilemmával indít, ami már a

80-as években is híres volt. A fogolydilemmáról, a kooperáció kialakulásáról ezerszámra írtak cikkeket, ezért ezt nem kívánom ismertetni, már csak azért sem, mivel a klasszikus fogolydilemma nem tartozik a multiágens-moddellel szimulált mesterséges társadalmak körébe. A szerző a kooperáció problémájával későbbi műveiben is tiszteltreméltó alapossággal ír (*Axelrod* [1997]). Az együttműködés további tipikus formája a koalíciók képződése. A koalíciók, mégpedig különféle feltételek mellett létrejövő koalíciók modellezésével *Sichman* és *Demazeau*, *Dawid* és munkatársai valamint *Ketchpel* foglalkoztak (*Simao–Demazeau* [2003], *Dawid et al.* [2001], *Ketchpel* [1993]). Tanulmányaikban fontos szerepet kap a partnerválasztás. Az altruizmust mint modellezett viselkedést eleinte főként a biológiai evolúció oldaláról nézték. Később előtérbe kerültek a modellek, ezen belül elsősorban azok, amelyek az altruizmust az önzéssel, kooperációkkal együtt vizsgálták (*Macy* [1998], *Castelfranchi* [1998]).

4. Multiágens modellek készítése

Multiágens modell készítéshez két dolog szükséges: a modellezni kívánt jelenség és a multiágens-filozófia alapos ismerete. Az előbbi esetében a szaktudományokhoz, az utóbbiban az elmúlt évtized legjobb multiágens témájú – pontosabban annak társadalomtudományi alkalmazásait vizsgáló – publikációihoz célszerű fordulni, például *Axtell–Epstein* [1994], *Gilbert–Troitzsch* [1999], *Gilbert* [1995], *Macy–Willer* [2002].

4.1. A modellek elméleti háttere

A valóság jelenségeit szimuláló numerikus modellek természetesen a világot kvantitatív módon leíró adatokra, vagyis statisztikai információkra támaszkodnak, ebből következően a multiágens modell készítéshez a statisztikai információk nélkülözhetetlenek. Ugyancsak alapfeltétel legalább egy multiágens modell-készítő szoftverhez való hozzáférés, illetve annak felhasználói szintű ismerete. Ezekkel a kérdésekkel foglalkozik röviden a következő két alfejezet.

4.2. Statisztikák és statisztikai módszerek

A statisztikai adatoknak, vagy ahogy a modellépítők gyakran nevezik, a valóságos világ adatainak (real-world data) a szimulációkban betöltött szerepéről viszony-

lag kevés értékelő mű született. A rendelkezésre álló statisztikai adatokat a szimulációkhoz egyszerűen csak felhasználják, és ez tulajdonképpen természetes és érthető folyamat. Akik mégis foglalkoznak a kérdéssel, azok általában a kvantifikáció problémájával vagy az adatoknak a szimulációra gyakorolt különféle hatásaival foglalkoznak (Ören [2001]).

A multiágens-modellezés statisztikai adatigénye lényegében nem különbözik más szimulációs eljárások statisztikai adatszükségletétől. Ha mégis specifikumokat keresünk, akkor annyi mindenképpen megállapítható, hogy igen sok esetben ugyanabban a modellben egyszerre használnak makro- és mikroadatokat. Ez azonban nem kizárólag a multiágens modellekre jellemző. Egyes integrált (más modellfilozófiával közösen működő) multiágens modellek hatalmas mennyiségű statisztikai adattal dolgoznak. Ilyenek a térinformatikai alkalmazások (például a földhasználati vagy az ökológiai modellekben), melyeknél a statisztikai megfigyelési egységek sűrű hálójára kerül feldolgozásra. A megfelelő mennyiségű és pontos statisztikai adat összegyűjtése tehát adott esetben hatalmas méretű feladat.

Ahogy tehát a rendszerdinamikai vagy ökonometriai modellekkel, úgy a multiágens modellekkel sem lehet a valóságos világ jelenségeit modellezni statisztikai adatok és statisztikai módszerek felhasználása nélkül. A statisztikai adatok legjellemzőbben az egyes ágensek működését leíró algoritmusokban és a környezetet a „világot” leíró „exogén változóban” valamint a modellek induló paramétereinek beállításában (kalibráció) jelennek meg. Ebből következően a modellek inicializálása és a beállítási hibák elkerülése nagy pontosságot igénylő feladat (Schruben [1982]).

A statisztikai módszerekkel hasonló a helyzet. Ahol nem kifejezetten speciális technikák alkalmazásáról van szó (például a mesterséges intelligencia területén alkalmazott eljárásoknál a tanulásról), ott egyértelműen különféle matematikai és statisztikai eljárásokat használnak az ágensek működésének specifikációjához. Tekintettel arra, hogy a multiágenssel működő szimulációs folyamatok – adott külső feltételek mellett – az események történetét mutatják be, ezért a statisztikai adatok legtöbbször idősorokat jelentenek. Az idősorok nemcsak mint működési jellemzők, feltételek és belső függvények vannak jelen, hanem mint a szimuláció eredményei is. A multiágens-modellek futására jellemző, hogy – a beépített „véletlenek” miatt még azonos induló feltételek mellett is különböző eredményeket hoz ki. Ezeket az idősorokat (az eseményteret) „hagyományos” adatokként kezelve, „hagyományos” szoftverekkel elemzik. Speciális szerepet kapnak a statisztikai idősorok és statisztikai eljárások, amikor azokat a szimulációs modellek validitásvizsgálatára használják. Ezekben az esetekben az idősorok közvetlenül nem épülnek be a modellekbe (Kleijnen [1998]).

Az ágensek működési specifikációját, algoritmusait ugyanakkor nemcsak a modellépítés hagyományos forrásaiként szereplő statisztikai adatsorok képezik, hanem célzott véleménykutatásokon, speciális megfigyeléseken, kísérleteken és szakértői

becsléseken alapuló információk is. Gyakran előfordul, hogy egy konkrét, helyi probléma szimulációs modelljének elkészítéséhez a modellben szereplő személyek és csoportok szokásait vagy szervezetek akcióit és reakcióit személyes interjúkkal tárják fel, és ezek a statisztikai jellemzők lesznek az ágensek viselkedés-meghatározó paraméterei.

