



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

ÁGENS-ALAPÚ MODELLEK A TÉRINFORMATIKÁBAN

PhD értekezés tézisei

Wirth Ervin

Témavezető:

Dr. Szabó György, egyetemi docens

Budapest, 2017

A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI

A kutatás olyan ágens-alapú modellekkel foglalkozik, amelyek közös jellemzője, hogy szereplőik, az ágensek időben változó térbeli pozícióval rendelkeznek. Következésképpen az ágensmodellek alkalmasak a térben és időben változó dolgok, jelenségek leírására. Így esett a választásom erre a korunkban aktívan fejlődő területre, amelyben az elméleti áttekintésen túl, gyakorlati alkalmazásra kifejlesztett ágensmodelleket is bemutatok. Kutatásom fő motivációja az ágens-alapú modellezés és a térinformatika ötvözésével létrehozott modellekben rejlő lehetőségek kiaknázása volt. Az értekezés ezt két komplex térbeli jelenség interpretálásával mutatja be a tájdiverzitás és az evakuáció szimuláció területén.

A tájdiverzitás jellemzéséhez számos hagyományos statisztikai mérőszám áll rendelkezésre, mint például a felszínborítási osztályok területe, a felszínborítási osztályok és az összterület hányadosa, a tájfoltok száma, foltűrűség, legnagyobb folt területének aránya az osztályterülethez viszonyítva, felszínborítási osztály összkerülete, élsűrűség, alaki index, kerület és terület aránya, a tájfoltokat befoglaló legkisebb körök sugarának átlaga, magterület, effektív hálóméret és a felosztottsági index (Szabó, 2010).

Az evakuáció szimuláció egy módszer, amivel evakuációs (kiürítési) faktorokat tudunk meghatározni területekre, épületekre, folyosókra. A módszer a tömegek dinamikáján és a gyalogosok mozgásán alapul. A gyalogosok evakuálása egy összetett probléma, aminek kísérletekkel történő mérése szinte lehetetlen (Izquierdo és mtsai, 2009), nagyon költséges (ismétlések, alternatív elrendezések) (Gwynne, Galea, Owen, Lawrence és Filippidis, 1999), és veszélyes is lehet. Az evakuáció szimuláció modellezésében különféle tér-idő szemléletű modellek használatosak, mint például a sejtautomata, ágens-alapú modellek, vagy a *közösségi erőmodell* (Helbing, Illés és Vicsek, 2000). Az egyes modellek összehasonlításában Viswanathan és munkatársai arra következtetésre jutottak, hogy a keveredésben figyelhetők meg a legnagyobb modellbeli különbségek (Viswanathan, Lee, Lees, Cheong és Sloot, 2014). A keveredés vizsgálatához a vizsgált ajtóra koncentrikus övezeteket képeztek (5, 10 m), és rögzítették, hogy az ágensek melyik övezetből (zónából) indultak, és milyen eloszlásban értek ki.

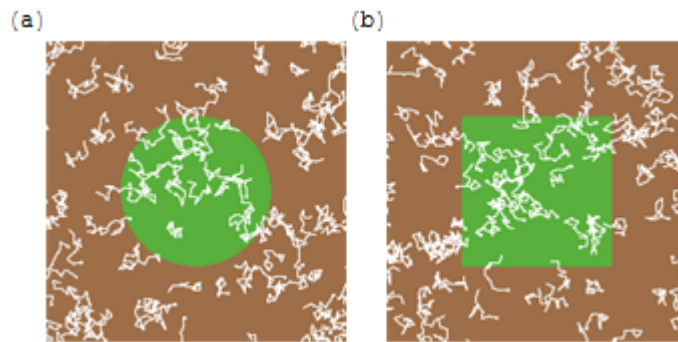
AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI

