

# Emergens Társadalmi Jelenségek Vizsgálata

Módszerek, eszközök és alkalmazások  
ágens-alapú szimulációkhoz

*Gulyás László*

## A doktori disszertáció tézisei

Témavezetők:

Dr. Kampis György

Tudománytörténet és Tudományfilozófia Tanszék  
Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Budapest

Dr. Váncza József

MTA Számítástechnikai és  
Automatizálási Kutató Intézete  
Budapest

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Informatikai Kar

Informatikai Doktori Iskola

Informatika alapjai és módszertana program

Programvezető: Dr. Demetrovics János

**Budapest, 2005.**

## Bevezetés

A számítógépes modellezés és szimuláció alkalmazása egyre gyakoribb a társadalomtudományokban, többek között a közgazdaságtan, a szociológia, illetve a politikatudomány területén. Ezekben a diszciplínákban a módszert gyakran „harmadik szimbólumrendszernek” tekintik, mely a szövegalapú, illetve a matematikai elméletközlés alternatívája lehet, mintegy „középút” azok között. Eszerint a számítógépes modellek megőrzik a szövegalapú modellek rugalmasságát, de egyúttal kikényszerítik a matematikára jellemző precizitást és konzisztenciát. A három „szimbólumrendszer” ugyanakkor kiegészíti egymást: gyakran mindegyikük alkalmazásra kerül ugyanarra a problémára, tudományos megértésünket segítve. Mindazonáltal, a konkrét problémától függ, melyik megközelítés a legcélravezetőbb.

*Az ágens-alapú modellezés* a számítógépes szimulációk egy – komplex társadalmi rendszerek modellezésére különösen alkalmas – új ága. Alapvetése az, hogy az egyént modellezzük, tökéletlenségeivel (pl. korlátozott kognitív és számítási képességek), egyéni jellegzetességeivel és egyedi interakcióival együtt. A modell tehát „alulról felfelé” épül – a mikro szabályokra koncentrálva, de a makró jelenségek kialakulását kutatva.

Az ágens-alapú modellek, mint minden tudományos modell, a valóság leegyszerűsítései. A mérnöki és természettudományokkal ellentétben azonban ezekben a modellekben az ágensok gyakran embereket reprezentálnak. Ezért ezek a leegyszerűsítések könnyen tűnhetnek önkényes leegyszerűsítésnek, karikatúrának. Emiatt az ilyen modellek készítése és az eredmények értelmezése különös odafigyelést igényel. Ez az oka annak, hogy bár a módszer tökéletesen alkalmas kvantitatív előrejelzésekre, az ágens-alapú modellek általában csupán az adott jelenség megértésének elősegítését, egzisztencia-bizonyítékok, illetve egészséges feltételek megalkotását tűzik ki célul. Ez a megközelítés a társadalomtudományokban gyakoribb, mint a mérnöki, vagy a természettudományokban. Mindazonáltal az ágens-alapú modellekből nyert tudás nyilvánvalóan felhasználható további, esetleg más módszerekkel dolgozó, például prediktív célú kutatásokban is. Emiatt az ágens-alapú modelleket szokás az ilyen eredményekhez vezető egyik lépcsőfoknak is tekinteni.

Az ágens-alapú modellek társadalomtudományi alkalmazásának aktuális trendje az 1990-es évek közepén kezdődött. Mivel egy társadalomtudósoknak szánt számítógépes módszerről van szó, felhasználói nem feltétlenül rendelkeznek programozói képzettséggel. Az ágens-alapú modellezés gyakorlata ezért számos és fontos feladatot adott a számítástudomány és az információtechnológia művelőinek is. 1996-ban, amikor a jelen disszertációban összefoglalt munka kezdetét vette, az ágens-alapú szimulációnak nem voltak szabványai, széles körben ismert módszertana, de még megfelelően dokumentált ajánlott megoldásai sem. Egyetlen kifejezetten erre a célra készült szoftvereszköz létezett (Swarm néven), illetve annak is csupán egy prototípusa. Ebben az időszakban az ágens-alapú modelleket ad hoc programozási módszerekkel, esetlegesen kiválasztott nyelveken írták. Az implementációs és publikációs szabványok hiánya miatt az így készült modellek „fekete dobozok” voltak: a segítségükkel nyert eredményeket lényegében lehetetlen volt ellenőrizni, vagy pontosan reprodukálni. Az elmúlt évtized azonban intenzív, bár még befejezetlen fejlődést hozott mind a módszer előnyeinek és korlátainak megértésében, mind a technikai és módszertani eszköztár fejlesztésében. A jelenlegi gyakorlat szerint a modelleket általában néhány írásban rögzített ajánlás mentén tervezik, és valamely ismert szimulációs platformon implementálják. A formalizált tervezési és implementációs megoldások használata is terjedőben van. Ennek segítségével egyre inkább lehetővé válik olyan modell-leírások közlése, melyek teljes mértékben specifikálják a viselkedést, mégis többszörösen tömörebbek a forráskódnál.