4.3. Multiágens modell fejlesztő szoftverek

Az ágensmodell az ágensvilág, és ezen keresztül a valódi világ egy szeletének vagy egy fiktív modellnek számítógépes reprezentációja. Az ágensmodell tehát egy különféle algoritmusokra épülő, működő szoftver, mely az eddig ismertetett elemekből – ágensek, környezet, tudásbázis – épül fel. Az ágensmodell lehet egy asztal, melyen a játékrrobotok mozognak, egy üzem, melyben az egyes berendezések egymáshoz kapcsolódnak, lehet egy ország (városaival és úthálózatával), és akár az egész Föld, országaival, kereskedelmével és nemzetközi kapcsolataival. Az ágensmodellek az ágensvilág egyszerűsített, a szoftverágenseken keresztül megvalósítható formái. A szakirodalom elsősorban ezzel foglalkozik, és elsősorban a „szoftverágens” (software agent) kifejezést használják. Úgy tűnik, először fejlesztették ki az eszközt és valósították meg a szoftvert (és nevezték el szoftverágensnek), majd utóbb keresnek hozzá alkalmazásokat. Ez általában szokatlan, mert előbb szokott a probléma felmerülni és utóbb keresnek rá megoldásokat. Valószínű, hogy a társadalomtudományok igényei azért nem jelentek meg idáig nagy intenzitással, mert a kutatók nem ismerték az ágensekben rejlő lehetőségeket.

Az ágensmodellek működésének leírására számos modellt készítettek, és egyre több publikáció születik ebben a témában. Egyetemek, kutatóintézetek nagy energiákat fordítanak minél bonyolultabb, az igényeket mind pontosabban kielégítő ágensek definiálására, létrehozására. Ennek a fejlesztési folyamatnak a vége nem látható. Szerencsére az ágensmodell felépítéséhez van hova fordulni. Ebből nem következik az, hogy kész szoftverágensek vannak minden kérdésfeltevésre. Inkább arra lehet számítani, hogy a matematikusok, szoftverfejlesztők mára számos olyan eszközt kidolgoztak, amelyekből felépíthetők az igények szerinti szoftverágensek.

A szoftverágensek különféle algoritmusok szerint működő számítógépes program-részek. Ezek különféle demonstrációs, oktatási, ipari, kommunikációs és társadalomkutató feladatokat látnak el. Minden társadalomtudományi szimuláció, minden multiágens alkalmazás szoftverágensekből épül fel. Egy szoftverágens lehet egy néhány soros egyszerű program, de akár több tízezer sorból álló bonyolult algoritmus is. Az modellkonceptió kialakítása hosszadalmas, több lépcsős folyamat. Még a látszólag egyszerű modellek mögött is gyakran hosszadalmas munka áll. Ennek a folyamatnak a bemutatása azonban nem tárgya a jelen tanulmánynak.

A modell megalkotásának utolsó fázisa a programozás. A modellek folyamatosan és könnyen módosíthatók a koncepció változása esetében, vagy a futási eredmények ismeretében.

Ágensmodellek készítésére néhány új programozási technika (például a Java) kiválóan alkalmas. Több népszerű ágensmodell-készítő program található az interneten. Használatukhoz programozási ismeretek szükségesek. Van olyan közöttük, melyek saját programozási nyelvet használnak. Számuk több tucat, legismertebbek a SWARM, a Repast, a Mason, a SimAgent, a Cormas és a Netlogo. Használatukkal olyan programok írhatók, melyek a képernyőn mozgóképeken mutatják a kétdimeziós térben lejátszódó dinamikus folyamatokat. A vizualizációt segítő harmadik „dimenzió” a szín. Ezeket idődiagramok és különféle statisztikák egészítik ki.

A modellkonceptió kialakítását a multiágens modellek programozása követi. Ennek során be kell állítani a modellvilág méretét, az ágensek függvényeit (változóit), a környezet jellemzőit, a különféle paramétereket, a futás és az eredmények megjelenítésének (animációk, diagramok stb.) módjait és a kezdeti állapotokat. Lehetőség van külső adatok beolvasására is. A modelleket legtöbbször kifejezetten erre a célra létrehozott „modellfejlesztő környezetben” készítik. Ezek tulajdonképpen modellépítő vagy programíró programok, melyek utasításkészletei, grafikus interfészei és sok más egyéb eszközei kifejezetten a modellkészítés céljaira készültek. A programozáshoz némi gyakorlat szükséges.

A futási eredmények megjelenítései és értelmezései több szempontból különböznek a különféle egyenletekre épülő vagy rendszerdinamikai modellektől. A folyamatok általában a számítógép képernyőjén mozgásukban láthatók. Egyszerűbb esetekben, például egy négyzetes „világban” való különféle ágenstevékenységek (szétterjedések, diffúz folyamatok stb.), bonyolultabb – például ökológiai – modellekben az adott régiót, természeti jellegzetességeinek mozgásait, színekkel vagy szimbolikus alakzatokkal ábrázolva. Az egyes futások még azonos kiinduló feltételek mellett sem hozzák feltétlenül pontosan ugyanazokat a eredményeket, mivel a véletlen egyértelműen jelen van a folyamatokban. A gyakorlatban azonban a modelleket különböző kiinduló feltételekkel sokszor futtatják. Ezzel a módszerrel elérhető, hogy a valóság pontosan nem ismert jelenségeinek modellbeli reprezentációi különféle értékeket vegyenek fel. Ki lehet így próbálni, hogy mekkora és milyen az a „viselkedési tér”, amelyben a szimulált világ jelenségei lejátszódnak. Egy futás ugyanis csak egy lehetséges eseménysor ebben a viselkedési térben, de a paraméterek és függvények különféle értékeivel végzett programfutási sorozatok (akár több ezer is) szó szerint felrajzolják a különféle lehetőségeket, sőt azok valószínűségeit is.