- Az ágens-alapú modellezési módszertan bemutatása
- Ágens-alapú prototípus modell készítése a tájdiverzitás jelenség komplex mérésére
- A tájdiverzitást mérő ágensmodell felhasználása
- Újszerű ágens-alapú prototípus modell készítése az evakuáció szimuláció témakörében
- Olyan ágensmodell készítése, amely megragadja az emberi mozgás természetes alapelemét, a lépést
- Olyan szofisztikált modell készítése, amely feloldja a celluláris modellek térbeli korlátait
- Egy általánosan alkalmazható, könnyen testreszabható evakuációs ágensmodell kifejlesztése
- Olyan ágensmodell készítése, amely képes valós idejű szimulációs eredményeket is adni

A KIFEJLESZTETT MODELLEK ÁTTEKINTÉSE

Tájdiverzitás

A *véletlen bolyongó ágensmodell* egy numerikus szimulációs módszer, a Buffon-féle tűprobléma ágens-jellegű, általánosított interpretációja. A szimuláció tárgyát az ágensek térbeli környezete, a világ képezi. A bolyongó ágensekkel meg tudjuk becsülni egy táj térbeli objektumosztályainak kerületét illetve határvonalainak hosszát. Ehhez az ágenseket fel kell ruházzuk egy tulajdonsággal, a rövid távú memóriával. Ez a memória kizárólagosan csak az utoljára észlelt objektumosztály tárolására alkalmas. Véletlenszerű vándorlásuk – azaz a szimuláció – során emlékezetük új objektumosztállyal történő frissítéseit egy Monte-Carlo integrálba gyűjtjük (Metropolis, 1987), amely érték a világok határvonalainak hosszával állnak kapcsolatban. A véletlenszerű mintavételezés egyenletességét úgy biztosítottam, hogy a vizsgált világot az éleli mentén toroid topológiájú periodikus határfeltételekkel összefűztem. Így a világ északi szélén kilépő ágens a déli-, a keleti szélén kilépő pedig a nyugati szélén tér vissza.



1. ábra: Száz véletlenszerűen bolyongó ágens regisztrálja az új objektumosztály észleléseit: kör alakú erdőt (a), négyzetes erdőt (b) tartalmazó világban

Egy referenciaelemmel végzett összehasonlítás segítségével kiszámítható a pi közelítő értéke (3.14), amivel bizonyítható az ágens-alapú módszer működőképessége. Az ágensek mozgása során, ha a metszéseken túl az észlelt objektumcsoportokat is tároljuk, a vizsgált területen előforduló objektumcsoportok területi eloszlásáról is információt kapunk.

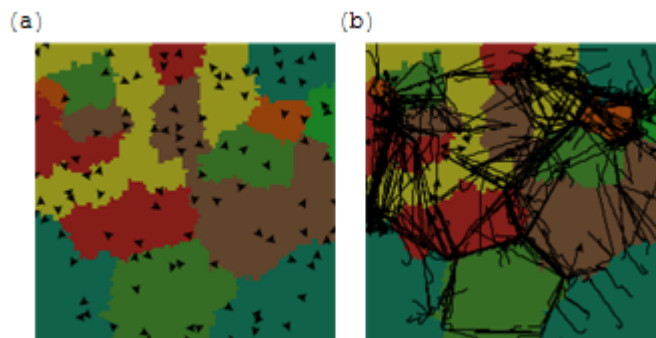
1. tézis:

A kifejlesztett *véletlen bolyongó ágensek* rövid távú memóriájuk révén kizárólagosan csak az utoljára észlelt objektumosztályra emlékeznek. Emlékezetük új objektumosztállyal történő frissítéseit Monte-Carlo integrálba gyűjtve, egy referenciaelemmel végzett összehasonlítás segítségével megbecsülhetjük a vizsgált terület objektumainak kerületét, vagy határvonalainak hosszát.

