

Társadalmi konfliktusok matematikai modellezése

Unger Tamás István
Szegedi Tudományegyetem
Bolyai Intézet
B.Sc. szakos matematikus hallgató
Szeged, Magyarország
ungert@maxwell.sze.hu
<http://maxwell.sze.hu/~ungert>

Ágoston Dóra Csenge
Szegedi Tudományegyetem
Bolyai Intézet
B.Sc. szakos matematikus hallgató
Szeged, Magyarország
dorika0429@gmail.com

Kivonat—Cikkünk célja, hogy a Matematikai modellek c. kurzus keretei között feldolgozza a zürichi Műszaki Főiskola két hallgatójának projekt munkáját, amely projekt munka a társadalmi konfliktusok matematikai modellezésével foglalkozik, ügynök alapú modell segítségével. A cikkben összefoglaljuk a munka elméleti hátterét, a felhasznált modell jellemzőit és viselkedését, valamint kitérünk annak implementálási módjára, végül pedig egy lehetséges megoldást mutatunk a modell kimeneteként vizsgálható általános elégedettség alakulásának vizsgálatára is, az egyes bemeneti modellparaméterek függvényében.

Kulcsszavak—matematikai modellek, társadalmi konfliktusok, modellezés, ügynök alapú modellezés, konfliktusmodellezés

I. BEVEZETÉS, MOTIVÁCIÓK

A huszonegyedik század modern társadalmát hatalmas súlyos, elhúzódó és sokszor véres konfliktus jellemzi. Ezek egy része, mint például az *Arab Tavasz* eseményei [1], valamint az ezt követő szíriai helyzet nagy sajtónyilvánosságot kap, míg egy másik részük – például a Mexikóban dúló konfliktusok – szinte láthatatlannak tűnnek, mégis sok problémát és szenvedést okoznak a föld lakosságának.

Míg az előbb említett konfliktusok esetén egy politikai rendszer – tipikusan a kormány – áll szemben a társadalom egy jelentős részével, addig az utóbbi esetben tipikusan két szembenálló csoport – például a maffia és a rendőrség – küzdelme okozza a konfliktust és a társadalmi feszültségeket.

Ez a konfliktus merőben más természetű, mint az egyforrásos elnyomás, hiszen ahelyett, hogy egy központi szervezet próbálna elnyomást gyakorolni a teljes népességre, ebben az esetben mindkét csoport egyszerre próbál kontrollt gyakorolni a lakosságra, amelyhez a társadalom egy részének támogatására mindenképpen szükségük van, hogy harcolni tudjanak a szembenálló fél ellen.

A modell tehát általánosan alkalmas egy olyan konfliktusos szituáció természetének modellezésére, ahol két szembenálló csoport küzd egymás ellen az irányítás és a hatalom megszerzéséért, és amelyek a tagjaikat a társadalom tagjai közül képesek toborozni az egyének aktuális szimpátiája alapján.

II. LEGFŐBB KÉRDÉSEK

A modell elsődleges célja, hogy választ adjon néhány izgalmas, érdekes kérdésre. A projektet implementáló zürichi hallgatók a következő négy kérdést tették fel a munkájuk elején:

- 1) Miként alakul és fejlődik a konfliktushelyzet az idő múlásával, egy előre rögzített bemeneti paraméterkészlet esetén, és hogyan fog ez változni akkor, ha módosulnak a bemeneti paraméterek?
- 2) Hogyan viselkedik a társadalom annak érdekében, hogy javítsa, vagy legalább fenntartsa az elért elégedettségi szintjét?
- 3) Miként viselkedik a rendőrség az idő múlásával annak érdekében, hogy irányítása alatt tartsa a maffiát anélkül, hogy a társadalmat túl nagy szenvedés érje?
- 4) Hogyan viselkedik a maffia a saját erejének növelése érdekében?

A hallgatóknak a projekt munka végére nem sikerült az összes kérdést megválaszolniuk. A második kérdéshez például olyan aktív társadalom modellezése van szükség, amely képes beavatkozni a konfliktusba olyan módon, hogy tudatosan megtagadja a támogatást mindkét szembenálló csoporttól, így beszervezhetetlenné válik.

III. A MEGVALÓSÍTOTT MODELL

III-A. Alapok

Már az elején fontos leszögezni, hogy a megvalósított modell egy úgynevezett ügynök alapú modell

[2], a megvalósítási környezet pedig Matlab [3]. A hallgatók kiindulási alapként Joshua M. Epstein ügynök alapú konfliktusmodelljét [4] alkalmazták, amelyben egy centralizált hatalom (például a rendőrség) küzd egy decentralizált lázadócsoporthoz (lakosság) ellen.

Lényeges különbség, hogy míg Epstein modellje két típusú emberrel dolgozik (rendőrök és ügynökök, utóbbiak a társadalom potenciális lázadó-tagjai), addig a hallgatók által implementált modell csak egyetlen ügynöktípust tartalmaz, amely lehet maffia- vagy rendőrségtámogató, de maradhat semleges is. Ennek előnye, hogy módosíthatóvá válik az ügynök lojalitása anélkül, hogy teljesen újra kelljen őt definiálni, amely megkönnyíti a modell implementálását is.