A futási eredmények ábrázolhatóságának legnagyobb előnye az, – és ebben különbözik a korábbi modellező programok többségétől – hogy a jelenségek „mozgásai” ábrázolásához, az emergencia, inercia stb. bemutatásához számos vizuális eszköz áll rendelkezésre. Mód van továbbá diagramok generálására, statisztikai elem-

zésre, érzékenységelemzésre és végül, de nem utolsósorban összekapcsolódásra más programokkal, például geográfiai információs rendszerekkel. Szükség esetén a modellek átparaméterezhetők és újrafuttathatók, a paraméterek különféle szempontok szerint optimalizálhatók. Ez a flexibilitás a kvalitatív technikák bevonását (scenárió módszer, foresighting) is lehetővé teszi.

Az ágens alapú modellezés alkalmával az *ember* számos szerepben léphet be a rendszerbe. Lehet tervező, felhasználó, programozó, kísérletező vagy csupán megfigyelő. A modellek ötleteihez, gondolati felépítéséhez szükség van az ágensvilágot felépítő személy (vagy szakmai team) szaktudására, célkitűzéseire, témaválasztásaira. Ha a szövegben „modellező személyre” hivatkozom, akkor a valóságos értékalkotó és értékhordozó emberre gondolok, aki gondolataiban megalkotja az ágensvilágot, és a megfogalmazódott konkrét probléma alapján elkészíti a szoftverágensekből épített ágensmodellt. Az ágensmodellek esetében természetesen matematikusok, szoftverfejlesztők végzik a konkrét algoritmusfejlesztési és programozási feladatokat. Társadalomtudományi alkalmazásokban és projektekben szociológusok, pszichológusok, közgazdák stb. látják el az elméleti, modellépítési, adatgyűjtési és értékelési munkákat. Az ágensmodellek dinamikusan terjedő új alkalmazása az ún. „participatív modellezés”, melyben a felhasználók széles köre vesz részt.

4.4. A „NEW-TIES” projekt

Az Európai Unió 6. Keretprogramja által finanszírozott NEW-TIES (New and Emergent World models Through Individual, Evolutionary and Social Learning) projekt két szempontból is figyelemre méltó. Egyrészt a maga nemében ez az „első olyan kezdeményezés, amely nagyméretű és magas komplexitású számítógépes társadalmat hoz létre” (*NEW TIES-honlap*), másrészt a konzorciumnak magyar résztvevője is van (Eötvös Loránd Tudományegyetem).

A projekt céljai a következők: 1. emergens kultúrával rendelkező mesterséges társadalom fejlesztése, 2. az emergenciát szimulálni képes – egyéni, evolúciós és szociális tanulást egyaránt szimulálni képes – nagyteljesítményű szoftver (emergence engine) létrehozása, 3. a szerzett tudást a populáció más tagjaival megosztó szociális tanulási mechanizmusok fejlesztése, elemzése és használata.

5. Társadalomtudományi alkalmazási területek

A multiágens modelleket jelenleg három területen használják: 1. demonstrációs és oktatási célokra, 2. konkrét problémák szimulációjára a döntéselőkészítési folya-

matban és 3. az ún. „participatív modellezésben”, amikor minden érintett résztvesz a modellkészítésben és alkalmazásban.

Ez a három terület egyben a multiágens modellezés elterjedésének fázisait is jelzi: eleinte oktatási célból használták, később konkrét elméleti, piaci és közigazgatási igényeket elégített ki, napjainkban pedig az érintettek bevonásával – sok más előny mellett – az egyes problémák megoldásában a demokratikus részvételt is segíti. Ez az egymásutánosság ugyanakkor nem jelenti a korábban megjelent alkalmazások jelentőségének csökkenését.

1. A demonstrációs vagy oktatási célokat szolgáló modellek ágensei nagyon egyszerűek. Sokan mutatják be a „hangyatársadalmat”, a „tömeget” és az egyéb egyszerű „mesterséges társadalmakat” kétdimenziós mozgó ábrákat mutató programokkal, melyeket – jobb elnevezés hiányában és alkalmazkodva a szokásos címkéhez – „viselkedési modelleknek” neveznek. Ezek szemléletesen mutatják egy közösség nem koordinált, hanem az egyedek kapcsolataira épülő együttes mozgását, mint például a madárraj repülését. A modellek ezen körét mesterséges társadalmaknak hívja a szakirodalom.

2. A felhasználás másik, egyre nagyobb részarányban megtalálható része, a valós társadalmi folyamatok szimulációja. Konkrét alkalmazási területei közül leggyakoribbak az üzleti élet, a tág értelemben vett gazdaság, az ökológia és természeti környezet, a szervezetek, a politika, a társadalom, a szállítás, az urbanizáció és ezek kapcsolatai.

3. Egyre inkább elfogadottá válik az a nézet, hogy a társadalmi szimulációk hatékonyabbak, ha a potenciális felhasználók és az érintettek bekapcsolódnak a modell specifikációjába, tervezésébe, tesztelésébe és használatába. Az eljárás haszna, hogy megkönnyíti a problémát érintő adaptív tanulási folyamatokat és hatékonyabbá teszi a decentralizált közösségi (kollektív) döntési és menedzselési folyamatokat. A multiágens-modellezés erre igen alkalmas flexibilitása, nagyfokú vizualitása és könnyű programozhatósága miatt. Az irányzat már ott tart, hogy a szakirodalomban, az esettanulmányok ismertetésein túl, értékelő és oktató publikációk jelennek meg (*Ramanah–Gilbert* [2004]). Bár a hangsúly jelenleg más régiókon van, a participatív modellezés elvei szerint működő projektek száma az Európai Unióban is növekszik. Ilyen például az Európai Unió 6. Keretprogramja által finanszírozott SimWeb projekt, mely az európai üzleti élet számára a digitális tartalomszolgáltató szektorban nyújt stratégiai információkat (*Simweb-honlap*).