Tézispontot alátámasztó publikációk:

(Wirth, Czinkóczy és Szabó, 2015; Wirth, Szabó és Czinkóczy, 2016b)

A *felderítő ágensmodell* a *véletlen bolyongó ágensmodell* továbbfejlesztése. Ebben az ágensek mozgása céltudatos (a legközelebbi új objektumosztály felé tartanak), látásuk és hosszú távú memóriájuk révén alkalmasak egy vizsgált terület diverzitásának, komplexitásának becslésére. Felfedezésük – a szimuláció – során az új objektumosztályok meglátogatását szintén egy Monte-Carlo integrálba gyűjtik, illetve a memóriájukban tárolják. A számított integrál a vizsgált terület tájdiverzitási potenciálját adja. A modell sztochasztikus elemeket tartalmaz, ilyen például a véletlenszerű forgolódás új objektumosztály látásának hiányában.



**2. ábra: Bemutató példa 100 felderítő ágenssel:
kezdeti állapot (a), 100 lépés után (b)**

Száz ágenssel már jól feltérképezhető a táj karakterisztikája. A mintákban jól látható, hogy az ágensek milyen pályán haladtak keresztül. Jellemzően a felszínborítások határain vándoroltak, illetve bizonyos helyeken átgázoltak azokon. Az ágensek felfedezés utáni eloszlása (b) a felszínborítások eloszlásából következik.

2. tézis:

A véletlen bolyongó ágensek továbbfejlesztésével létrehozott *felderítő ágensek* céltudatos mozgásuk, látásuk és hosszú távú memóriájuk révén alkalmasak egy vizsgált terület diverzitásának becslésére. Felfedezésük során az új objektumosztályok észleléseit egy Monte-Carlo integrálba gyűjtve a vizsgált terület diverzitási potenciálja becsülhető.

Tézispontot alátámasztó publikációk:

(Wirth, Czinkóczy és Szabó, 2015; Wirth, Szabó és Czinkóczy, 2016a; Wirth, Szabó és Czinkóczy, 2016b)

A kidolgozott *felderítő ágensek* alkalmazását a CORINE Land Cover felszínborítottsági téradatbázison (Bossard, Feranec és Othel, 2000) teszteltük (Wirth, Szabó és Czinkóczy, 2016a). A téradatbázisból több száz véletlenszerűen mintavételezett mezo-léptékű szeletet – világot – vágunk ki a magyar Alföld területén. A módszer alkalmazásával kimutathatók az Alföld azon területei, ahol szükséges lehet a heterogenitás megőrzése érdekében teendő beavatkozás, az intervenció. A véletlenszerűen mintavételezett világokra számított tájdiverzitási potenciálértékek alapján tájdiverzitás izopotenciál térkép készíthető, mint reprezentatív végtermék.

3. tézis:

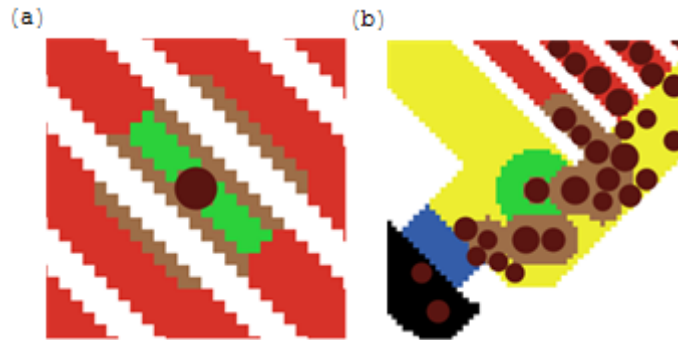
Megmutattam, hogy a tájdiverzitási ágensmodellekkel számított potenciálértékek vizuális reprezentálására alkalmas a tájdiverzitás izopotenciál térkép, amelynek alapját a véletlenszerűen mintavételezett világokon végzett mérésekből interpolált izopotenciál vonalak adják.

