

Gazdaság – Szimuláció?⁵

MÉSZÁROS-KOMÁROMY GERGELY

McLeod Institute of Simulation Sciences Hungarian Center

BME Gazdaság és Társadalomtudományi Kar Információ- és Tudásmenedzsment Tanszék

meszaros@itm.bme.hu

ABSTRACT

The adequate determination of economic processes may promote the decision-makers to choose optimal solutions. As the term simulation would mean different aspects to people this article aims to give an overview about the possible utilization of modeling and simulation. It introduces leading edge methodologies of simulation applying system-identification and optimization by the intelligent demons (agents). Simulation models can help to understand behavior of phenomena in business world and using computer techniques, investigations can take place cheaper, faster, compared to other methods. The article gives a short introduction to the simulation as a business modeling tool, and intends to disseminate common distrust of beginners about these technologies.

A címben megfogalmazott kérdés inkább állítás lehetne, hiszen a szimuláció a gazdasági élet számos problémájára ad választ. Jelen cikk a szimuláció gazdasági életben való alkalmazásáról szól, példákon keresztül mutatva be annak hatékonyságát.

Szimuláció

A szimuláció fogalmát különbözőképpen értelmezhetjük, példaképpen tekintsünk egy közért-hető definíciót:

A szimuláció modellek kidolgozása és azon végzett kísérletek létező vagy hipotetikus dinamikus rendszerek vizsgálatára, amelynek során a vizsgált rendszer egyes aspektusait számokkal vagy szimbólumokkal reprezentálhatjuk oly módon, hogy azok könnyen kezelhetők legyenek, és elősegítsék a rendsze-

rek tanulmányozását és kiértékelését. [1]

A definíció tömören összefoglalja, hogy mivel foglalkozik a szimuláció. A szimuláció során gyakorlatilag a „mi lenne, ha...?“, vagy a „mi lett volna, ha...?“ Kérdésekre keresünk választ. Felépítünk egy modellt, majd eseteket, folyamatokat játszunk le rajta, lépésről lépésre. Például, ha felépítjük az 1990-es évek elejének magyarországi gazdasági modelljét, akkor megtudhatjuk, hogy egyes gazdasági döntések miképpen befolyásolták volna az ország felzárkózását, a külső adósságállományt, a termelés növekedését/csökkenését, hogy mely módszerek adtak volna lehetőséget a leggyorsabb felzárkózásra, és ebben az esetben mekkora teher nehezedett volna a lakosságra, vagy hogy melyik lehetett volna az az út, amely a lehető legkevesebb nehézséget okozta volna.

Ha azonban a mai modellt építjük fel, akkor kide-

⁵ A kutatást az OTKA támogatta a T038081 számú projekt keretében.

ríthetjük, hogy hova kell befektetnie a kormánynak a rendelkezésére álló pénzt annak érdekében, hogy az a lehető legjobban, leghamarabb megterüljön az ország számára.

Természetesen a szimuláció sem nyújt univerzális megoldást mindenre. Alaptételnek kell tekintelnünk, hogy a komplex rendszerek nem azonosak náluk kisebb bonyolultságú rendszerek összességével, ezért mindenképpen lesznek hibák a rendszerben. A hibák nagysága azonban a választott modelltől és a modellbe beépített adatoktól függ, vagyis a modellező készségétől arra, hogy mennyire hűen képes a valóságos szituáció leképezésére.

Szimulált folyamatok

A gazdaság területén az utóbbi években egyre inkább előtérbe kerül a szimuláció alkalmazása. Mind több szimulációs nyelv, programrendszer jelenik meg, amelyek egyre egyszerűbbek, egyre több lehetőséget ígérnek. A szimulációs módszereket először hagyományos termelési rendszerek szimulálására, folyamatok modellezésére, a folyamat paramétereinek optimális meghatározására használták. Tipikus alkalmazási terület például egy üzemcsarnok berendezésének adott szempontból történő optimalizálási szimulációja, vagy a termelési lánc ellenőrzési pontjainak a meghatározása oly módon, hogy optimális legyen a hiba és az ellenőrzés költsége. Később a szimulációs módszereket már termékek tervezésére is használták, így lehetőség nyílt: egyes paraméterek kipróbálására, új ötletek megfogalmazására (lásd például autótervezés). Ezekben az esetekben azonban a szimuláció még inkább a mérnöki problémákat segített megoldani.