A multiágens-modellezés társadalomtudományi alkalmazásainak egyik lehetséges csoportosítása a modellek tárgya alapján történik. Szimulálható például az egyének és a családok (háztartások) viselkedése; a szervezetek belső működése; a szervezetek kapcsolatai, az államok kapcsolatai, valamint a geográfiai és ökológiai folyamatok. További típusok képezhetők a vizsgált folyamatok tartalma, jelentése szerint (például társadalmi konfliktusok, hatalom, agresszió, mintakövetés, közlekedés, betegségek terjedése, evolúció, árvizek hatásai, politikai beállítódás változásai, üzleti stratégiák kölcsönhatásai stb.) További különbségképző szempont – ebben a kérdésben a modellkészítők véleménye megoszlik – az ágensmodellek bonyolultsága és mérete. Az egyik irányzat szerint a legfontosabb mozzanatok kiemelésével és a többi elhanyagolásával minél kisebb és minél egyszerűbb, de annál pontosabb modelleket kell készíteni, a módszer tehát tudományos és nem „társadalmi mérnöki”. A másik álláspont szerint a valóság pontosabb modellezése érdekében igyekezni kell minél nagyobb tudásbázisokat, minél bonyolultabb ágenseket létrehozni. Ilyen módon a multiágens-modellek az előrejelzésekben is hatékonyan alkalmazhatók (*Vág [2003], [2005]*).

A modellek felépítéséhez elméletek, működési leírások, szabályok kelljenek. Ezek lehetnek a labdarúgás szabályai a népszerű robotfoci mérkőzéseken, de lehetnek jogszabályok vagy egyéb társadalmi törvényszerűségek és elméletek. A *társadalomelméletek* tehát kvantifikált módon megjelennek mind az ágensek, mind a környezet működésében. Ezek a teóriák a pszichológia, a szociológia, a közgazdaságtan, az antropológia, az evolúció stb. közismert modelljei vagy képletei, és megjelennek a fogyasztásszociológia és a marketing elemei is.

Az egyén viselkedésének a szimulációja például mentális működésének interpretációján alapul. A modellépítés során ehhez számos feladatot kell megoldani, például az egyedi döntési folyamat, a reprodukció, a kereszteződés, a mutáció és a környezet megfelelő interpretációját. A megoldás attól függ, hogy az ágens mekkora intelligenciát kap „mentális” folyamataihoz.

A multiágens modellek társadalomtudományi alkalmazásainak világszerte egyre gyorsabban növekvő irodalma van. Multiágens-modellezéssel Magyarországon is foglalkoznak szakemberek, de ők elsősorban a szoftverfejlesztéshez vagy a mesterséges intelligencia-kutatásokhoz kapcsolódnak, és kevésbé a társadalomtudományokhoz. Az előfutárok között *Gulyás László* és *Tatai Gábor* munkássága (*Gulyás–Tatai [1999], Gulyás [2002]*), továbbá *Lőrincz András* (ELTE) az említett NEW-TIES projektben és *Vicssek Tamás* (ELTE) publikációi érdemelnek figyelmet. Társadalomtudományi szempontból *Kovács Balázs* és *Takács Károly Szociológiai Szemlében* megjelent írása foglalkozik a multiágens-modellezéssel (*Kovács–Takács [2003]*). Érdekes forrás még az Interneten található Agent Portal, az első magyar nyelvű mesterséges intelligencia-portál (*Agent Portal honlap*).

5.1. Gazdaság és piac

A hagyományos közgazdasági elméletek a közelmúltig elsősorban egyensúlyi állapotban működő, ideálisan viselkedő résztvevőkkel dolgoztak. A dinamikus változó helyzeteket és a heterogén résztvevőket ezekkel a statikus és homogén módszerekkel nem lehetett kezelni. A problémára adott egyik válasz a multiágens alapú közgazdasági modellek (ACE) bevezetése. Ez a módszer a gazdaságot autonóm, interaktív, tanulni képes ágensek fejlődő rendszerének, vagyis a komplex adaptív rendszerek egyik alkalmazási területének tekinti. A szervezetek egymás közötti kapcsolatai elsősorban a cégek piaci viselkedését szimuláló multiágens modellekben jelennek meg. Ezekben az esetekben is viszonylag könnyű megtalálni az elméleti és empirikus alapokat a közgazdasági szakirodalomban. *Leigh Tesfatsion* összehasonlító tanulmányában (*Tesfatsion* [2002]) az ACE-kutatások nyolc területét említi:

1. A „tanulás és gondolkodás” irányzat lényege, hogy az ágenseket tanuló algoritmusokkal látják el. A viszonylag egyszerűbb esetekben minden ágens ugyanazzal az algoritmussal dolgozik, bonyolultabb szimulációkban a tanulóalgoritmusok lokálisan eltérnek és az ágensek a „szomszédok” viselkedését figyelembe véve alakítják stratégiájukat. Ezekben az eljárásokban a figyelem kevésbé az ágensek interakcióira, mint inkább az egyes tanuló algoritmusokra, azok eredményességére, a nyerő stratégiákra irányul.

2. A „viselkedési normák evolúciója” az ágens alapú modellezés népszerű területe. *Schelling* munkássága nem kis hatással volt a közgazdákra. Szegregációs modellje (2. ábra) a szimuláció során szemléletesen ábrázolja az egyszerű szabályokon alapuló viselkedési minták terjedését (*Schelling* [1978]). *Axelrod* bemutatja, hogy miként alakul ki kooperáció a reciprocitás elvén egyébként önzérdekű ágensek között még akkor is, ha nem vagy csak alacsony szinten tekint „előre” az ágensek egy része. Ez a folyamat jelentősen befolyásolta a játékelmélettel és közgazdaságtannal foglalkozó szakembereket, különösen a „korlátozott racionalitással” és az evolúciós dinamikával foglalkozó szerzőkre hatott serkentően (*Axelrod* [1997]).

3. Piaci folyamatok alulról felfelé irányuló modellezése. A különféle piaci folyamatok önszerveződése az ACE-kutatások egyik leggyakoribb területe. Többek között modellezték a pénz, az elektromos energia, a munkaerő, a természeti erőforrások, a kiskereskedelem és a szórakoztatóipar piacát.