Disszertációmban az ágens-alapú modellezés módszerének fejlesztésében és alkalmazásában elért eredményeimet foglalom össze. Bevezetek egy koncepcionális keretrendszert a számítógépes modellezési megközelítések osztályozására; ismertetek egy kifejezetten ágens-alapú szimulációk létrehozására tervezett programozási nyelvet, valamint formalizálok néhány ajánlott implementációs megoldást. Ezen túlmenően két – az előbbi eszközök felhasználásával készült – konkrét ágens-alapú modelleket is ismertetem: egyet a térbeli (*spatial*) közgazdaságtan, egyet pedig az ökonometria területéről. Az előbbi egy lehetséges magyarázatot ad az Amerikai Egyesült Államok nagyvárosainak statisztikáiban található egyik empirikus szabályszerűségekre. Az utóbbi pedig a társadalmi kapcsolatok hatásának fontosságára mutat rá csoportok aggregát döntéseinek kialakulásában.

## A disszertáció áttekintése

A disszertáció három részből áll, melyek mindegyike két fejezetet tartalmaz. Az első rész bevezetés az ágens-alapú modellezés és szimuláció témakörébe. A nyitófejezetben áttekintést adok a módszer metodológiai és tudományfilozófiai alapállásáról és elhelyezem azt az alternatív megközelítések között. A második fejezetben egy koncepcionális keretrendszert definiálok a számítógépes szimulációk osztályozására. Ez négy *implementációs stratégiát* eredményez, lefedve az ún. „egyenlet-alapú” megközelítéstől az „agens-alapúig” terjedő tartományt; rámutatva arra, hogy a szimulációk ágens-alapú jellege inkább *fokozat kérdése*, mint bináris tulajdonság.

A második részben az ágens-alapú modellezés eszközeinek fejlesztésében elért eredményeimet foglalom össze. Az általam létrehozott új számítástechnikai eszközök két csoportját mutatom be. A harmadik fejezetben ismertetem a Multi-Ágens Modellező Nyelvet (MAML), mely az első kifejezetten ágens-alapú modellezésre szánt programozási nyelv volt. *Szoftvermetrikák* alkalmazásával megmutatom, hogy a MAML modellek a funkcionálisan ekvivalens Swarm programoknál átlagosan 32%-kal egyszerűbbek, és létrehozásuk 44%-kal kevesebb erőfeszítést (*effort*) igényel. A negyedik fejezetben a tervezési minták szoftvermérnöki fogalmának alkalmazását javaslom az ágens-alapú szimulációk implementációs gyakorlatának leírására. Erre a formalizmusra építve három nevesített mintát vezetek be (a Szimpla Modell, a Modell-Ágens-Környezet, és a Relációs Interakciók mintáját) megbízható és metodológiailag helyes szimulációk építésének elősegítésére.

A harmadik rész az előzőekben tárgyalt módszertan és eszközök két alkalmazását mutatja be. Az ötödik fejezetben az endogén városfejlődés egy modelljét definiálok, ami képes az USA városairól készült statisztikai felmérésekben található rang-méret eloszlás replikálására, feltéve, hogy az ágensek információhoz való hozzáférése elegendő mértékben heterogén. A hatodik fejezetben pedig egy olyan modellt vezetek be, mely a társadalmi kapcsolatok hatásával foglalkozik ismételt diszkrét választások esetén. A kapcsolati hálókat szerkezetétől való függőséget vizsgálva megmutatom, hogy a „kisvilág” tulajdonsággal rendelkező hálózatok esetén a rendszerszintű viselkedés közelíthető – az elméletileg egyszerűbb és könnyebben kezelhető – teljes gráfon mutatott viselkedéssel.