Az utóbbi időkben a szimulációt hagyományos közgazdasági problémák megoldására is felhasználni. A legfőbb kihívás ezeknél az alkalmazásoknál abban rejlik, hogy milyen mértékben tudjuk a gazdasági rendszereket modellezni. Mindenképpen nagyfokú absztrakcióra van szükség, amely azonban nagymértékben meghatározza modell minőségét.

A szimuláció elfogadottsága

A szimuláció elfogadottsága a különféle társadalmi-gazdasági területeken nagyon eltérő. Termékek tervezése esetén (például autók) ma már a szimulációs megoldások alkalmazása kikerülhetetlen, de a közgazdasági problémák megoldására csak az utóbbi években kezd elterjedni, és azt kell mondjuk, sajnos csak nagyon lassan. A késlekedés valamennyire érthető, hiszen egy döntéshozói folyamat felelősségteljes következményekkel jár; ki vállalja a felelősséget a modell jóságáért? Egy pénzügyminiszter azért vállal felelősséget, amit ő is ismer és elismer, de a gazdasági modellt nem ő alakítja ki, és nem biztos abban, hogy a modell helyes eredményt szolgáltat. A közgazdasághoz hasonló szimulációs modelleket alkalmaznak a meteorológiában is: teljes közép-európai térség meteorológiai szimulációs modellje például egy franciaországi Cray szuperszámítógépen fut, a hazai meteorológusok is innen kapják az adataikat, amit aztán egyedileg is értelmezhetnek. Egy meteorológiai rendszerben azonban a felelősség mértéke semmiféleképpen sem hasonlítható össze egy gazdasági vezető felelősségével.

Optimistán arra számíthatunk, hogy ezek a modellek várhatóan egyre elterjedtebbek lesznek, és segítséget fognak nyújtani a gazdasági döntések meghozatalánál, segítenek felmérni az egyes akciók hatásait. Nem a döntést fogják kivenni a vezetők kezéből, de segítenek a várható következmények és mechanizmusok felismerésében. A modellek elfogadottságához nagymértékben hozzájárulna, ha nemcsak a szimuláció matematikai alapjai, hanem a gazdasági alkalmazás hatékonysága és jelentősége is teret kapna a hazai oktatási rendszerben.

Miért szimuláció?

A gazdaságtudomány területén a makro- és mikrogazdasági rendszerek leírására nagyon sok különféle elmélet létezik. Ezek alapvető problémája, hogy nehéz olyan modellt adni, amely elég részletesen írja le a teljes rendszert, miközben matematikailag még kezelhető bonyolultságú

marad. Vizsgálódásaink során láthatjuk, hogy az átfogó elméletek az esetek többségében nagyon leegyszerűsítik a gazdasági rendszereket, bonyolultabb összefüggéseket csak a gazdasági élet kis szeletének elemzésénél tudnak elérni (lásd az utóbbi évek közgazdasági Nobel-díjasait). Szimuláció használata esetén azonban bonyolultabb összefüggéseket is vizsgálhatunk, bár természetesen ennek is vannak korlátai.

A következő példában két lehetőség eltérő gyakorlati alkalmazását mutatom be.

Banki pultok számának meghatározása

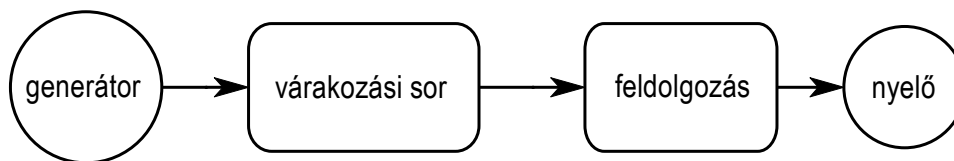
Nézzünk egy példát az előzőek bemutatására!

Hány pult legyen egy bankban, hogy az ügyfeleket ne kelljen túl sokáig várakoztatni.