További különbség, hogy míg Epstein modellje csak a rendőrség általi letartóztatás valószínűségével dolgozik, addig a hallgatók modellje alkalmazza a maffia által okozott sérülés elszívásának valószínűségét. Ezen valószínűségek szimmetrikusak.

A modell tehát két egymással szembenálló csoportot tartalmaz: a rendőrséget és a maffiát, mint bünszervezetet, melyek természetesen tekinthetők két általános, szembenálló csoportnak is, hiszen a szimuláció során nem alkalmaztak csak a maffiára, illetve csak a rendőrségre jellemző paramétereket. Ezen két csoport között helyezkedik el a társadalom többi tagja, melyek többsége a konfliktus szempontjából passzívan viselkedik, de természetesen képesek támogatóként is fellépni az egyik vagy a másik oldallal szemben.

III-B. A világ modellje

Világos, hogy Matlab-környezetben vektorokkal, mátrixokkal tudunk dolgozni. Éppen ezért a legcélszerűbb megoldás a világ modellezésére egy kétdimenziós tér, amelyet a modellben egy mátrix valósít meg. A mátrix minden eleme egy-egy olyan területet jelent, amelyet egy ügynök el tud foglalni. Ezen mátrixelemek természetesen rendelkeznek koordinátákkal: lényegében a sor- és az oszlopszám egyértelműen meghatározza a mátrix elemeit, így a helyét és annak koordinátáit is.

Két ilyen hely szomszédosnak számít, ha a sor- és oszlopszámuk különbsége (egymástól mért távolságuk) nem nagyobb, mint egy előre meghatározott pozitív egész szám. Ezt a modell *vision*-nek nevezi, ami láthatóságot, láthatósági konstanszt jelent. Például ha ez a konstans 2, akkor egy mezőnek minden olyan mező a szomszédja, amely nincs távolabb tőle kettő sornál és kettő oszlopnál.

III-C. A kórház és a börtön modellje

Amennyiben egy személy megsérül vagy letartóztatják, a modell eltávolítja őt az előbb ismertetett

világmodellről és elrakja őt a kórház vagy a börtön modelljébe. Mindkét modell egy programozási szempontból speciális, *location* nevű struktúrában került megvalósításra. Ezek tulajdonképpen egydimenziós tömbként viselkednek, melynek *x*-koordinátája -1 (kórház) vagy -2 (börtön), az *y*-koordináta pedig megegyezik a tömbön belüli index értékével.

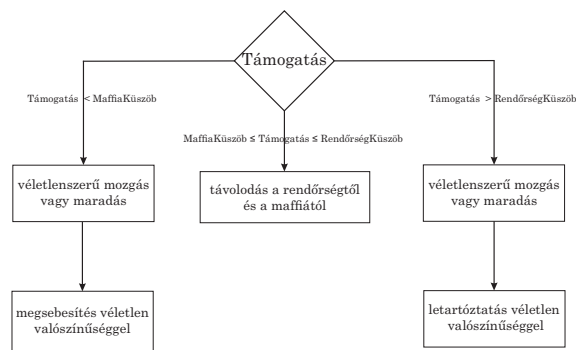
A kórházban és a börtönben töltött idő értéke előre meghatározott. Amíg az ügynök kórházban vagy börtönben tartózkodik, ez az érték csökken időlépésről időlépésre. Amikor ez a számláló eléri a nullát, az ügynököt a modell visszadobja a világra egy véletlenszerű, szabad helyre.

III-D. Mozgás és viselkedés

A rendőrség és a maffia aktív tagjai szabadon mozoghatnak minden olyan szabad mezőre a világon belül, amely a korábban részletezett módon szomszédos mezőnek számít ahhoz képest, ahol jelenleg tartózkodnak. Világos, hogy a passzív ügynökök úgy mozognak, hogy megpróbálják elkerülni a világ azon területeit, ahol a rendőrség vagy a maffia befolyása jelentős.

A rendőrség tagjai minden időlépésben megvizsgálják a körülöttük elhelyezkedő szomszédos területeket, és bizonyos valószínűséggel letartóztatnak egy ott álló ügynököt. Ez a valószínűség a kérdéses személy jellemző paramétereinek, valamint a szomszédok paramétereinek függvénye.

Hasonlóképpen, a maffia tagjai minden időlépésben megvizsgálják a szomszédos területeiket, és bizonyos valószínűséggel sérülést okoznak egy szomszédos ügynöknek. Ezen valószínűségeket, valamint a kórházban, illetve a börtönben töltött időt a későbbiek folyamán definiáljuk. A folyamatot az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. Mozgás és viselkedés

III-E. Az ügynök paraméterei

A korábban említett indokok miatt a modell egyetlen ügynöktípust használ, amely tulajdonképpen

pen egy átlagos ember viselkedésével írható le. Ezt az ügynököket matematikai értelemben különböző konstans és változó értékek definiálják, melyek meghatározzák, hogy éppen a maffia tagja, esetleg a rendőrség tagja, vagy pedig egy ilyen szempontból inaktív, semleges tagja a társadalomnak. Az ügynököket a következő nyolc paraméter írja le:

- 1) Elégedettség (*Satisfaction*), amely megadja, hogy mennyire boldog az adott illető. Rendkívül fontos kimeneti paraméter, hiszen a cél ennek a fenntartása, növelése. Továbbá azért is fontos, mert egy elégedett személy kisebb valószínűséggel vesz részt a konfliktusban, hiszen túl sok a veszteni valója;
- 2) Jólét (*Wealth*), amely egy személy esetén konstansnak tekinthető és éppen ezért független a konfliktus alakulásától, de értéke személyről-személyre változó. Ez tulajdonképpen az ügynökök elégedettségének inicializálására szolgál, értéke 0 és 1 között alakulhat, utóbbi igen magas jólétet reprezentál;
- 3) Támogatás (*Support*), amely megadja, hogy az ügynök semleges-e, vagy rendelkezik-e szimpátiával valamely konfliktusban álló csoport irányába. Kezdeti értéke normális eloszlás alapján kerül beállításra, ami az időlépésekkel folyamatosan változik az ügynök egyéb paramétereinek, valamint a szomszédjainak támogatás-értékének függvényében. Fontos, hogy egyetlen ilyen támogatás-értéket definiálunk, amely 0 és 1 közötti értéket vehet fel. A rendőrséggel és a maffiával kapcsolatos szimpátia küszöb-értékét ezen a skálán definiáljuk. Például: ha ez az érték 0,75 felett van (RendőrségKüszöb), akkor az ügynök rendőrként viselkedik, ha pedig 0,25 alatt van (MaffiaKüszöb), akkor pedig maffiatagként. A kettő között semleges marad;
- 4) Bátorság (*Courage*), ami megadja, hogy a támogatás-érték mennyire függ az ügynököt körülvevő szomszédok paramétereitől. Világos, hogy egy bátrabb ügynök kevésbé befolyásolható, míg egy kevésbé bátor könnyen sodródik az árral és áll be arra az oldalra, ahol az őt körülvevő ügynökök többsége áll;
- 5) Befolyásolás (*Influence*), amely megadja, hogy egy ügynök mennyire képes befolyásolni a környezetét. Értéke ügynökről-ügynökre változó, de nem függvénye az időnek;
- 6) Kockázatvállalási hajlandóság a maffiával vagy a rendőrséggel szemben (*Willingness to assume a risk against police or Mafia*),

amely megadja, hogy az ügynök mekkora valószínűséggel hajt végre akciót valamely konfliktusban álló csoport ellen;

- 7) Elhelyezkedés (*Location*), amely egyrészt megadja, hogy az ügynök éppen hol tartózkodik, ezáltal azt is, hogy kik a szomszédai, valamint
- 8) a modellnek tárolnia kell az egyes ügynökök letartóztatási/sérülési valószínűségét is, az éppen aktuálisat megelőző időlépésből is.

Az itt felsorolt paraméterek mindegyike 0 és 1 között vehet fel értéket. Azon paraméterek, melyek konstans értékűek, normál eloszlásúak 0,5 várható érték és 0,12 szórás mellett.

III-F. A terület paraméterei

Tekintettel arra, hogy az ügynökök viselkedését jelentősen befolyásolja a környezete, a modell konstansokat és változókat rendel a világmátrix egyes elemeihez is. Világos, hogy minden ilyen elemnek van x és y koordinátája, amely konstans. Világos, hogy hozzá kell rendelni az elemekhez az elem szempontjából látható, elérhető, a korábban definiált módon szomszédosnak számító elemek számát is. Ez a már említett okok miatt konstans. Minden egyes ilyen elemhez rendelünk további két konstans: az egyik a börtönidőt jelenti. Ha értéke n , akkor n időlépést kell a börtönben tölteni az adott elemnél álló ügynöknek. A másik konstans a kórházidő, az előzőhöz hasonló módon értelmezhető.

Az eddig bevezetett paraméterekből származtatható egy érték, amely megadja, hogy az adott területen mekkora befolyással rendelkezik a maffia és a rendőrség. Ez nem más, mint az adott mezővel szomszédos mezőkön tartózkodó aktív maffia- és rendőrség-tagok *Influence*-értékeinek összege. Ezen kívül a mezőkhöz rendeljük a megsérülési és a letartóztatási valószínűségeket is, melyek értéke az éppen aktuálisan ott tartózkodó ügynök személyes paramétereitől függnek. Végül pedig hozzá kell rendelni annak az ügynöknek az azonosítóját is, aki éppen ott tartózkodik.

A felsorolt paraméterek közül a börtönidő és a kórházidő pozitív egész számok, a többi pedig 0 és 1 közötti valós szám.

III-G. A paraméterek változása, időfüggése

Jelölje X_k az X paramétert a k -adik időlépésben. A letartóztatási valószínűség (PA) összefüggése:

$$PA_{k+1} = (1 - TS_k) \cdot \left(1 - e^{-\frac{IP_{k+1}}{IM_{k+1}}} \right), \quad (1)$$

ahol TS a teljes támogatás, IP a rendőrség befolyását, IM pedig a maffia befolyását jelöli. Világos,

hogy az érték a rendőrség támogatásának növekedésével csökken, valamint abban az esetben is csökken, ha a környéken jelentős a maffia reprezentációja, hiszen ebben az esetben a rendőr számára kockázatos lehet az intézkedés végrehajtása.