Tézispontot alátámasztó publikációk:

(Wirth, Czinkóczy és Szabó, 2015; Wirth, Szabó és Czinkóczy, 2016a; Wirth, Szabó és Czinkóczy, 2016b)

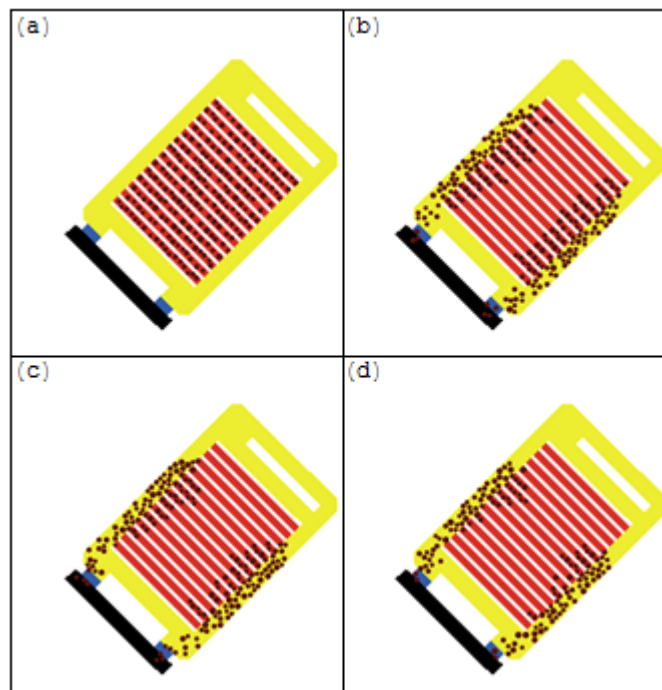
Evakuáció szimuláció

A kifejlesztett *térbeli lépésmodell* egy diszkrét, mikroszkopikus ágensmodell, amely megtartja a sejtautomata modellek lépés-szemléletét, azonban feloldja azok térbeli korlátait. Matematikai háttere alkalmassá teszi az evakuációs szimulációk kivitelezésére bármilyen térbeli felbontású környezetben. Ágens jellege megragadja a várakozás aktivitást, ezért képes annak regisztrálásával a kialakuló pánik becslésére. A modell a lépés természetes diszkrétizálását területlefedő egyenletekkel oldja meg.



3. ábra: Egy ágens az előadóterem:
egy padsorában (a), folyosóján (b) – komplexebb környezetben – tart a kék ajtó felé.
A foglalt cellák barna, a lépésre alkalmasak zöld színnel jelennek meg

A kidolgozott modell nem csak kísérleti, hanem komplex terekben is alkalmazható, kezeli az immobil (falak, oszlopok) és mobil (többi gyalogos) akadályokat. Alkalmazását egy egyetemi előadóteremben különféle scenáriókkal mutattam be, potenciálfelületes navigációs megoldással.



4. ábra: Egyetemi előadóterem (BME, K174) evakuáció szimulációja 220 fővel:
0 (a), 10 (b), 20 (c), 30 szimulációs időpontokban (d)

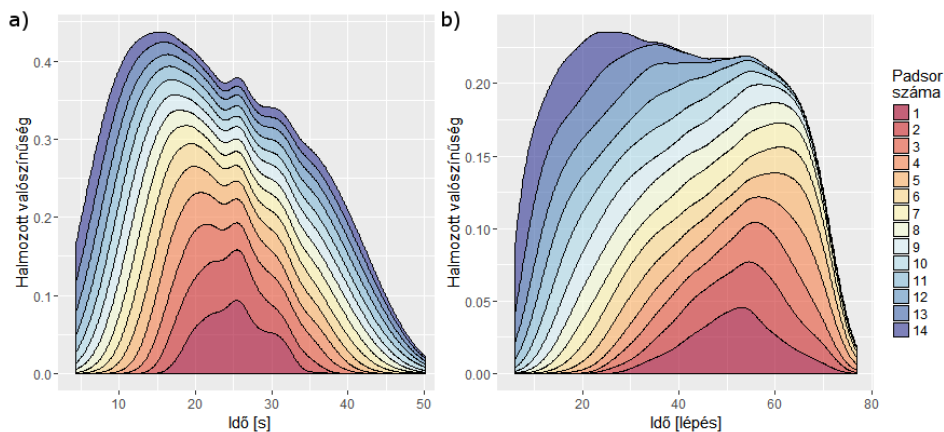
4. tézis:

A kifejlesztett *térbeli lépésmodell* megtartja a sejtautomata modellek lépés-szemléletét, azonban ágens-szemlélete és matematikai háttere feloldja azok térbeli korlátait. Különböző példákkal megmutattam, hogy a modell általánosan alkalmazható evakuáció szimulációkhoz.

