

Modellek, reprezentációk és összehasonlítások a számítógépes szimulációkban

Gulyás László

Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Budapest

lgulyas@aitia.ai

Bevezető

A számítógépes szimuláció több tudományágban is hosszú történetre tekinthet vissza, és mostanában teret kezd nyerni a társadalomtudományok különböző területein is. Természetesen, és elvárhatóan, ehhez hosszas vita társul a számítógépes modellezés módszertanáról általában, és különösen arról, hogy mi képez érvényes és elfogadható eredményt. A vita azért fontos, mert a nyilvánvaló különbségek a természettudományi, műszaki és társadalomtudományi gondolkodásmódban megnehezítik, hogy egyszerűen átemeljük azokat az érvényességi fogalmakat, melyeket nagyobb számítógépes szimulációs múlttal rendelkező tudományágokban használnak.

Ebben a tanulmányban bizonyítjuk, hogy sok koncepció, amit az érvényes társadalmi szimulációk megvitatása során vezettek be, vagy amelyeket különböző más tudományágak használnak, megérthető és osztályozható az összehasonlítás egyszerű koncepciójának használatával. Hogy idáig eljussunk, először kifejtjük az alapfelfogásunkat a modellezésről és a szimulációs eljárásról. A tanulmányban végig olyan kérdésekkel foglalkozunk melyek általánosságban kapcsolódnak a számítógépes szimulációhoz, de alkalmanként olyan pontokra is utalunk, melyek a mi munkánk területére, az ágens alapú szimulációra vonatkoznak.

A modell (nem) egy pipa

Hogy megvilágítsuk a felfogásunkat arról, hogy mi alkot egy modellt, kölcsönvettünk egy hasonlatot Peter Allen-től, a Cranfield Egyetem professzorától, aki René Magritte, az egyes ábrán látható, híres festményét használja arra, hogy elmagyarázza diákjainak a modellezés lényegét. A festményen egy valóság-hű pipa látható, és egy figyelmeztetés, hogy ez *nem* egy pipa. Nos, a figyelmeztetés helyes, az ábrázolt tárgyat soha nem használhatjuk arra, hogy egy jót pőfékeljünk vacsora után. Ami azt illeti, még csak megfogni se lehet, mivel hiányzik neki az egyik a hétköznapi tárgyak három dimenziójából. Mégis, a pipa élethű, ezért el lehet képzelni, hogy segítségével el lehetne magyarázni egy másik bolygóról jöttnek, hogyan néz ki egy pipa, és milyen részei vannak. Lehet, hogy még azt is el lehetne magyarázni, hogyan kell jó pipát készíteni.

Ez nagyon hasonlóan van a modelleknél, melyek legfőbb alap eleme az egyszerűsítés. Nincs sok értelme egy modell magalkotásának, ha ugyanolyan bonyolult, mint az a dolog melyet modellez. És ez is egy másik pont; mindig ott van a modell (kép) és a modell tárgyának (pipa) kettőssége. Még fontosabb, hogy a modellnek rendelkeznie kell azzal a képességgel, hogy valamilyen módon hasznos legyen (el lehessen magyarázni mi egy pipa, vagy hogyan lehet egyet készíteni), máskülönben megint nem lenne sok értelme elkészíteni.

Mindazonáltal sok lehetséges felhasználás és egyszerűsítés létezik, ezért végtelen sok (jó) modell készülhet ugyanarról a dologról.



1. ábra: „Ez nem egy pipa” (La trahison des images) (René Magritte, 1928-1929)

Számos modell egyetlen számítógépes szimulációhoz

Azon felül, hogy sok lehetséges (és jó) modell létezik ugyanahhoz a tárgyhoz, mindig számos modell kapcsolódik ugyanahhoz a számítógépes szimulációhoz. Ez nem egyszerűen csak a kutatás és fejlesztés ismétlődő természetéből fakad, noha ez a tulajdonság nyilván megsokszorozza az érintett modellek számát. Lényegesebb, hogy egyetlen számítógépes szimuláció természeténél fogva magával von több különböző modellt. Ez azért van, mert a modellezendő tárgy első modellje a modellező agyában készül – ezt úgy hívjuk ezentúl, hogy a *modellező kognitív modellje* a tárgyról. Ezt aztán formalizálják emberi nyelven, mikor a (szóbeli vagy írott) *specifikáció* készül az érintett programozó¹ számára.

A programozó is felépíti az ő kognitív modelljét, amiből egy másik formális reprezentáció, az *implementáció* készül. A szimulációt végül futtatják és a munkát publikálják. Ez utóbbihoz egy *formális modell leírás* készül. A publikáció tartalmazza még a szimuláció eredményeit és azok értelmezését.