4. A gazdasági kapcsolatrendszerek létrejötte, a partnerek kiválasztása, a tranzakciójáratok szerveződése elsősorban a tranzakciós

költségek szempontjából érdekes. Ezért a kutatók érdeklődése az ágensek közötti tranzakciók jellegzetességeire, például a kapcsolódó beruházásokra összpontosult.

5. Szervezetek modellezésére a multiágens-modellező szoftverek kiválóan alkalmasak. A publikációk egy része – például (*Prietula et al.* [1998]) – részletesen elemzi a szervezet struktúrája és viselkedése közötti kapcsolatot. Más tanulmányok a cégek viselkedése és a piac jellegzetességei (árak, növekedés, piaci struktúrák) közötti összefüggéseket vizsgálják.

A piaccal foglalkozó modellkészítők az elméleti konstrukciók szimulációi mellett konkrét szektorok, termékek és szolgáltatások piaci jellemzőinek, továbbá a vevők és eladók viselkedésének szimulációjával foglalkoznak. Az elvi szinten felmerülő problémákat (néha hipotézis-ellenőrzéssel) elemző multiágens-szimulációk kedvenc témái az üzleti folyamatok modellezése, a tárgyalási stratégiák és „alkudozások” modellezése, különféle játékelméleti koncepciók összehasonlítása, döntések és elvárások hatásainak vizsgálata, a tanulási képességekben rejlő lehetőségek kihasználása stb. Az alkalmazások körében a legnépszerűbb téma a pénzpiac, a tőzsde, de emellett más kérdések is gyakran megjelennek, mint például a vállalatok együttműködése, a komplex gyártási folyamatok és ellátórendszerek szimulációi, a fogyasztói szokások vizsgálata stb.

5.2. Politika

A társadalom nagy csoportjai és az államok szintén gyakran jelennek meg a multiágens modellekben. A téma legtöbbször a nemzetközi kapcsolatok, a kereskedelem és a politikai konfliktusok.

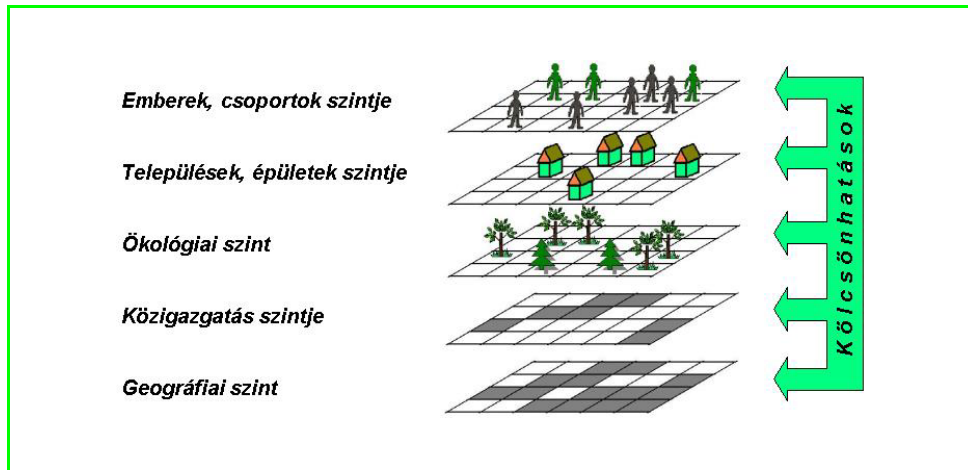
Ian Lustick PS-I (Political Science–Identity) „politikatudomány – identitás” modelljét eredetileg a konstruktivista identitáselmélet kvantifikációjára és tesztelésére fejlesztették. Előzménye az ABIR (Agent–Based Identity Repertoire) „ágensalapú identitáskészlet”-modell különféle lokális identitások vagy egyéb lehetőségek (értékek) interakcióit szimulálta, különféle helyi populációméret mellett. Az identitások idővel változnak, látens identitásokat fejeznek ki vagy – helyi hatásokra – tanulnak új identitásokat. A PS–I-t technikailag képzetlen felhasználók is alkalmazhatják modellépítésre és futtatásra.

Tanulmányában a szerző a politikai identitás dinamikáját egy tipikus autoritáriánus közel-keleti muszlim országban mutatja be, ahol az ágensek a globalizáció nyomásának, vallási mobilizációnak és egyéb konfliktusoknak vannak kitéve egy kulturálisan megosztott országban (*Lustick* [2002]).

5.3. A geográfia

A geográfia és az ökológia szinte „adja magát”, mivel az ágensmodellek működését gyakran folyamat közben, a számítógép képernyőjén láthatjuk. Az események ilyenkor térben zajlanak, így a geográfiai és ökológiai alkalmazások elég gyakori témái az ágensmodellezésnek. A társadalmi folyamatok, például mobilitás, szegregáció vagy ökológiai problémák esetében az ember és természet kölcsönhatásának elméleti szépen megjeleníthetők a képernyőn. Egy ilyen többszintű modell elméleti felépítését mutatja a 3. ábra. Látható, hogy az egyes szintek önmagukban is és kölcsönhatásaikban is szimulálhatók.

3. ábra. Többszintű kölcsönhatások geográfiai modellben



A földhasználat a legelterjedtebb geográfiai modellezési téma. A földhasználat változásainak multiágens-modellezéséről (multi-agent system models of land-use/cover change, MAS/LUCC models) kiváló áttekintést nyújt Parker és munkatársainak tanulmánya. Ezek a modellek a cellákra felosztott földhasználati modelleket a döntéshozókészítés ágens alapú reprezentációjával kapcsolják össze, vagyis az ágens és környezetük kölcsönös függőségeit és visszacsatolásait integrálják. A cikk számos modellt ismertet, a formális hipotéziseket tesztelő absztrakt modellektől a szcenárió- és policy-elemzésre alkalmas, a részleteket alaposan feltáró szimulációs modellekig. Elemzi továbbá a validálás és verifikáció kérdéseit, és ismerteti a még nyitott kutatási kérdéseket is. A szerzők tanulmányuk végén megállapítják, hogy a földhasználat multiágens-modellezése kifejezetten alkalmas heterogén feltételek mellett megvalósuló komplex térbeli interakciók reprezentációjára és a decentralizált, autonóm döntések modellezésére (Parker et al. [2002]).