A sérülési valószínűség (PI):

$$PI_{k+1} = TS_k \cdot \left(1 - e^{-\frac{IM_{k+1}}{TP_{k+1}}} \right), \quad (2)$$

így – az előzővel analóg módon – az érték csökken a maffia támogatásával, illetőleg abban az esetben is, ha jelentős a rendőri jelenlét a környéken, hiszen ebben az esetben a maffiatagok vállalnak túl nagy kockázatot ezzel az akcióval.

Az elégedettség (S) az

$$S_{k+1} = S_k - \left(e^{-\frac{50}{JT}} \cdot (PA_k - PA_{k-1}) \cdot \right. \\ \left. \cdot (1 - TS_k) + e^{-\frac{50}{ST}} \cdot (PI_k - PI_{k-1}) \cdot TS_k \right) \quad (3)$$

alakban írható fel, tehát az új elégedettség ekvivalens lesz a régi elégedettséggel, mínusz egy olyan taggal, amely súlyozottan tartalmazza a sérülési és a letartóztatási valószínűség előjeles megváltozását az előző időlépéshez képest. A súlyozás úgy történik meg, hogy a modell figyelembe vegye az adott ügynök támogatását (preferenciáját), valamint azt, hogy az ügynököt érte már sérülés, esetleg letartóztatási eljárás. A súlyozás azért fontos, hogy a modell figyelembe vegye, hogy a lojálisabb egyének képesek felvállalni a szenvedést is saját ügyek és célok elérésének.

A rendőrséggel és a maffiával szembeni kockázatvállalás (RP és RM) összefüggései:

$$RP_{k+1} = \frac{(1 - TS_k) \cdot C}{S_k \cdot PA \cdot JT}, \quad (4)$$

$$RM_{k+1} = \frac{TS_k \cdot C}{S_k \cdot PI \cdot SI}, \quad (5)$$

ahol C a bátorságot, JT a börtönidőt, SI pedig a kórházidőt jelöli. Világos, hogy mindkét érték egyenesen arányos a bátorsággal és fordítottan arányos az elégedettséggel, hiszen egy elégedett személynek nincs akkora oka kockázatot vállalni egyik fél oldalán sem a konfliktusban. Az is világos, hogyha növekszik a börtönidő (kórházidő), akkor csökkenni fog a rendőrséggel (maffiával) szembeni kockázatvállalás, tehát itt is fordított arányosság van. Ugyanez igaz a letartóztatási (sérülési) valószínűségekre is. A támogatás (TS) a

$$TS_{k+1} = TS_k - e^{-\frac{1}{2}(1-TS_k)} \cdot RP_{k+1} + \\ + e^{-\frac{1}{2}TS_k} \cdot RM_{k+1}, \quad (6)$$

tehát az előző időlépés támogatás-értékéből le kell vonni egy, a rendőrséggel szembeni kockázatvállalás

értékétől függő tagot, valamint hozzá kell adni egy, a maffiával szembeni kockázatvállalás értékétől függőt. A kifejezésben mindkét tag csökkentve van annak érdekében, hogy beállhasson egyfajta stabilitás: TS minél szélsőségesebb értéket vesz fel, annál lassabban változik ezen szélsőséges érték irányába. (Megj.: Ez az összefüggés az eredeti anyagban hibásan szerepel.)

IV. A MODELL KIMENETI ÉS BEMENETI PARAMÉTEREI

A modell kimenetét célszerű úgy megválasztani, hogy az informatív legyen a vizsgált rendszer viszonylatában, valamint segítsen választ adni azokra a kérdésekre, amelyeket a modell implementálása előtt feltettünk. Ezen kimeneti paraméterek elsősorban az ügynökök személyes paraméterei, illetve azokból származtatott értékek, melyek információt szolgáltatnak például a társadalom általános állapotáról, elégedettségéről. A modell segítségével három típusú kimenet vizsgálható:

- A társadalom átlagos elégedettsége: A rendőrség legfőbb célja nemcsak a társadalom megvédése, de az is, hogy ezt a mindennapi életük túlzott megzavarásával tegyék meg. Éppen ezért ez az adat fontos kimeneti információnak számít;
- A maffiával és a rendőrséggel szembeni átlagos kockázatvállalás: Ezen paraméterek összefüggésben vannak az ügynökök preferenciáival, amely a társadalomban uralkodó általános preferenciákról ad információt;
- A társadalom átlagos támogatása (TS átlagértéke): Ez fontos kiegészítő információ az aktív rendőrök és maffiatagok számához, mert megeshet, hogy sok ember szimpatizál egyik vagy másik csoporttal, de még valamilyen okból kifolyólag a státuszuk nem fordult át aktívba. Ezen emberek nem jelennek meg az aktív emberek között, de világos, hogy a preferenciájuk befolyással van a társadalom átlagos támogatására.

A modellben megvalósított vizsgálatok jelenleg a társadalom általános elégedettségére helyezik a hangsúlyt.