¹ Itt arról a (meglehetősen tipikus) esetről beszélünk, mikor a modellező és a programozó két különböző személy. Mindazonáltal egy rövidebb, de nagyon hasonló, modell-láncot lehetne alkotni a számítógéphez értő modellezők esetére.

Az egyetlen számítógépes szimulációhoz tartozó számos modell (reprezentáció) jelentősége többrétű. Először is ez hibák és félreértések nyilvánvaló forrása. Különösen, ha sok személy érintett. Mi több, a szimulációs munka (és az eredménye) minőségét nagyban befolyásolják a lehetséges eltérések a kognitív modell, az implementáció és a publikált formális modell leírás közt. Ez a kérdés nyilvánvalóan kötődik a modell verifikációhoz és validációhoz, később visszatérünk rá. A modellek sokszerűsége azonban felvet egy másik kérdést, amit a szimulációban kételkedők gyakran felhoznak. Nem lenne-e jobb kihagyni a teljes programozó-implementáció-formalizáció (számítógépes) részt, ahogy van, és a modellezéshez a régi jól bevált matematikai módszereket használni?

A számítógépes szimuláció, mint formális rendszer

Nem szeretnénk itt megismételni részletesen az összes gyakori érvet a számítógépes modellezés mellett (pl.: a modellek lehetséges kezelhetetlensége, megalapozatlan számítási feltételezések a szereplőkről, képtelenség a nem egyensúlyi szituációkat elemzésére, stb.).

Inkább szeretnénk rámutatni, hogy kérdés rossz. Legalábbis rossz akkor, mikor a szimulációk *ábrázoló erejét* hasonlítjuk össze a matematikával. Ez azért van így, mert *minden számítógépes szimuláció, definíció szerint, formális matematikai modell.*

Ez nyilvánvaló, hiszen minden számítás, amit a mai számítógépek el tudnak végezni, ekvivalensen kiszámítható egy megfelelően megalkotott programmal egy általános Turing gépen. Mivel mind a Turing gép mind a programja jól definiált matematikai szerkezetek, nincs ok arra, hogy azt gondoljuk, a számítógépes szimulációk kevésbé formálisak mint bármely más matematikai konstrukció.

Mivel az utalás a Turing gépre meglehetősen homályosnak tűnhet, egy másik nyilvánvaló kijelentést is teszünk. *Minden számítógépes szimulációt ekvivalensen le lehet írni egy megfelelően konstruált Markov láncsal.*

Anélkül, hogy formális részletekbe bocsátkoznánk, a Markov lánc egy diszkrét idejű sztochasztikus folyamat a tulajdonsággal, hogy a jövőbeli állapota csak a jelen állapotától függ (és a múlttól nem). Mivel a számítógép természeténél fogva diszkrét gép, csak annyit kell belátnunk, hogy a szimulációnk 'emlékezetlen'. De ez nyilvánvaló, mivel a szimuláció jövője csak a számítógép memóriájának jelen állapotától függhet.

A reprezentáció számít

Remélhetőleg a fenti két általános állítás meggyőzte az olvasót, hogy egy számítógépes modell konstruálása nem kevésbé formális, mint más matematikai konstrukciók használata. De vannak árnyalatnyi különbségek. Az egyik azért van, mert a matematikai tudományágakkal és rendszerekkel (mint a funkcionális analízis, a Turing gép, vagy a Markov folyamat) velük járnak a rájuk jellemző megoldási módszerek és jól ismert tételek. A szimuláció skeptikusai igazán azért követelik a formalizációt, mert hiányolják azt, hogy ezekre a módszerekre és tételekre építhessenek. És itt a megfelelő ok valóban gyakran a kezelhetetlenség. Mindazonáltal szeretném felhívni a figyelmet egy másik idevonatkozó pontra, a használhatóságra.

A számítógépes szimuláció megengedi olyan modellek konstrukcióját és elemzését, melyek formális megfelelőivel (még ha a fentieknél kevésbé naiv módon készítenénk is azt) nem lehetne praktikusán dolgozni. A reprezentáció fontosságát egy másik vizuális hasonlattal világíthatjuk meg. A 2. ábra két mezője ugyanazt a képet mutatja, csak a reprezentációjuk (interpretációjuk) különbözik. A kiotói Kyumizudera képe ugyanaz, de a baloldalon egy szövegszerkesztővel van megnyitva, a jobbon pedig egy képnézegetővel.

Az ábra világosan mutatja, hogy a reprezentáció számít, és hogy az egyik formalizációval könnyebb lehet dolgozni egy adott problémánál mint egy másikkal. Ez utóbbi megjegyzés akkor is alkalmazható, mikor különböző szimulációs paradigmák alkalmazhatóságát vitatjuk meg (pl.: ágens alapú szemben a rendszer dinamikai szimulációval).



2. ábra: A reprezentációs (interpretációs) számít. A kiotói Kyumizudera képe – egy szövegszerkesztővel és egy képnézegetővel megnyitva.