5.4. Ökológia

Az ágens alapú ökológiai modellek aránya, a többi ökológiai modell mellett lassan, de biztosan növekszik. Sajátosságuk, hogy nem „tisztán” ökológiai modellek, hanem összekapcsolódnak egyéb jelenségekkel, kérdésfeltevésekkel is, így például a területek (földek) hatékony használatával, a környezetvédelemmel, a természeti katasztrófákkal és így tovább. Némely ágens alapú ökológiai modell egyszerű és oktatási célokat szolgál (lásd: ”manchesteri pillangók”), mások igen bonyolultak és valós problémák megoldásához járulnak hozzá.

A „manchesteri pillangók” elnevezés egy ökológiai modellt takar. Több mint száz évvel ezelőtt *Tutt* megfigyelte, hogy az egyik fa világos kérgén fehér szárnyú molylepkék élnek. Ezzel a rejtőszínnel elsősorban azok váltak a velük táplálkozó madarak áldozataivá, melyek szárnyai sötétebbek voltak a többiekénél. A technikai forradalom idején Manchester igen szennyezetté vált, a korom a fák kérgét elsötétítette. Ilyenformán – fokozatosan – azok a pillangók kerültek evolúciós előnybe, melyek – mutáció révén – sötétebb szárnyal születtek. A molylepke-populáció így ebben az időben sötét szárnyúvá vált. A XX. század második felében – a fejlettebb technológiák bevezetésének hatására – a szennyezés jelentősen csökkent, és a fák fokozatosan megtisztultak, és a pillangók is evolúciós kiválasztódással visszafehéredtek. A megfigyelt jelenség látványosan szimulálható multiágens modellel. *Uri Wilensky* modelljében a pillangók mutációjának gyorsasága, a pillangók túlélőképessége (ami a velük táplálkozó madarak számát, étvágyát stb. foglalta magába), és a környezet változásának sebessége szabályozható.² A szimuláció, a várakozásnak megfelelően, hűen tükrözte a folyamatot (*Wilensky* [1998]). Emellett a modellnek sokatmondó aktualitása is van. Egyértelműen kimutatható ugyanis a segítségével, hogy milyen környezetváltozási sebességet nem tud követni az evolúciós változás. Amikor a szimuláció futtatása során az elsötétedés-kivilágosodás túl hamar érkezett, akkor a pillangók kipusztultak. Ez a probléma a valóságos világ ökológiai előrejelzéseiben egyre gyakrabban olvasható. Az utóbbi években több, kifejezetten ökológiai problémák szimulációjára alkalmas szoftvert fejlesztettek, ilyen például a már említett *Cormas* (*Cormas-honlap*).

6. Összefoglaló

A multiágens modellek előnyeit és alkalmazhatóságát mérlegelve megállapítható, hogy a tudományban, az oktatásban és a döntéshozatalban a következő évek vagy

² A modell internetes böngészőben is fut, a <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/PepperedMoths> címen megtekinthető.

évtizedek legnépszerűbb eljárása lesz. Minden jel arra mutat, hogy nem önmagában fogják használni, hanem más modellezési filozófiával, szoftverrel és adatbázissal egyesítve. Ezt a prognózist a módszer következőkben összefoglalt tulajdonságai garantálják.

a) A multiágens modellek *dinamikus, nem egyensúlyi rendszerek* modellezésére alkalmasak. A differenciálegyenletekre épülő vagy rendszerdinamikán alapuló modellektől elsősorban abban különböznek, hogy alkotóelemei, a heterogén ágensek, a működés közben tanulni és a környezethez alkalmazkodni, vagy azt innovatív módon befolyásolni képesek, aminek következtében, – a visszacsatolás folytán – folyamatosan változtatják viselkedésüket. Egyéb modellezési eljárások ezeket az emberi társadalomra jellemző sajátosságokat nehezen tudják teljesíteni.

b) Viszonylag egyszerűen működő ágensekkel is igen bonyolult viselkedések szimulálhatók. Pontosabban általánosan elterjedt vélemény az, hogy amit a multiágens-szimuláció során látunk az magában a *komplexitásnak* szimulációja. Ez az állítás nem vonható kétségbe, hiszen nem definiálódik a komplexitás (véleményem szerint nincs is értelme túl sok energiát fordítani erre), és valóban, – szemben a korábbi nehezséges eljárásokkal, – igen egyszerűen programozott ágensekkel létrehozhatók egyébként nehezen áttekinthető vagy egyáltalán nem előrelátható struktúraváltozások.

c) A társadalomtudomány átmenetileg sem tekintette megoldottnak az ún. mikro- és makroszint (az egyének és a csoport, az egyének és a társadalom, a cégek és a gazdaság egésze stb.) összekapcsolódását, vagyis annak magyarázatát, hogy a különböző szintek elméletei (pszichológiák és társadalommagyarázatok) miként kapcsolhatók össze, afféle „egyesített” ember-társadalom elméletbe. Az ún. „középszintű elméletek” megjelenése ugyan figyelemreméltó mérföldkő volt a társadalomtudományban (ilyen például a *Durkheim* és *Merton* nevéhez fűződő anómiaelmélet), mégis, a gyakorlatban viszonylag kevés ilyen született. Szemben a társadalomtudományban tipikus „felülről lefelé” történő megközelítéssel, amikor is a csoportra vagy a társadalom egészére megfogalmazott magyarázatokból kiindulva képződik az egyén viselkedése, a multiágens-filozófia „alulról felfelé” építkezik. A szimuláció során egyrészt azt vizsgálják, hogy milyen időben változó tulajdonságokat mutat az ágensek összességének dinamikája alapján a csoport (a társadalom), másrészt a csoport új (emergens) tulajdonságai, például az új viselkedési normák miként hatnak vissza az egyes ágensekre. A *makro- és a mikroszint összekapcsolása* tehát különleges lehetőség a tudomány és az oktatás, sőt a politika számára is.