## Új eredmények

Az ágens-alapú modellezés és szimuláció területén elért eredményeim három csoportra oszthatóak, melyek megfelelnek a disszertáció szerkezeti felépítésének. Ezek a csoportok a következők: a módszertan elméleti és koncepcionális finomítása, számítástechnikai eszközök és módszerek, valamint a módszertan alkalmazásai.

### I. Tézis

**Egy koncepcionális keretrendszert vezettem be a számítógépes szimulációk osztályozására. Ez négy *implementációs stratégiát* eredményez, lefedve az „egyenlet-alapú” megközelítéstől az „agens-alapúig” terjedő tartományt.**

Az ágens-alapú szimulációt gyakran vetik össze a hagyományos, ún. „egyenlet-alapú” modellezéssel és szimulációval. Az utóbbi elnevezés ugyan nem pontos, hiszen minden számítógépes program és modell leírható egyenletekkel, de mindenképpen jelentős különbségek vannak a két megközelítés között. A javasolt koncepcionális keretrendszer rávilágít ezekre az eltérésekre, és megmutatja, hogy a fenti két kategóriánál több választás lehetséges.

A keretrendszer öt *szintet* definiál: a figyelembevétel szintjét (LoC), a reprezentációét (LoR), a dinamikáét (LoD), az információét (LoF), és a megfigyelés (érdeklődésünk) szintjét (LoI). Ezek pontos rögzítése egy adott modellezési probléma esetén a modell megalkotójának feladata. Ugyanakkor az egyes szintek összevonásával jellegükben eltérő modell-megvalósítások, *implementációs stratégiák* jönnek létre. A tézisben egy esettanulmány segítségével szemléltetem a négy implementációs stratégia lehetséges következményeit – az „egyenlet-alapútól” az „agens-alapúig”.

## II. Tézis

Létrehoztam a Multi-Ágens Modellező Nyelv (MAML), az első kifejezetten ágens-alapú modellezésre szánt programozási nyelv általános tervét, és irányítottam annak kifejlesztését. *Szoftvermetrikák* alkalmazásával megmutattam, hogy a MAML modellek a funkcionálisan ekvivalens Swarm programoknál átlagosan 32%-kal egyszerűbbek, és létrehozásuk 44%-kal kevesebb erőfeszítést (*effort*) igényel.

A Multi-Ágens Modellező Nyelv egy kifejezetten ágens-alapú szimulációk készítésére létrehozott eszköz. Ebben az értelemben tehát *domain-specifikus* programozási nyelvről van szó. Ugyanakkor – több modellezési platformmal ellentétben – a MAML tetszőleges ágens-alapú modellezési problémára alkalmazható és sem az ágensek, sem a modell szerkezetére vonatkozó megkötést nem tesz. Egyaránt hasznos többek között sík-, vagy térbeli, sejtautomata-jellegű modellek, hálózat-szimulációk, illetve komplex kognitív képességekkel rendelkező ágensek megvalósítására. Ebben az értelemben tehát *domain-független* eszközzel van szó.

A MAML nem professzionális programozók számára készült. Ennek megfelelően a fő tervezési cél az ágens-alapú szimulációk létrehozásának megkönnyítése, illetve a modellezési döntések explicitté tétele volt. Ennek érdekében a MAML a számítógépes szimulációk és az ágens-alapú modellek speciális fogalmainak megfelelő kulcsszavakat és nyelvi elemeket definiál.

A MAML modellek jelentősen tömörebbek a korabeli alternatív eszközökkel készült implementációknál. Ezt a megfigyelést *szoftvermetrikák* alkalmazásával támasztottam alá. Eredményeim azt mutatják, hogy a MAML modellek a funkcionálisan ekvivalens Swarm programoknál átlagosan 32%-kal egyszerűbbek, és létrehozásuk 44%-kal kevesebb erőfeszítést (*effort*) igényel. A MAML által definiált speciális nyelvi konstrukciók az ágens-alapú modellezés egységesülő gyakorlatához és módszertani megszilárdulásához is hozzájárultak.