Validáció mint összehasonlítás

Eddig azt állítottuk, hogy ugyanannak a tárgynak többféle modellje is van, és bármely számítógépes szimulációs projectben ezen modellek egy sorozata érintett. Mi több, azt is állítottuk, hogy a matematikai szimuláció a modellek leírásának olyan formalizációja, ami annyira megalapozott matematikailag, amennyire az egyáltalán lehetséges. Mégis egy praktikusabb eszköz lehet bizonyos problémáknál mint az analitikus módszerek, csak mert a reprezentációja jobban illeszthető a problema teréhez. A következőkben visszatérünk a szimuláció minőségéhez.

A vonatkozó irodalom a számítógépes szimulációról, mind a természet- mind a műszaki tudományoknál, és a társadalmi szimulációkkal kapcsolatosak is, sok különböző koncepciót és megközelítést tartalmaz a számítógépes modellek minőségének definiálására és értékelésére. Köztük van például a strukturális és fenomenológiai érvényesség; verifikáció és verifikáció stb.. Nézetünk szerint ezek mind megérthetőek egy nagyon egyszerű keretrendszeren belül. Nevezetesen a modell minőségét mindig két különböző objektum (vagy modell, vagy rendszer stb.) összehasonlításával határozzuk meg. Például a *verifikáció* a modell implementációját hasonlítja a *specifikációhoz*, vagyis implicit a *modellező kognitív modelljéhez*. A modell *replikációjánál* egy implementáció eredményeit hasonlítjuk össze egy másikéval, vagy pontosabban, a replika eredményeit (és értelmezését) hasonlítja az eredeti publikációéhoz. A *dokkolás* egy hasonló eljárás, ami két, ugyanazt a tárgyat modellező, modell lánc eredményeit hasonlítja össze.

Ennél is fontosabb, hogy az összehasonlítás alapú keretrendszer lehetővé teszi, hogy rámutassunk árnyalatnyi különbségekre a különböző megközelítések és motivációk közt a számítógépes modellezéssel kapcsolatban. A különböző megközelítéseknek eltérő a státusa a különböző tudományágakban (pl.: műszaki szemben a mesterséges társadalmi szimulációkkal), melyeknek általában általában megvan a maguk saját 'modus operandi'-ja (eljárásmód), noha néhány tudományág különböző megközelítéseket is megenged.

A következőkben bemutatjuk a modell-minőség főbb megközelítéseinek nem teljes taxonómiáját.

Név	Összehasonlítás	Példa	Felhasználási terület
Előrejelzés	Az implementáció állapota t+T időben, a céltárgy állapotához egy jövőbeli időben	Hurrikán előrejelző rendszerek	Műszaki tudományok, Természettudományok, Mikro szimuláció
Visszatekintő illesztés	Az implementáció állapota t-T időben, a céltárgy állapotához egy előző időben	Klíma változás modellek illesztése fossziliákból nyert adatokhoz	Klímamodellezés
Fenomenológiai szimuláció	Az implementáció egy adott tulajdonsága, a céltárgy egy adott, előzetesen ismert tulajdonságához	Wright fivérek repülőgépe, Turing test, repülő és autóverseny szimulátorok	Műszaki tudományok
Gondolat kísérletek	A szimuláció eredményeit, előzetesen létező elméletekhez/modellekhez	Axelrod kooperáció evolúciós modellje	Társadalmi szimuláció

1. táblázat. A modell minőség főbb összehasonlítás alapú megközelítéseinek hiányos taxonómiája.

Szoftverfejlesztésben és matematikában képzett lévén, az *előrejelzéssel* kezdem, ami egyúttal valószínűleg az érvényesség leggyakoribb értelmezése. Legalábbis ez az, amit az ágens alapú modellezőknek a leggyakrabban meg kell magyarázniuk, miért nem teszik.

Az előrejelzés esetében, az érvényesség forrása az egyezés az implementáció állapota egy jövőbeli időben (szimulált egységekben), és a tárgy állapota egy jövőbeli időben (valós egységekben)² közt. Ez az elvárás természetes, mikor a szimuláció célja valaminek a megelőzése (pl. egy középület összedőlése), vagy egy megfelelő és megbízható figyelmeztetés kiadása (pl. hurrikán előrejelző rendszerek).

Néha az előrejelzés képessége nem alkalmazható mérték, noha a szimuláció motivációja és célja nagyon hasonló. Ez a helyzet például a klímakutatásnál, ahol a megfigyelt jelenség időbeni kiterjedése kizárja az előrejelzés képességének értelmes tesztelését.