d) A multiágens modellek olyan felhasználói interfésszel rendelkeznek, melyek segítségével könnyen és látványosan bemutathatók az időben lejátszódó folyamatok, hiszen – mint említettem – a multiágens modellek (mint minden szimuláció) eseménytörténeteket hoznak létre. A képernyőn folyamatosan mozogva láthatók az aktuális és korábbi állapotok, térképeken mutathatók be a felgyorsított ökológiai és tár-

sadalmi folyamatok, és így tovább. Tehát sokkal *könnyebben megfigyelhetők és értelhetők* a jelenségek így, mintha csak a beavatottak számára felfogható és ezáltal nehezen kontrollálható, bonyolult képleteket látnánk.

e) A fejlesztőkörnyezetek előnyös tulajdonságai miatt a multiágens modellek összekapcsolhatók egymással és más modellekkel. A multiágens modelleket az utóbbi években leggyakrabban a geográfiai információs rendszerekkel használják együtt. A multiágens modell-készítő, -fejlesztő környezetek oly mértékben segítik a felhasználókat, hogy könnyedén, akár percek alatt, megváltoztatható a modell kódja, új modulokat lehet bekapcsolni, régieket kiiktatni, új összefüggéseket létrehozni és így tovább. A *flexibilitás, kiterjeszhetőség és változtathatóság* tovább növeli a multiágens modellek népszerűségét.

A komplex rendszerek és modelljeik – mint azt oly sokszor említik mostanában – már a kezdeti feltételek kis változásaira is érzékenyek. Ebből következően a modelleknek egyértelműen specifikáltaknak és könnyen érthetőeknek kell lenniük. Tisztán kell látni azt is, hogy a megfigyelt viselkedés miként származik a kezdeti feltételekből. Az átláthatóság tehát nem csak előny, hanem egyben követelmény is. A multiágens modellek többsége nagyszámú ágens (néhány tíztől akár ezres nagyságrendig) tartalmaz, és az időlépések száma is akár több száz lehet. Ez a körülmény a modell magas teljesítményét, megbízható működését és kalibrálhatóságát feltételezi. A komplex jelenségek iránti növekvő érdeklődésnek köszönhetően egyre több kutató, sőt más területen tevékenykedő érdeklődő foglalkozik a bonyolult jelenségek modellezésével. Ez az igény is erősíti azt a tendenciát, hogy a modellek és a modellépítő környezetek jelentős része letölthető az Internetről és a kész modellek egy része online is futtatható, illetve áthelyezhető egyik számítógépről a másikra. A modellek készítése és használata a nem szakértők számára is könnyen megoldható.

A multiágens modellek hátrányai közül viszonylag keveset tárgyal a szakirodalom. Ennek egyik oka, hogy a korábbi időszak publikációi között meglehetősen magas arányban szerepeltek az elméleti vagy didaktikus modellek, mint például a fent idézett „szegregáció” és a „manchesteri pillangók” modell. Ezekkel szemben nem merült fel semmilyen verifikációs vagy validitási igény. Az utóbbi években erre a problémára a modellezők és a matematikai statisztikusok egyre nagyobb figyelmet szentelnek. Tekintettel a feladat bonyolultságára, a megoldás nem született meg azonnal, de minden remény meg van rá, hogy a megfelelő technikákat előbb-utóbb publikálják.

Irodalom

ACT-R HONLAP: <http://act-r.psy.cmu.edu/about/> 2005. augusztus 15.

AGENT PORTAL: <http://www.agent.ai/>

- ANDERSON, J. R. ET AL. [2004]: An integrated theory of the mind. *Psychological Review*. 111. évf. 4. sz. 1036–1060. old. <http://act-r.psy.cmu.edu/> 2005. augusztus 15.
- ANDERSON, J. R. –LEBIERE, C. [1998]: *Atomic components of thought*. Carnegie Mellon University, Lawrence Erlbaum Associates. <http://act.psy.cmu.edu/> 2005. augusztus 15.
- AXELROD, R. [1984]: *The evolution of cooperation*. Basic Books. New York.
- AXELROD, R. [1997]: *Complexity of cooperation: agent-based models of competition and collaboration*. Princeton University Press. Princeton.
- AXTELL, R. – EPSTEIN, J. M. [1994]: Agent based modeling: understanding our creations. *The Bulletin of the Santa Fe Institute*. (Winter.) 28–32. old.
- AXTELL, R. [2000]: *Why agents? On the varied motivations for agent computing in the social sciences*. Center on Social and Economic Dynamics. Working paper. 17. sz. November
- CARIANI, P. [1992]: Emergence and artificial life. In: *Christopher G. Langton – Charles Taylor, J. Doyne Farmer – Steen Rasmussen* (szerk.): *Artificial life II*. Santa Fe Institute studies in the sciences of complexity. Addison-Wesley, Redwood City, 775–797. old.
- CASTELFRANCHI, C. [1998]: Through the minds of the agents. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 1. évf. 1. sz. <http://www.soc.surrey.ac.uk> 2005. augusztus 15.
- CHANNON, A.D. – DAMPER, R. I. [1998]: The evolutionary emergence of socially intelligent agents. <http://www.soton.ac.uk/adc96r> 2005. augusztus 15.
- CHATTOE, E. [1998]: Just how [un]realistic are evolutionary algorithms as representations of social processes? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 1. évf. 3. sz. <http://www.soc.surrey.ac.uk> 2005. augusztus 15.
- COGNET/iGEN HONLAP: <http://www.cognitiveagent.com/> 2005. augusztus 15.
- CORMAS HONLAP: <http://cormas.cirad.fr/indexeng.htm>
- DAWID, H. – REIMANN, M. – BULLNHEIMER B. [2001]: To innovate or not to innovate? *IEEE transactions on evolutionary computation*. 5. évf. 5. köt. 471–481. old.
- FUTÓ I. szerk. [1999]: *Mesterséges intelligencia*. Aula Kiadó. Budapest.
- GILBERT, N. –TROITZSCH, K. G. [1999]: *Simulation for the social scientist*. Open University Press. Milton Keynes.
- GILBERT, N. [1995]: Emergence in social simulation. In: *Gilbert, N. – Conte, R.* (szerk.) *Artificial societies: the computer simulation of social life*. UCL Press. London.
- GULYÁS L. – TATAI G. [1999]: Ágensek és multiágensrendszerek. In: *Futó I.* (szerk.) *Mesterséges intelligencia*. Aula Kiadó. Budapest.
- GULYÁS L. [2002]: On the transition to agent-based modeling: implementation strategies from variables to agents. *Social Science Computer Review*. 20. évf. 4. sz. 389–399. old.
- JANSSEN, M. A. – JAGER, W. [1999]: An integrated approach to simulating behavioural processes: a case study of the lock-in of consumption patterns. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2. évf. 4. sz. <http://www.soc.surrey.ac.uk> 2005. augusztus 15.
- KETCHPEL, S. [1993]: *Coalition formation among autonomous agents*. *Proceedings of European workshop on modelling autonomous agents in a multi-agent world [MAAMAW-93]*. Springer-Verlag. Heidelberg.
- KLEIJNEN, J. P. C. [1998]: *Validation of simulation, with or without real data*. Department of Information Systems and Auditing (BIKE)/Center for Economic Research (Center). <http://greywww.kub.nl> 2005. augusztus 15.