A nyelv első, referencia fordítóját Fazekas Sándor készítette el szakdolgozatként, az én témavezetésem mellett.

### **III. Tézis**

**A *tervezési minták* szoftvermérnöki fogalmának alkalmazását javasoltam az ágens-alapú szimulációk implementációs gyakorlatának leírására. Erre a formalizmusra építve három nevesített mintát vezettem be (a Szimpla Modell, a Modell-Ágens-Környezet, és a Relációs Interakciók mintáját) megbízható és metodológiailag helyes szimulációk építésének elősegítésére.**

A számítógépes szimulációk, s így az ágens-alapú modellek is, végső soron komputerprogramok. Ennek megfelelően megalkotásuk programozási feladat is, mely nem feltétlenül esik egybe a modell létrehozójának fő szakértelmével. Különösen igaz ez az ágens-alapú szimulációk fő alkalmazási területén, a társadalomtudományokban. Jelentős mértékben ennek tudható be, hogy a módszer megjelenésekor az ágens-alapú modellek jórészt szabványok nélkül, ad hoc megoldásokkal készültek. Idővel megjelentek ugyan egyes problémákra kipróbált megoldások, ám ezek rendszertelenül, formális keretek nélkül terjedtek, jórészt személyes kapcsolatokon keresztül.

Hasonló nehézségekkel a professzionális szoftveripar is szembesült története folyamán. A probléma egyik lehetséges megoldásaként javasolták a *tervezési mintákat*, melyek alkalmazás-független „kipróbált megoldások” szabványos leírására és közlésére szolgálnak tervezési és implementációs kérdésekben.

A ágens-alapú modellezés és szimuláció módszertanának erősítése érdekében a *tervezési minták* alkalmazását javasoltam. Ennek során rámutattam, hogy a konkrét területre történő alkalmazás során a fogalom értelmezése némileg módosul. Egyrészt az alkalmazás-függetlenség az ágens-alapú szimulációk kontextusán belül értendő. Azaz, a szabványosított megoldás mindig ágens-alapú modellek megvalósítására vonatkozik, ám a konkrét modellektől független. Ennek egyik következményeként az ágens-alapú minták gyakran bonyolultabbak hagyományos társaiknál, hiszen az adott problématerület már eleve összetett keretéhez igazodnak. Másrészt néhány, egyébként szélesebb körben elterjedt implementációs megoldás ugyancsak a tervezési minták rangjára emelkedik a számítógépes modellek kontextusában, mivel formalizálásuk módszertani és implementációs tanácsot nyújt a modellek készítőinek.

A javasolt formalizmusra építve három nevesített mintát vezettem be: a Szimpla Modell, a Modell-Ágens-Környezet, és a Relációs Interakciók mintáját. Az első egy – elsősorban kezdő modellezők számára hasznos – megoldást formalizál, egyszerű eseményszerkezettel rendelkező szimulációkhoz. A második az interakciós topológia szempontjából rugalmas szimulációk építését segíti, melyek ezáltal könnyen tesztelhetőek lesznek különböző ágensek közötti kommunikációs struktúrákkal. Végül a Relációs Interakciók mintája továbbfejleszti a Modell-Ágens-Környezet mintát és az interakciós topológia olyan implementáció-független nézetét nyújtja, melyben több, egymás mellett létező struktúra kezelése is egyszerűvé válik.

#### **IV. Tézis**

**Létrehoztam az endogén városfejlődés egy modelljét, amelyben a korlátozott racionalitást az információhoz való hozzáférés (látókör) korlátai modellezik. Megmutattam, hogy amennyiben a fenti tulajdonságban az ágensek elegendő mértékben különböznek, a generált városok rang-méret eloszlása megegyezik az USA városairól készült statisztikai felmérések vonatkozó adataival.**

Az Amerikai Egyesült Államok nagyvárosi területeinek rang-méret eloszlása érdekes szabályszerűséget mutat. Az amerikai Statisztikai Hivatal felmérése szerint egy város népessége fordítottan arányos annak statisztikai rangjával. Ez az empirikus szabályszerűség számos publikáció tárgya volt mind a közgazdaságtani, mind a komplexitás-tudományi irodalomban. Mégis, a mai napig nincs a jelenségnek általánosan elfogadott, plauzibilis magyarázata, mely a mikro-szintű szereplők cselekvéseivel is számolna.