A bemeneti paraméterek megválasztása során arra törekedtek a hallgatók, hogy azok változtatása érdemi befolyással legyen a fontos kimeneti értékekre. Ezen paraméterek:

- Börtönidő: Világos, hogy a börtönidő növekedésével csökken a kockázatvállalás a rendőrséggel szemben;

- Kórházidő: Hasonló indok miatt, mint a börtönidő, de ebben az esetben a maffiával szembeni kockázatvállalás csökken;
- Népsűrűség: Alacsony népsűrűség mellett kisebb az esélye annak, hogy ügynök ügynökökkel találkozik, ennek következménye, hogy a kimeneti paraméterek kisebb mértékben, szélsőséges esetben pedig egyáltalán nem változnak.
- Jólét (kezdeti elégedettség): A fontosságát már korábban megindokoltuk, érthető, hogy egy elégedett ember kisebb valószínűséggel fog motivációt érezni, hogy beavatkozzon a konfliktusba. A hallgatók ezt, mint input paraméter, már nem implementálták.

V. A MODELL MEGVALÓSÍTÁSÁNAK MÓDJA

A hallgatók a modellt Matlab-környezetben implementálták. Az ügynökök és a szimulációhoz használt világ objektumok – Matlab révén vektorok, mátrixok és egyéb, előre specifikált programozási struktúrák –, melyek a korrában tárgyalt paraméterekkel rendelkeznek. A program az ügynököket egyedi számaik segítségével különbözteti meg. Ezen objektumokat többféle függvény módosíthatja, manipulálhatja. Mivel a megvalósítás során úgynevezett *handle class*-típusú objektumként hozták létre a hallgatók őket, ezért garantálva van, hogy egy függvényhívás esetén a Matlab *call by reference* típusú értékátadása során a függvény nem egy másolatot kap az eredeti objektumból, hanem magát az eredeti objektumot (persze tudjuk, hogy annak csak a címét) kapja meg, azon végez módosításokat, így a módosítások a függvény lefutása után megmaradnak. A nullás számú ügynök úgynevezett üres ügynöknek tekinthető: ha egy helyet ilyen számú ügynök foglal el, az azt jelenti, hogy az a hely szabad. (Tulajdonképpen nincsen ott senki.)

V-A. Ügynök-függvények

Az *InitAgent* nevű függvény inicializálja az ügynököket, beállítja azok konstansait, változóinak kezdeti értékeit. A *newSat* függvény frissíti az ügynök elégedettségi értékét az aktuális időlépésben kialakult helyzet, és a korábban már ismertetett matematikai összefüggés alapján. A *newRisk* függvény frissíti az ügynök maffiával és rendőrséggel szembeni kockázatvállalásának értékét a bemutatott összefüggések segítségével. A *newSup* függvény ugyanezt hajtja végre, csak a támogatáson.

A *toPrison* az ügynök börtönbe küldéséért felelős, tehát a függvény eltávolítja az ügynököt a világról és elrakja azt egy szeparált tömbbe. A börtönbüntetésnek köszönhetően az ügynök elégedettsége jelentősen – a börtönidő függvényében – csökken,

az alkalmazott összefüggés: $Sk + 1 = S_k \cdot e^{-\frac{JT}{10}}$. Miután a függvény ezt az értéket kiszámolta és beállította, az ügynök elégedettsége a börtönidő alatt nem változik, majd a kiengedésekor ismét növekszik, de nem tér vissza a büntetés előtti értékre.

A *toHospital* függvény a *toPrison* függvény tükörképe, csak ebben az esetben a kórházba küldi az ügynököt. Az elégedettségre alkalmazott formula megegyező a korábban bemutatottal, de a kitevőben *JT* helyett értelemszerűen *SI* szerepel. A *moveTo* az ügynököt egy előre meghatározott mezőre mozgatja a világon belül, ehhez pedig megváltoztatja az ügynök és a vonatkozó mezők változó paramétereit is. A *neighbours* függvény a *getNeighbours* nevű függvény segítségével összegyűjti az ügynök szomszédos mezőit, a *move* függvény pedig egy szabad helyre mozgatja az ügynököt saját környezetében a *movePerson* nevű külső függvény felhasználásával.

V-B. Hely-függvények

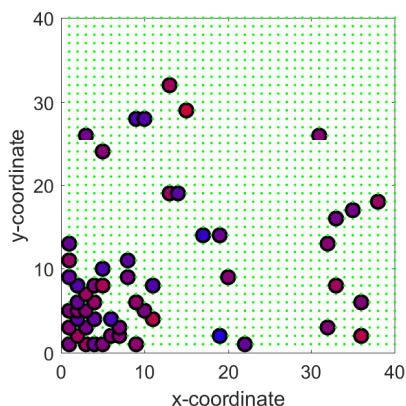
Az *initLocation* függvény inicializálja a helyeket, beállítja azok konstansait, változóinak kezdeti értékeit. A *probabilities* függvény frissíti a letartóztatási és a sérülési valószínűségét az adott mezőn álló ügynöknek. A *newInfluences* frissíti a maffia és a rendőrség befolyását az adott mező esetére. A *newPenalties* függvény alkalmas a börtönidő és a kórházidő módosítására az idő függvényében. Bár megvalósításra került, praktikus okok miatt ezt a függvényt a kód nem használja. A *neighbours* kinyeri az aktuális mező szomszédos mezőinek értékét a *getNeighbours* nevű külső függvény segítségével.