- KOVÁCS B. – TAKÁCS K. [2003]: Szimuláció a társadalomtudományokban. *Szociológiai Szemle*. 3. sz. 27–49. old.
- LAIRD, J.E. – NEWELL, A. – ROSENBLOOM, P. S. [1987]: SOAR: An architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence*. 33. évf. 1. sz. 1–64. old.
- LUSTICK, I. [2002]: PS-I: A user-friendly agent-based modeling platform for testing theories of political identity and political stability. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 5. évf. 3. sz. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk> 2005. augusztus 15.
- MACY M. W. [1998]: Social order in artificial worlds. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 1. évf. 1. sz. <http://www.soc.surrey.ac.uk> 2005. augusztus 15.
- MACY, M. W. – WILLER K. G. R. [2002]: „From factors to actors: computational sociology and agent-based modeling. *Annual Review of Sociology*. 28. évf. Augusztus. 143–166. old.
- MILLER, J. – PAGE, S. E. [2004]: The standing ovation problem. *Complexity*. 9. évf. 5. sz. 8–16. old. <http://zia.hss.cmu.edu> 2005. augusztus 15.
- NEW TIES HONLAP: <http://www.new-ties.org> Elérés dátuma: 2005. augusztus 15.
- PARKER, D. C. ET AL. [2002]: Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review. August 15. Special Workshop on Agent-Based Models of Land Use, October 4–7. *Annals of the Association of American Geographers*. Irvine. California.
- PRIETULA, M. J. – CARLEY, K. M. – GLASSER, L. [1998]: *Simulating organizations: computational models of institutions and groups*. The MIT Press. Cambridge.
- RAMANAH, A. M. – GILBERT N. [2004]: The design of participatory agent-based social simulations. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 7. évf. 4. sz. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk> 2005. augusztus 15.
- SCHELLING, T. C. [1971]: Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*. 1. évf. 1. sz. 143–186. old.
- SCHELLING, T. C. [1978]: *Micromotives and macrobehavior*. W. W. Norton. New York.
- SCHRUBEN, L. W. [1982]: Detecting initialization bias in simulation output. *Operations Research*. 30. évf. 569–590. old.
- SIMAO, J. – DEMAIZEAU, Y. [2003]: On social reasoning in multi-agent systems. *CAEPIA* 13. sz. <http://tornado.dia.fi.upm.es> 2005. augusztus 15.
- SIMWEB HONLAP: <http://www.simdigital.com/>
- SOAR HONLAP: <http://ai.eecs.umich.edu/soar/> 2005. augusztus 15.
- TESFATSION, L. [2002]: Agent-based computational economics: growing economies from the bottom up. *ISU Economics working paper*. 1. sz.
- ÖREN, T. I. [2001]: Impact of data on simulation: from early practices to federated and agent-directed simulations. In: *Heemink, A. et al. (szerk.): Proc. of EUROSIM*. Delft.
- VÁG, A. [2003]: The tools of artificial intelligence in socio-economic research methodology. In: (*Hideg, E. – Martinas, K. – Moreau, M. – Meyer, D. (szerk.): Complex systems in natural and social sciences*. ELFT. Budapest.
- VÁG, A. [2004a]: First generation multi-agent models and their upgrades. *Journal Interdisciplinary Description of Complex Systems*. 2. évf. 1. sz. 95–105. old. <http://indecs.znanost.org/> 2005. augusztus 15.
- VÁG, A. [2004b]: Új tendenciák a világmodellezésben. *Társadalom és gazdaság*. 26. évf. 2. sz. 199–217. old.

- VÁG, A. [2005]: *Az ágensvilág perspektívái – ágensmodellek a társadalomtudományban és az előrejelzés-készítésben. Jövőelméletek 15.* Budapesti Corvinus Egyetem. Jövőkutatás Tanszék. Budapest.
- VICSEK, T. [2001]: A question of scale. *Nature*. 411. köt. 24. sz. 421. old.
- WILENSKY, U. [1998]: *NetLogo peppered moths model*. <http://ccl.northwestern.edu> Center for Connected Learning and Computer-based Modeling. Northwestern University.

Summary

Agents play a significant role both in the theory and practice of artificial intelligence research. Beside this fact, their importance within simulation methods (system dynamics, queuing models, cellular automata, learning and other evolutionary models, etc.) is also steadily growing. The first years of the innovations of that kind are facilitated by the fact, that researchers have been stretching the limits of statistical variable based sociology and time-series and equilibrium based economic modelling. One may have witnessed this in the reception of chaos-theory and evolutionary economics. The study summarizes the basics of multiagent modelling, the working principles, its potential applications and generalizations, provides a short introduction to multiagent model-building, and finally gives some application examples. The article underlines the integration of time-series data and advanced methods to multiagent models.