Matematikai analízis esetén feltehetjük, hogy az ügyfelek egymás után egy λ intenzitású Poisson folyamat szerint érkeznek (két ügyfél érkezése között az idő exponenciális eloszlású), az ügyfelek kiszolgálásának idejét pedig egy μ intenzitású Poisson folyamat írja le. A várakozási sor hossza végtelen lehet. Ilyen esetekben a problémát egy M/M/n-es kódú kiszolgálási folyamattal modellezhetjük. M/M/1 esetén a várakozási sor átlagos hossza ($\lambda = 3.5, \mu = 4.5$ esetén) [2]:

$$\bar{N} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{3.5}{4.5 - 3.5} = 3.5$$

Szimuláció alkalmazásakor egy szállítószalag-szerű modellt építünk fel, amelynek a struktúrája a 4-1. ábrán látható:



4-1. ábra Várakozó sorok egyedeinek kiszolgálása szállítószalag esetében

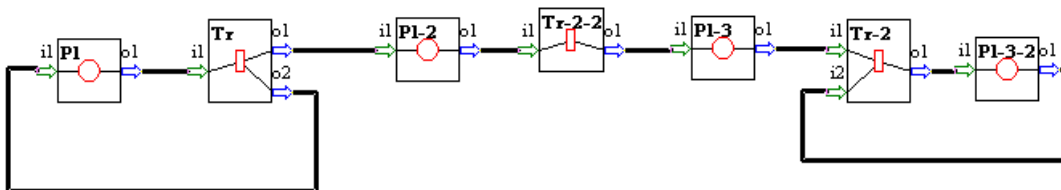
Az ábrából láthatjuk, hogy a generátor meghatározott ütemben ügyfeleket „gyárt”, amelyek a várakozási sorba kerülnek. A feldolgozás-állapotban egyszerre csak egy ügyfél lehet, amellyel meghatározott ideig foglalkoznak, majd az ügyfél a nyelőn keresztül elhagyja a rendszert. A rendszerből számunkra a várakozási sor átlagos

hossza fontos, amelyet minden időpillanatban kiszámolunk. A ProModel [3] szimulációs rendszer segítségével, a fenti matematikai modellben alkalmazott $\lambda = 3.5, \mu = 4.5$ Poisson-folyamattal modellezett generálási és feldolgozási idővel, az eredményünk ([t] = perc) különféle futtatási hosszok esetén a következők szerint alakul:

szimulált idő	\bar{N}
2 óra	0.6
10 óra	7.09
18 óra	4.22
24 óra	3.32
48 óra	3.52

A táblázatból jól látható, hogy az idő növelésével közelítőleg az előző matematikai levezetésből származó eredményt kapjuk. Ebben az egyszerű esetben természetesen gyorsabb egy matematikai képletbe helyettesíteni, mint egy szimulációs modellt felépíteni és elemezni. Hasonló példák megoldására nyújt lehetőséget a CASSANDRA

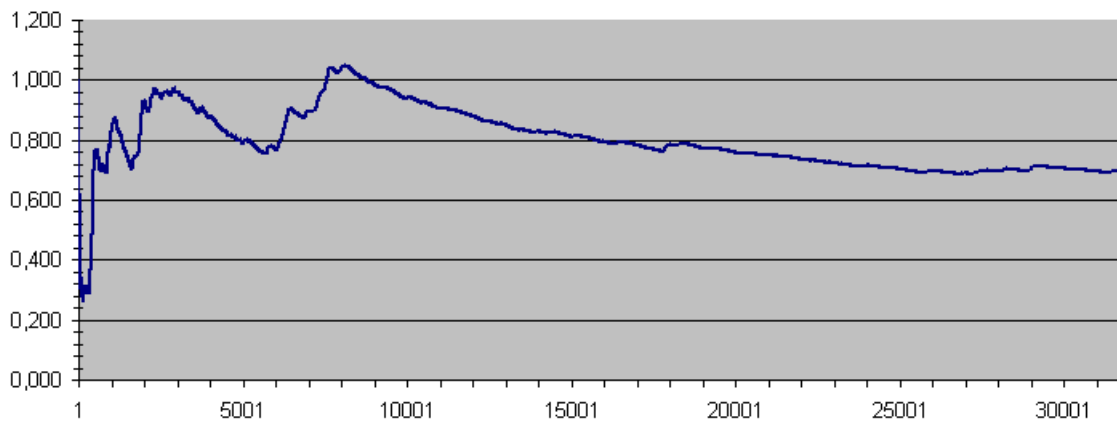
(Cognizant Adaptive Simulation System for Applications in Numerous Different Relevant Areas [6,7]) tudásattribútumú, Petri-hálót [5] alkalmazó szimulációs eszköz is. A 4-2. ábrán egy Petri-hálóval felépített kiszolgálási modell rajza látható:



4-2. ábra Petri-hálóval modellezett kiszolgálási rendszer

A Petri-háló bal oldalán lévő PI-Tr elem a generátor, a PI-2 elem a várakozási sor, a PI-3 elem a feldolgozó egység, és a Tr-2 – PI-3-2 elem a nyelő. Amennyiben a generátor Gauss eloszlás

alján ($\mu = 7, \sigma = 2$) generálja az ügyfeleket, és a feldolgozó egység szintén Gauss eloszlás alapján ($\mu = 5, \sigma = 2$) foglalkozik az ügyfelekkel, akkor a 4-3. ábra szerinti eredményt kapjuk.



4-3. ábra Gauss eloszlású sorbanállási rendszer modellje

Jól látható, hogy a szimuláció során az átlag értéke egy megadott szintre áll be, ami az elméleti eredményt mutatja. A példa megoldása során több olyan problémával is találkozunk, amit egyáltalán nem, vagy csak nehezen tudunk matematikai analízis segítségével megoldani.

Ilyenek lehetnek például:

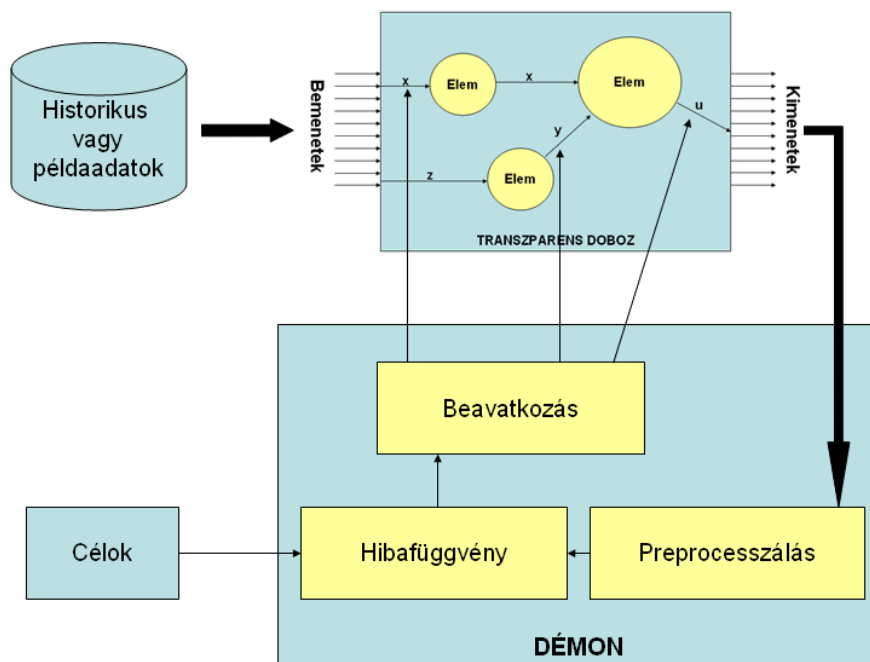
- A Poisson-folyamat nem teljesen írja le az ügyfelek érkezését és az egyes pultoknál eltöltött időt. Az itt felhasznált λ és μ értékeknek a meghatározása is nehézkes lehet.
- Nem tudjuk megfelelő módon kezelni a speciális banki üzemi szabályokat, így például nem modellezzük, hogy hosszú sor esetén a devizaablaknál is lehet csekket feladni

Szimulációnál ezek a problémák megoldhatók: meghatározhatjuk egy hasonló fióknál az ügyfelek érkezése közötti idők eloszlását, és a banki üzemi szabályokat is figyelembe vehetjük a szimuláció során.