Az I. Tézis esettanulmányát továbbfejlesztve megalkottam egy olyan ágens-alapú generatív modellt, mely korlátozza az ágensek információhoz való hozzáférését. Ennek a modellnek a segítségével sikeresen reprodukáltam az USA városainak rang-méret eloszlását.

A tézisben szereplő modell Yuri Mansury-val folytatott közös kutatásaim eredménye. A benne szereplő közgazdaságtani elgondolások és formalizmusok az ő munkái. Az én hozzájárulásom a következőket foglalta magában. Létrehoztam a modell ágens-alapú verzióját, melynek során a korlátozott racionalitás explicit modellezésére az információhoz való hozzáférés (látótér) korlátozását javasoltam. Megmutattam, hogy

amennyiben a fenti tulajdonságban az ágensek elegendő mértékben különböznek, a generált városok rang-méret eloszlása megegyezik az USA városairól készült statisztikai felmérések vonatkozó adataival

## **V. Tézis**

**Szociális hálók ismert generatív modelljeinek alkalmazását javasoltam diszkrét választási modellek egy osztálya esetén a társadalmi kapcsolatok hatásának vizsgálatára. Létrehoztam a modell-osztály egy ágens-alapú verzióját, melyben kiemelt hangsúlyt kap az ágensek közötti interakciós topológia. Megmutattam, hogy Erdős-Rényi és Watts-Strogatz hálók esetén az említett hálózat-modellek kapcsán ismert fázisátmenet megjelenik a populáció aggregát választásában is.**

Az ökonometriából ismert diszkrét választások analízise szabványos modellezési eszköz számos problématerületen, így a tézisben foglalt munka motivációját adó témában, a közlekedési igények modellezésében is. Ez a módszer lehetővé teszi az egyéni választási valószínűségek kiszámítását az egyedi tulajdonságokkal rendelkező ágensek heterogén helyzetértékelése alapján. Azonban, mint arra Dugundji rámutatott, a módszer alapvetően az egyéni választásokban gyökerezik. Annak ellenére, hogy természetes feltételezésnek tűnik, hogy az egyének közötti társadalmi háló, illetve az azon áramló információ szerepet játszik a döntésekben. A tudományterület érdeklődése ezért a közelmúltban a társadalmi kapcsolatok, azaz a döntéshozók egymásra hatásának vizsgálata felé fordult.

Az ágens-alapú modellezés ezen alkalmazásában kihasználom a módszer tulajdonságát, hogy képes az ágensek közötti interakciók explicit modellezésére. Erre építve megalkottam diszkrét választási modellek egy olyan osztályát, melyben az interakciós struktúrát társadalmi hálók ismert modelljei generálják. Tanulmányoztam e hálózat-osztályok hatását a rendszerszintű viselkedésre, és megmutattam, hogy a hálózat-modellek kapcsán ismert fázisátmenet megjelenik a populáció aggregát választásában is, mind Erdős-Rényi, mind Watts-Strogatz hálók esetén. Ez praktikus jelentőséggel bíró eredmény, hiszen kiterjeszti a diszkrét választások analízisének alkalmazási területét. Konkrét problémák esetén a valós társadalmi háló adott hálózat-osztályba tartozása ugyanis empirikus vizsgálatokkal tesztelhető lehet, míg a hálózat pontos feltérképezése gyakorlatilag lehetetlen. Különösen fontos, hogy a „kisvilág”

tulajdonsággal rendelkező hálózatok esetén a rendszerszintű viselkedés közelíthető – az elméletileg egyszerűbb és könnyebben kezelhető – teljes gráfon mutatott viselkedéssel.