V-C. Általános függvények

A *randomvalue* függvény egy *n*-elemű vektort ad vissza, amelyet normál eloszlású véletlenszámokkal tölt fel 0,5 várható érték és 0,12 szórás mellett. A *findAgents* függvény végigpásztázza a teljes világot és visszaad egy tömböt azon elemekkel, ahol állnak ügynökök, valamint megadja az ügynökök számát is. A *getNeighbours* 1-es bemeneti paraméter mellett visszatér egy tömböt azon szomszédos cellákról, melyek nem üresek. Ha a bemeneti paramétere 0, az üres szomszédos cellákat adja vissza.

A *movePerson* függvény a definiált mozgási szabályoknak megfelelően képes egy ügynök odébbmozgatására. Ezen kívül ellenőrzi, hogy a mozgatott ügynök a rendőrség vagy a maffia tagja-e, és megvizsgálja, hogy képes-e bántani vagy letartóztatni szomszédos ügynököket. Amennyiben igen, úgy a folyamat végrehajtódik, melynek eredményeként a megtámadott/letartóztatott ügynök kórház-

ba/börtönbe kerül. Az `initAll` függvény inicializálja a világot és a rajta található ügynököket. Mivel az ügynökök és a világ paraméterei egymástól függenek, az inicializálás sorrendje fontos. A függvény egyszer, a szimuláció elején kerül meghívásra, elmentésben az `updateAll` függvénnyel, amely gyakorlatilag ugyanígy működik, csak minden időlépés után lefut. A `createWorld` függvény létrehozza a kétdimenziós világot és véletlenszerű módon feltölti azt egy bizonyos számú ügynökkel. Ezek után lefuttatja az `initAll` függvényt. A `displayWorld` a világ grafikus megjelenítésére alkalmazható. Az ügynököket a térképen pontok jelzik, színük az aktuális preferenciájuk szerint változik piros (maffia-szimpatizáns) és kék (rendőr-szimpatizáns) között.



2. ábra. A `displayWorld` függvény kimenete

A `moveAll` függvény végigpásztázza a teljes világot és mozgatja az ügynököket a `movePerson` függvény segítségével. A `reentry` függvény szolgál az ügynökök börtönből és kórházból a világra történő visszahelyezésére. A `checkReentry` függvény minden időlépésben végigfut a börtönben és kórházban lévő ügynökökön és frissíti a hátramaradt kórház- és börtönidőket. Amennyiben azok nullára csökkennek, a függvény a `reentry` segítségével gondoskodik az ügynökök visszahelyezéséről, valamint visszaállítja azok elégedettségét is. A `getStatistics` a kimeneti paraméterek összegyűjtésére szolgál, minden időlépésben lefut. Ezek ábrázolására szolgál a `plotStatistics`. Az `analyse` nevű függvények a kimeneti paraméterek változását vizsgálják a világméret és az ügynökök száma, a börtön- és kórházidő, valamint a szimpátia-küszöbszintek változtatásával. A `copy` függvény mátrixok `.mat`-fájlba történő mentésére, másolására használható. Ez azért szükséges, mert az alkalmazott változótípusokról csak így készíthető úgynevezett *deep copy*-másolat.

VI. EREDMÉNYEK

A modell segítségével végrehajtott vizsgálatok három csoportba sorolhatók. A hallgatók a vizsgálatok során bizonyos bemeneti paramétereket változtattak, míg a többit konstansnak tekintették. A rendelkezésre álló három vizsgálati csoport:

- Vizsgálat változó világméret és populáció mellett;
- Vizsgálat változó börtön- és kórházidő mellett;
- Vizsgálat változó támogatási küszöbszintek mellett.

A szimulációt a `mainAllSimulation` script segítségével lehet lefuttatni, amely mind a három vizsgálati típust tartalmazza. Ez a script teljesen analóg a szintén rendelkezésre álló `main` scripttel, egyetlen különbség, hogy amíg az utóbbi lefuttatásával egyből vizsgálható formában állnak rendelkezésre a kimeneti adatok, addig az előbbi csak előállítja azokat, de további vizsgálatokat nem végez rajtuk.

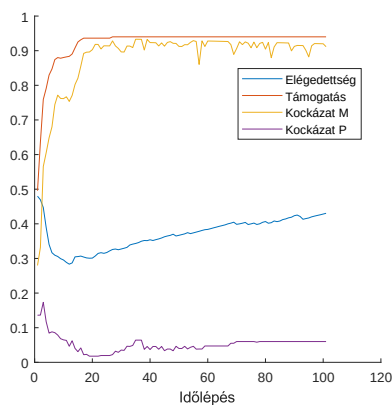
A rendelkezésre álló kódok alapján kétféle típusú szimulációt lehet végezni: az egyik esetben megvizsgálható, hogy konstans bemeneti paraméterek esetén hogyan alakulnak a kimeneti értékek (például a társadalom átlagos elégedettsége), valamint lehetőség van olyan vizsgálatok végzésére, ahol két bemeneti paraméter változóként viselkedik, így azt módosítva vizsgálhatjuk a kimeneti paraméterek változását.