Optimalizálás

Ha a banki példát tekintjük, és bizonyos szempontból optimális eredményt kívánunk kapni, akkor a szimulációval erre is lehetőség nyílik.

A modell néhány bemenő paraméterének módosításával (a kiszolgáló ablakok számát például úgy változtatjuk, hogy a várakozási sor átlagos hossza mindig 3 alatt legyen) a szimuláció lehetőséget nyújt a modellezett rendszer optimalizálására, amihez az szükséges, hogy a modell teljesen meghatározott „transzparens doboz” legyen (lásd 4–4. ábra), amelynek pontosan ismerjük a működését (esetleg előzőleg indentifikáljuk a rendszert, lásd később).

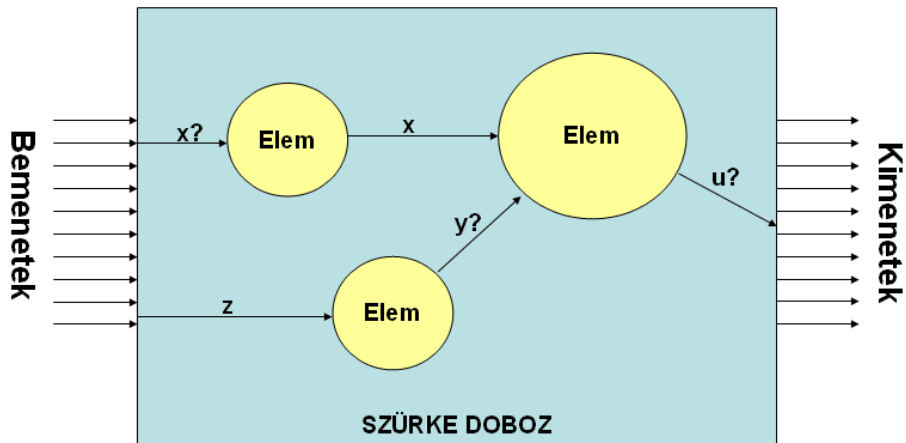


4–4. ábra A transzparens doboz modell

A transzparens doboz modellben egy, a modelltől független démon [4] felelős azért, hogy a megadott cél minél jobban megvalósuljon. Ez tipikusan egy változó vagy változók összesített értéke lehet, amelynek maximalizálása vagy minimalizálása a cél. A démon ugyanazon bemenetek felhasználásával, a modell paramétereinek változtatásával próbálja a megadott célt elérni.

Rendszeridentifikáció

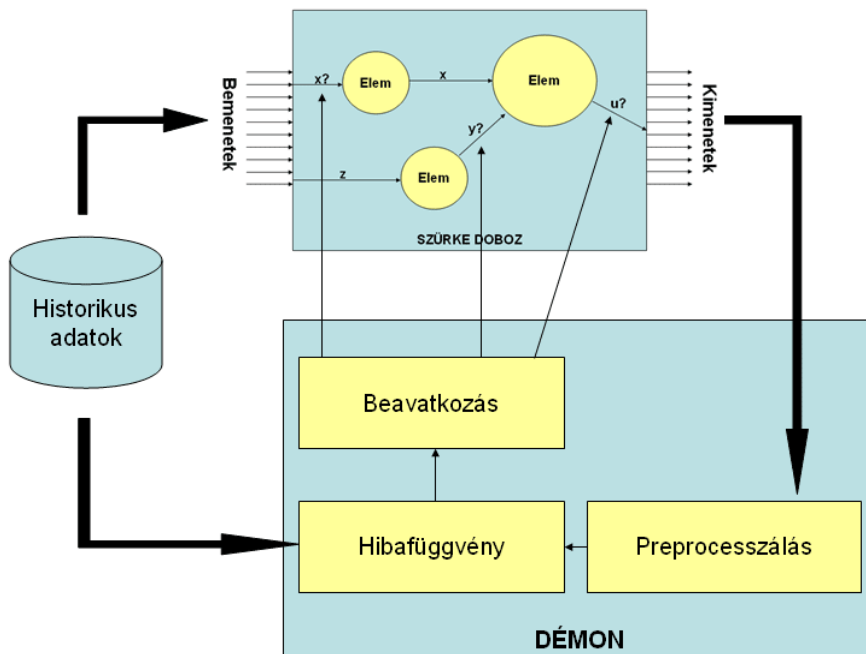
A szimuláció segítségével lehetőség nyílik rendszeridentifikációra is, elsősorban az ún. szürkedoboz kategóriában. A „szürkedoboz” olyan egység, amelynek ismerjük a bemeneteit, a kimeneteit, de a belső részéről csak hozzávetőleges ismereteink vannak. A szimuláció jól használható abban az esetben, ha ilyen „szürkedoboz” típusú elemet kell modelleznünk.