A tézisben szereplő ágens-alapú modell Elenna R. Dugundjival végzett közös munkám eredménye. Mind a probléma felvetése, mind a munka kiindulópontjául szolgáló Aoki-, illetve Brock és Durlauf-féle modell választása az ő nevéhez fűződik. Ugyancsak az ő analitikus eredményei nyújtották a támpontot az ágens-alapú modell megalkotásához, illetve az említett modellek kiterjesztéséhez. Az én hozzájárulásom a következő volt. A társadalmi kapcsolatok hatásának modellezésére szociális hálók ismert generatív modelljeinek alkalmazását javasoltam és megalkottam a modell-osztály ágens-alapú verzióját. Megmutattam, hogy az aggregát választásban megfigyelhető fázisátmenet egybeesik az óriás komponens megjelenésével Erdős-Rényi gráfok esetén, illetve az átlagos úthossz lerövidülésével Watts-Strogatz hálózatokon.

### **A disszertáció témájához kapcsolódó publikációk jegyzéke**

- [1] Cederman, L.-E. and Gulyás, L.: "Tutorial Sequence for RePast: An Iterated Prisoner's Dilemma Game", Electronic Source, 2001. <http://www.santafe.edu/sfi/education/csss/files02/RepastTutorial.pdf>
- [2] Dugundji, E. R. and Gulyás, L.: "Empirical Estimation and Multi-Agent Based Simulation of a Discrete Choice Model with Network Interaction Effects: An Exploration of the Role of Global versus Local and Social versus Spatial Networks in Transportation Mode Choice Behavior in the Netherlands", In *Proceedings of Computers in Urban Planning and Urban Management Conference (CUPUM 2003)*, 27-29 May, 2003, To Appear, Sendai City, Japan. 2003.
- [3] Dugundji, E. R. and Gulyás, L.: "Socio-Dynamic Discrete Choice on Networks: Multi-agent simulation of social & spatial interaction effects in residential & transportation mode choice", In *Proceedings of the 10<sup>th</sup> World Conference on Transport Research*, Istanbul, Turkey, 4-8 July 2004.
- [4] Dugundji, E. R. and Gulyás, L.: "Dynamic Discrete Behavioral Choice on Networks: The Nested Logit Model – Analytical Results and Empirical Application", In *Proceedings of XXIV International Sunbelt Social Network Conference*, To Appear, Portorož, Slovenia. 2004.
- [5] Dugundji, E. R. and Gulyás, L.: "Discrete Choices on Networks: The Nested Logit Model – Analytical and Simulation Results", Manuscript, *Santa Fe Institute Working Paper*, Santa Fe, NM, USA. To Appear.
- [6] Dugundji, E. R. and Gulyás, L.: "Socio-Dynamic Discrete Choice in an Empirical Example on Intercity Travel Demand: An Agent-Based Approach,

- Analytical Benchmark and Some Issues in Estimation", In *Proceedings of Workshop on Modelling Urban Social Dynamics*, Institute of Advanced Studies, University of Surrey, Guildford, UK, To Appear, 2005.
- [7] Gulyás, L.: "On the Transition to Agent-Based Modeling: Implementation Strategies From Variables To Agents", *Social Science Computer Review*, Vol. 20:4, Winter 2002, pp. 389-399, 2002.
- [8] Gulyás, L.: "Relational Agent Models – A Framework for Modular and Topology-Independent Simulations", In *Proceedings of Seventh Annual Swarm Users/Researchers Conference (SwarmFest 2003)*, Notre Dame, Indiana. 2003.
- [9] Gulyás, L.: "Review of „Learning SIMUL8: The Complete Guide” (and SIMUL8 Version 6)", *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 6:3, 2003.
- [10] Gulyás, L.: "Generation of Robust Networks with Optimization under Budget Constraints", In *Proceedings of The 5th International Workshop on Emergent Synthesis (IWES'04)*, Budapest, Hungary. 2004.
- [11] Gulyás, L.: "Discrete Choices on Dynamic Networks", Manuscript, *Santa Fe Institute Working Paper*, Santa Fe, NM, USA. To Appear.
- [12] Gulyás, L.: "Design Patterns for Agent-Based Simulation", Submitted to the 'Artificial Economics' Symposium in Agent-Based Computational Methods in Finance, Game Theory and their Applications, Lille, France, September 15-16, 2005.
- [13] Gulyás, L. and Adamcsek, B.: "Charting the Market: Fundamental and Chartist Strategies in a Participatory Stock Market Experiment", In *Proceedings of the International Conference Experiments in Economic Sciences: New Approaches to Solving Real-world Problems*, Okayama and Kyoto, Japan, 14-17 December 2004.
- [14] Gulyás, L., Adamcsek, B. and Kiss, Á. "Experimental Economics Meets Agent-Based Finance: A Participatory Artificial Stock Market", In *Proceedings of 34th Annual Conference of International Simulation and Gaming Association (ISAGA 2003)*, To Appear. 2003.
- [15] Gulyás, L., Adamcsek, B. and Kiss, Á.: "An Early Agent-Based Stock Market: Replication and Participation", *Rendiconti Per Gli Studi Economici Quantitativi*, Volume unico, pp. 47-71, 2004.
- [16] Gulyás, L. and Bartha, S.: "How Much Is Too Much? -- What Programming Skills Are Really Needed to do ABM?" In *Proceedings of Seventh Annual Swarm Users/Researchers Conference (SwarmFest 2003)*, Poster, Notre Dame, Indiana, USA. 2003.
- [17] Gulyás, L. and Dugundji, E. R.: "Discrete Choice on Networks: An Agent-Based Approach", In *Proceedings of North American Association for Computational Social and Organizational Science Conference (NAACSOS 2003)*, June 22-25, 2003, Omni William Penn, Pittsburgh, PA. 2003.
- [18] Gulyás, L. and Kozsik, T.: "Model Design Interface – A CASE Tool for the Multi-Agent Modeling Language", In *Proceedings of The 2nd International*