Tézispontot alátámasztó publikációk:

(Wirth és Szabó, 2017a; Wirth és Szabó, 2017b)

A *térbeli lépésmodell*t összehasonlítottam a folytonos tér-idő szemléletű *közösségi erőmodellel*, és kimutattam, hogy a *térbeli lépésmodellel* jelentős keveredés jelentkezik a padsorok kiürülésének sorrendjében; ellenben a *közösségi erőmodellel*, ahol a kiürülés egyenletes. A keveredés vizsgálatához az ágensekhez hozzárendeltem annak a padsornak az azonosítóját, ahonnan elindulnak. Ezt követően megfigyeltem, hogy kiéréskor ezek az azonosítók milyen sorrendet követnek. A szimulációt 220 diákkal, 2 ajtóval és 2-2 szárnyal hajtottam végre 40-szer. Az eredményeket halmozott sűrűségfüggvényeken ábrázoltam.



5. ábra: Keveredés a kiérkezésekben:
a) közösségi erőmodellel; b) térbeli lépésmodellel

A *közösségi erőmodell* halmozott sűrűségfüggvényén látható, hogy nem jelentkezik jelentős keveredés, a kiáramlás egyenletes. A padsorok fokozatosan ürülnek ki, először a legelső padsor (táblához közeli) ürül ki, majd a második padsor, harmadik, és így tovább. Ebben a modellben a folytonosság, és az áramlási erő annyira domináns, hogy a hátsó sorokból nem tudnak "kiugrálni" a diákok. A *térbeli lépésmodell* esetén ez nem így van, legutoljára a középső padsorok diákjai érkeznek ki. Ezt az indokolja, hogy amíg a hátsó sorok kiürülnek, addig a szélső folyosók feltöltődnek, és a telített folyosóra a középső sorban tartózkodók nehezebben jutnak ki, mint az első sorokban lévők, akik szabadon rácsatlakozhatnak a sor végére.

5. tézis:

Zónált evakuálási idők vizsgálatával megmutattam, hogy a diszkrét tér-idő szemléletű *térbeli lépésmodellel* jelentős a keveredés a padsorok kiürülésének sorrendjében, szemben a folytonos tér-idő szemléletű *közösségi erőmodellel*, ahol a padsorok kiürülése szabályszerű.

Tézispontot alátámasztó publikációk:

(Wirth és Szabó, 2017a; Wirth és Szabó, 2017b)

ÖSSZEFOGLALÁS

Az értekezés először egy ágens-alapú Monte-Carlo módszert mutat be, amellyel képesek vagyunk a térbeli objektumosztályok kerületének illetve határvonalainak hosszának becslésére. A módszer a vizsgált világot – amely az objektumosztályokat tartalmazza – tórusz-topológiával fűzi össze az élei mentén, így a véletlen bolyongó mintavételezés egyenletes marad. A módszer alkalmazhatóságát a π (3.14) értékének kiszámításával mutattam be, egy kör, illetve egy négyzet határvonalán rögzített ágens-áthaladások alapján.