4-5. ábra Szürkedoboz típusú modell

A rendszeridentifikáció során először az általunk ismert részt építjük fel a szimulációs rendszer elemeivel, meghatározva azokat a paramétereket, amelyeket nem ismerünk eléggé. A modell identifikálásában az előző részben említett démon [4]

lesz segítségünkre. Ebben az esetben a démon szerkezete és kapcsolata a modellel a következőképpen néz ki (lásd 4-6. ábra):



4-6. ábra A démon kapcsolata a szürkedoboz-típusú modellel

A szürkedoboz-típusú modell esetében a démon feladata a modell paramétereinek minél pontosabb meghatározása a historikus adatok alapján. A démon a historikus adatok között tárolt kimeneti adatokat összehasonlítja a modell kimenő értékeivel, és ez után egy meghatározott algoritmus szerint megváltoztatja a modell paramétereit. Ez a változtatás történhet minden adat után, vagy az összes historikus adat végigjátszása után. A változtató algoritmus tipikusan egy megadott paraméterekkel rendelkező hill-climbing algoritmus.

Következtetés

Az itt bemutatott példákon kívül a felsorolt módszereket kutatásaink során már többféle probléma megoldására is alkalmaztuk.

Néhány ezek közül:

- minőségellenőrzés és költségoptimalizálási szimuláció egy összeszerelő üzemben [8],
- régiófejlesztés az úthálózat fejlesztésével [9],
- vasúti forgalomirányítás-szimuláció [10],
- rendszeridentifikáció–esettanulmány folytonos modell esetén [11].

Jelenlegi kutatási témáink közül a legjelentősebb a cikkben definiált démon továbbfejlesztése, és makrogazdasági, régiófejlesztési modellek identifikálása.

Hivatkozások

- [1] JÁVOR A. – BENKŐ T.-NÉ: Diszkrét rendszerek szimulációja, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.
- [2] GYÓRFI L. – PÁLI I.: Tömegkiszolgálás informatikai rendszerekben, Műegyetemi Kiadó, 1996.

- [3] ProModel 1.1 Student Edition, 1994. ProModel Corporation.
- [4] JÁVOR, A.: Demon Controlled Simulation, Mathematics and Computers in Simulation Vol. 34, 1992.
- [5] PETERSON J. L.: Petri Net Theory and Modeling of Systems. Prentice Hall, 1981.
- [6] JÁVOR, A. Knowledge Attributed Petri Nets, System Analysis, Modelling, Simulation 13 (1993) 1/2, p. 5-12.
- [7] JÁVOR, .A. – Benkő, M. – Buzásy, Gy. – Farkas, A. – Szűcs, G.: Traffic Simulation with the AI Controlled CASSANDRA Simulation System, 2nd IMACS Symposium on Mathematical Modeling, February 5-7, 1997, Vienna, Austria, p. 835-840.
- [8] SZŰCS G. – VÍGH, Á.: Simulation of a Quality Controlled Manufacturing and Assembly System, Systems Analysis Modeling Simulation 18-19 (1995), p. 279-282.
- [9] MÉSZÁROS-K., G.. „Investigation of the Influence of the Road Traffic Network Conditions on the Development of Regions by Means of AI Controlled Simulation.”, Periodica Polytechnica (megjelenés alatt).
- [10] Szűcs G.: Railway Simulation with the CASSANDRA Simulation System, Journal of Computing and Information Technology (CIT), Vol. 9, 2001c.
- [11] MÉSZÁROS-KOMÁROMY G.: Szimulációs modell finomhangolása ügynök segítségével, BME GTK Tudományos Diákköri Konferencia, 2000.