- Conference of PhD Students, Section of Engineering Sciences, Miskolc, Hungary, pp. 97-104., 1999.*
- [19] Gulyás, L. and Kozsik, T.: "The Use of Aspect Oriented Programming in Scientific Simulations", *Software Technology, Fenno-Ugric Symposium FUSST'99 Proceedings* (Ed. Penjam, J.), University of Tallinn, Estonia, pp. 17-28. 1999.
- [20] Gulyás, L., Kozsik, T. and Corliss, J. B.: "The Multi-Agent Modeling Language and The Model Design Interface", *The Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 2:3, 1999.
- [21] Gulyás, L., Kozsik, T., Czabala, P. and Corliss, J. B.: "Telemodeling – Overview of a System", In *Proceedings of Proceedings of the XV. IFIP World Computer Congress '98, 31 Aug - 4 Sep 1998*, Austrian Computer Society (OCG), Vienna/Austria and Budapest/Hungary, pp. 59. 1998.
- [22] Gulyás, L., Kozsik, T. and Fazekas, S.: "The Multi-Agent Modeling Language", In *Proceedings of Proceedings of the 4th International Conference on Applied Informatics (ICAI)*, Eger-Noszvaj, Hungary, pp. 43-50. 1999.
- [23] Gulyás, L. and Mansury, Y.: "Patterns of Firm Agglomeration: An Autonomous Agent-Based Model of City Formation", In *Proceedings of International Conference on Complex Systems (ICCS2002)*, Nashua, NH, USA. 2002.
- [24] Gulyás, L. and Mansury, Y.: "Explaining the Zipf-Law Pattern of City Systems: An Agent-Based Simulation Approach", Manuscript, *Submitted to Journal Of Economic Dynamics and Control*. 2005.
- [25] Gulyás, L. and Vincze, T.: "Automated Trading Experiments with MAML", *Agent-Based Methods in Economics and Finance: Simulations in Swarm* (Eds. Luna, F. and Perrone, A.), Kluwer Academic Publishers, pp. 39-61. 2002.
- [26] Mansury, Y. and Gulyás, L.: "Explaining The Zipf-Law Pattern of City Formation: An Agent Based Approach", In *Proceedings of Association of Collegiate Schools of Planning (ACSP) 2002 Conference*, Whashington D.C., USA. 2002.
- [27] Tatai, G. and Gulyás, L.: "Agents and Multi-Agent Systems", *Artificial Intelligence (textbook)* (Ed. Futó, d. I.), Aula Kiadó, Budapest, Hungary, pp. 709-755. (In Hungarian). 1999.
- [28] Tatai, G. and Gulyás, L. (eds.): *Agents Everywhere*, Proceedings of the 1<sup>st</sup> Hungarian National Conference on Agent-Based Computing (HUNABC'98), Springer, Budapest, p. 200. 1999.