Az alapértelmezett bemeneti paraméterek (amennyiben azok nem viselkednek változóként):

Név	Megj.	Érték
<code>n_lifetime</code>	Időlépések száma	100
<code>n_worldHeight</code>	Világ magassága	10
<code>n_worldWidth</code>	Világ szélessége	10
<code>n_agents</code>	Ügynökök száma	50
<code>n_vision</code>	Láthatóság	1
<code>n_jailtime</code>	Börtönidő	5
<code>n_injury</code>	Kórházidő	5
<code>n_policeThreshold</code>	Rendőr-küszöb	0,75
<code>n_mafiaThreshold</code>	Maffiaküszöb	0,25

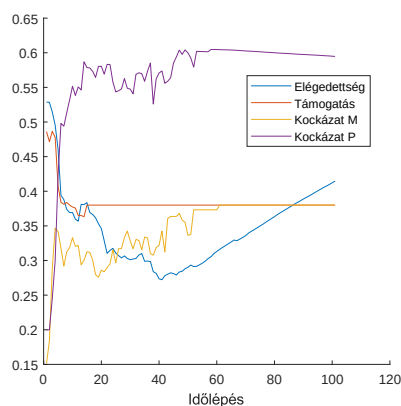
A szimulációs eredmények azt mutatták, hogy azonos börtön- és kórházidő mellett a társadalom átlagos elégedettsége az időlépések függvényében meredeken csökken. Ennek egy lehetséges oka, hogy a két szembenálló fél közül egyik sem mutatkozik erősebbnek a másiknál, így egyik csoport sem áll nyerésre. Egyenlő erősségű csoportok állnak szemben egymással, ezért egyformán növekszik a le tartóztatott és a megsérült emberek száma, így az elégedettség csökken.

Amennyiben a konfliktusban álló csoportok közül valamelyiket (a rendőrséget vagy a maffiát) erősebbé tesszük, a helyzet radikálisan megváltozik. Az erősebb rendőrség a börtönidő, míg az erősebb maffia a kórházidő növelésével szimulálható. A 3. ábra az erősebb rendőrség esetét mutatja. Jól látható, hogy a kezdeti egyensúly miatt csökkenő elégedettség a rendőrség megerősödésével javulásnak indul.



3. ábra. Eredmények ($n_{\text{jailtime}} = 6$, $n_{\text{injury}} = 5$)

Hasonló kimeneti eredményeket kapunk akkor, ha erősebb maffiát szimulálunk a kórházidő növelésével. Ezt mutatja a 4. ábra. A társadalom általános elégedettsége az előző esethez hasonlóan alakul. Az elégedettség az egyensúlyból fakadó kezdeti csökkenés után a maffia felülkerekedésével számottevően javul.

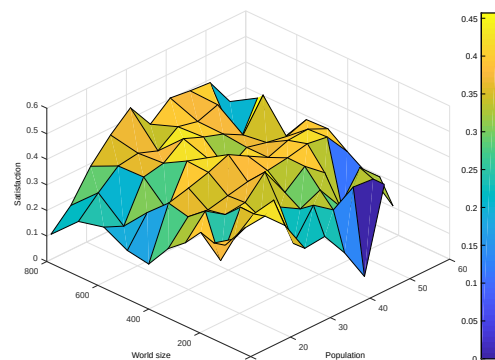


4. ábra. Eredmények ($n_{\text{jailtime}} = 5$, $n_{\text{injury}} = 7$)

Az eredmények tehát azt mutatják, hogy ha a két szembenálló fél azonos erejű, akkor a társadalom átlagos elégedettsége alacsony lesz. Amennyiben viszont valamelyik csoport felülkerekedik a másikon,

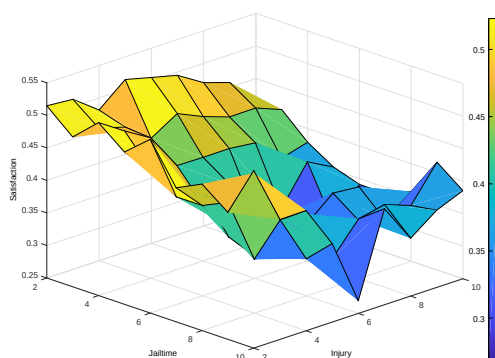
úgy az elégedettség javul, átlagosan magasabbnak mondható. Ez természetesen analóg a világban zajló jelenségekkel: a társadalom számára mindegy, hogy a jó vagy a rossz oldal kerekedik felül, a lényeg, hogy legyen egy nagy csoport, amely hatalommal rendelkezik, és ezzel a hatalmával stabilitást, kiszámíthatóságot biztosít a lakosságnak.

Az 5. ábra azt mutatja, hogy miként viselkedik a modell különböző populáció- és világméretek esetén. A szimuláció azt mutatja, hogy a nagyobb populá-



5. ábra. A változó világméret és populáció hatása

ciósűrűség csökkenti a társadalom általános elégedettségét. Ez abból fakad, hogy magasabb populációsűrűség esetén nő annak a valószínűsége, hogy az ügynökök szomszédos celláiban tartózkodik valaki, aki növeli a sérülés és a letartóztatás valószínűségét.