(Mire eldöntik, hogy a modell helyesen jelzi előre a globális felmelegedés ütemét, addigra a cselekvés lehetősége már lehet hogy elmúlt). Az ilyen alkalmazásoknál a szimuláció minőségét a *visszatekintő illesztéssel* határozzák meg, vagyis az implementáció állapotait előző időben (szimulált egységekben), hasonlítják a cél *régebbi állapotaihoz*, abban a reményben, hogy ha az érékek a múltban egyeztek, akkor a jövőben is egyezni fognak.

A szimuláció minőségének egy teljesen más megközelítése van jelen sok műszaki alkalmazásban vagy a mesterséges intelligenciában, hogy megint visszautaljak a tanulmányaimra. Az úgynevezett 'Turing teszt' előírja, hogy ahhoz, hogy egy beszélgető robot kiérdemelje az 'intelligens gép' címet, a robotnak megkülönböztethetetlennek kell lennie egy emberi beszélgető partnertől egy emberi megfigyelő számára. Ez nagyon hasonlít a repülés korai történetéhez. A Wright fivérek egy tárgyat akartak építeni, ami szimulálja a madarak egyik feltűnő tulajdonságát: nevezetesen hogy repülni tudnak. Miközben keresték

² Itt szándékosan kerüljük az olyan témák tárgyalását, amelyek a céltárgyhoz tartozó tapasztalati adatok elérhetőségére vonatkoznak, vagy az adatok lehetséges szubjektív értelmezésére vagy reprezentálására vonatkoznak. A tapasztalati adatok gyűjtésének lehetséges, elmélet (modell) kiváltotta, egyoldalúságához kapcsolódó témákat szintén kihagyjuk.

hogyan érhetnék ezt el, a madarak egy olyan modelljét építették meg ami a valódi madarak nagyon kevés tulajdonságát imitálta, de reprodukálta a kívánt jelenséget. Ezt a megközelítést mi *fenomenológiai szimulációnak* hívjuk, ami összehasonlítja az implementáció egy kiválasztott tulajdonságát a céltárgy egy kiválasztott tulajdonságával, ami *előre ismert*.

Végül van egy megközelítés, ami nagyon elterjedt az ágens alapú szimulációban és általában *'gondolat kísérleteknek'* nevezik, ami létezési bizonyítékokat ad nagyon teoretikus kérdésekre. Egy kiváló példa erre Robert Axelrod kooperáció evolúciós modellje. Ebben Axelrod megkísérli kivizsgálni az ellentmondást, hogy miközben számos társadalomtudományi ág alapfeltevése szerint az emberi természet alapvetően önző, a hétköznapi életben megfigyelt altruista viselkedések száma magas. Axelrod konkretizálja az általános kérdést azáltal, hogy a stratégiák evolúcióját az Ismétlődő Fogoly Dilemma keretei közt tanulmányozza. A számítógépes modellje azt mutatja, hogy *nem lehetetlen*, hogy a kooperatív (altruista) viselkedés kerekedjen felül és domináljon társadalmakban. Vagyis Axelrod a szimulációinak eredményeit már előzőleg létező elméletek/modellek következményeihez hasonlítja.

A legtöbb ágens alapú szimulációt újra lehet fogalmazni a fenti módon, jóllehet ez a megfogalmazás néha azt sugallja, hogy a megválaszolendő kérdésnek nincs túl nagy jelentősége. Ez utóbbi azért van, mert egy ilyen fajta rendes megfogalmazás felsorolja a modell összes *ceteris paribus* feltételezését, ami leszűkíti az alkalmazhatóságát. Például Thomas Schelling híres szegregációs modellje megválaszolja azt az elméleti kérdést, hogy vajon lehetséges-e nagyfokú lakóhely szerinti szegregáció egy meglehetősen toleráns társadalomban (vagyis olyan társadalomban, melynek minden tagja nagyon toleráns más etnikumok tagjaival). Egy általánosabb kérdés, hogy vajon az intolerancia (rasszizmus) szükségképpen szerepet játszik-e mikor szegregáció figyelhető meg. De hogy a megfogalmazást precízebbé tegyük, bele kéne foglalnunk egy diszkrét, két dimenziós tér feltételezését; egy lépcsős tolerancia függvényt stb.. Mindazonáltal ezt akár előnyként is felfoghatjuk (különösen mivel a számítógépes modellek az ilyen feltételezéseket meglehetősen világossá teszik), mivel az ilyen korlátozások szisztematikus eltávolítása segíthet meghatározni a modell alkalmazási területét.

Összegzés:

Ebben a tanulmányban felidéztek a számítógépes modellezés alapfogalmait, és bevezettünk egy egyszerű összehasonlítás alapú keretrendszert arra, hogy leírjuk a számítógépes szimulációk érvényességének megítélésének különböző létező megközelítéseit. Négy főbb irányt fejtettünk ki részletesen: az előrejelzést, a visszatekintő illesztést, a fenomenológiai szimulációt és a gondolat kísérleteket. Ezen megközelítések alkalmazására példákat is adtunk.