A kifejlesztett tájdiverzitást mérő ágensmodell komplexitásában, összefüggéseiben kezeli a tájelemek változatosságát. A szimulációs módszer általánosan alkalmazható bármilyen osztályozott téradatbázisra; a módszerrel becsült tájdiverzitás potenciál érték jól aggregálja a különféle tájelemek számosságát, szétszórtságát, eloszlását. A módszer könnyen testreszabható és paraméterezhető, képes a legkülönbébb egyedi szempontok kielégítésére. A tájdiverzitási ágensmodellekkel számított potenciálértékekből interpolációval elkészíthető egy terület izopotenciál térképe, potenciál felülete, amely vizuális reprezentációja révén megkönnyítheti a döntéshozók, elemzők munkáját.

Az evakuáció szimuláció témakörben kidolgozott *térbeli lépésmodell* jól ötvözi az ágens-alapú és a sejtautomata modellek karakterisztikáit. A modell megtartja a sejtautomata modellek lépés-orientáltságát, azonban ágens-szemlélete és matematikai háttere feloldja azok topológiai és térbeli korlátait. A kidolgozott ágensmodell a gyalogosok méretének matematikai kezelésével bármilyen – akár nagyon finom – felbontású celluláris térmodellen, raszteren alkalmazható. A sebességek és lépésméret, reakcióidők bevezetésével a modell alkalmassá válik valós idejű szimulációs eredmények számítására.

IRODALOMJEGYZÉK

Bossard, M., Feranec, J., és Otahel, J. (2000). CORINE land cover technical guide: Addendum 2000. Copenhagen: European Environment Agency.

Gwynne, S., Galea, E. R., Owen, M., Lawrence, P. J., és Filippidis, L. (1999). Gwynne, S., Galea, E. R., Owen, M., Lawrence, P. J., és Filippidis, L. (1999). A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment. *Building and environment*, 34 (6).

Helbing, D., Illés, F., és Vicsek, T. (2000). Simulating dynamical features of escape panic. *Nature*, 407 (6803).

Izquierdo, J., Montalvo, I., Pérez, R., és Fuertes, V. S. (2009). Forecasting pedestrian evacuation times by using swarm intelligence. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 388 (7).

Kertész, J., és Vicsek, T. (2006). Komplex hálózatok a természetben és a társadalomban. *Magyar Tudomány*, 5.

Metropolis, N. (1987). The Beginning of the Monte Carlo Method. *Los Alamos Science*.

Reynolds, C. W. (1987). Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model. *Computer Graphics*, 21.

Russell, S., és Norvig, P. (2005). *Mesterséges Intelligencia: Modern megközelítésben, Második, átdolgozott, bővített kiadás. Budapest: Hungarian Translation Panem.*

Siegfried, R. (2014). *Modeling and Simulation of Complex Systems: A Framework for Efficient Agent-Based Modeling and Simulation. Springer Vieweg.*

Szabó, Sz. (2010). A CLC2000 és CL50 adatbázisok összehasonlítása tájmetriai módszerekkel. *Tájökológiai Lapok*, 8 (1).

Viswanathan, V., Lee, C. E., Lees, M. H., Cheong, S. A., és Sloat, P. M. (2014). Quantitative comparison between crowd models for evacuation planning and evaluation. *The European Physical Journal B*.

TÉZISEKHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Wirth, E., és Szabó, Gy. (2017b). Evakuációs modellek térszervezési alternatívái. *Az Elmélet és a Gyakorlat Találkozása a Térinformatikában VIII.* Debrecen: Debreceni Egyetem.

Wirth, E., és Szabó, Gy. (2017a). Overlap-avoiding Tickmodel: an Agent-and GIS-Based Method for Evacuation Simulations. *Periodica Polytechnica Civil Engineering.*

Wirth, E., Czinkóczy, A., és Szabó, Gy. (2015). Biodiversity estimation by agent logic. *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás VI.* Debrecen: Debreceni Egyetem.

Wirth, E., Szabó, Gy., és Czinkóczy, A. (2016b). Measure landscape diversity with logical scout agents. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.*

Wirth, E., Szabó, Gy., és Czinkóczy, A. (2016a). Measure of landscape heterogeneity by agent-based methodology. *ISPRS Annals of Photogrammetry.*