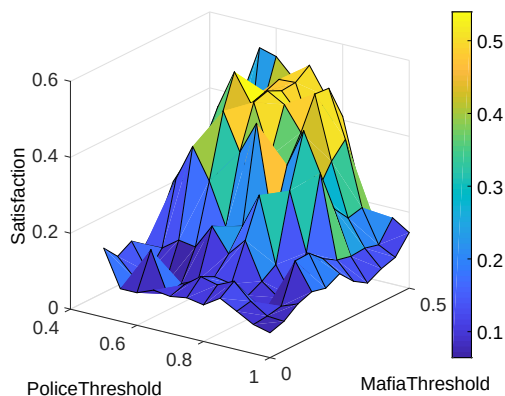


6. ábra. A változó kórház- és börtönidő hatása

A legmagasabb elégedettséget tehát alacsony populációsűrűség mellett lehet elérni. Ebben az esetben az ügynökök kisebb valószínűséggel rendelkeznek olyan szomszédokkal, amelyekkel interakcióba kerülhetnek.

A 6. ábrán a modell viselkedése látható különböző börtön- és kórházidők esetén. A grafikon alátámasztja a korábban levont következtetésünket, amely szerint az átlagos elégedettség egy erősebb csoport esetén magasabb, mint kiegyensúlyozott viszonyok esetén, amikor a börtön- és a kórházidő megegyezik.

A 7. ábrán a maffiaküszöb és a rendőrségküszöb változásának hatása látható az általános elégedettségre. Világos, hogy mindkét paraméter 0 és 1 között ve-



7. ábra. A változó rendőr- és maffiaküszöb hatása

het fel értéket. A szimuláció célja, hogy megmutassa, milyen hatással van a modell kimenetére a rendőrség és a maffia erejének különbsége. Ha a maffiaküszöb értéke nulla, akkor a világon nem helyezkedik el aktív maffiatag. Amennyiben ez az érték 0,5, úgy a maffiatagok és a rendőrök száma megközelítőleg megegyezik. Analóg módon: ha rendőrküszöb értéke 1, akkor nincs aktív rendőr a világon. Amennyiben az érték 0,5, úgy az ügynökök megközelítőleg fele dolgozik a rendőrségnek.

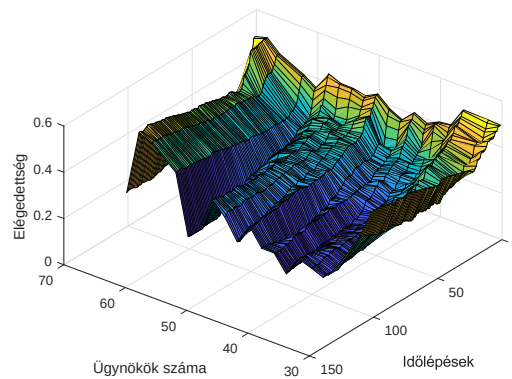
A szimuláció ebben az esetben is azt mutatta, hogy a legalacsonyabb elégedettség a kiegyenlített konfliktusos erőviszonyok esetén adódik.

VII. A POPULÁCIÓSŰRŰSÉG HATÁSA AZ ELÉGEDETTSÉGRE

Az eredeti projekt készítői ugyan levonnak általános következtetéseket a populációsűrűség elégedettségre gyakorolt hatásáról, de nem kapunk képet arról, hogy adott világméret mellett miként befolyásolja az elégedettség alakulását a populációnövekedés.

Munkánk során a rendelkezésre álló modell segítségével megvizsáltuk az elégedettség függését az időtől és a populációtól, azaz a világon elhelyezkedő ügynökök számától. A vizsgálatot egy 10×10 -es világmátrixon végeztük el. Világos, hogy erre maximálisan 100 darab ügynököt lehet elhelyezni.

A vizsgálat során minden bemeneti paramétert a korábban definiált konstans értéken tartottuk, kivéve az ügynökök számát, amelyet 30 és 70 között 1-es lépésközzel változtattunk. Az eredmény a 8. ábrán látható.



8. ábra. A populációsűrűség változásának hatása

VIII. KONKLÚZIÓ

A projektmunka célja, hogy vizsgálja két konfliktusos, egymással szembenálló csoport küzdelmének hatását a társadalom általános elégedettségére. A szimulációs eredmények azt mutatják, hogy a legrosszabb elégedettséget kiegyensúlyozott erőviszonyok esetén lehet elérni. Amennyiben vagy a rendőrség, vagy a maffia olyan erővel rendelkezik, hogy teljes kontrollt tud gyakorolni a társadalom felett, az elégedettség javul.

További következtetés, hogy a társadalom minden esetben az erősebb csoportot fogja támogatni, ettől remélve sorsának javulását.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Abdelsalam, Elfatih. *The Arab spring: Its origins, evolution and consequences... four years on*. Intellectual Discourse vol. 23, 2015.
- [2] C. M. Macal, M. J. North. *Agent-based modeling and simulation*. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2009.
- [3] <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (utolsó látogatás: 2018. május 6.)
- [4] J. M. Epstein. *Modeling civil violence: An agent-based computational approach*. PNAS vol. 99, suppl. 3, 2002.
- [5] Bronstein I. N., Szemengyaljev K.A. *Matematikai kézikönyv*. TypoTeXkiadó, Budapest, 2009.