

Vírus terjedésének tanulmányozása szimulált robotrajokkal

Study of a virus' spread using simulated robotic swarms

PATKA Zsolt-András, dr. SZÁNTÓ Zoltán

Sapientia EMTE, Műszaki és Humántudományok kar, Marosvásárhely
patka.zsolt-andras@student.ms.sapientia.ro, zoltan.szanto@ms.sapientia.ro

Abstract

The spreading of a virus can be viewed as a swarm intelligence problem. From local interactions: agents infecting each other, a global behavior emerges: the spreading of the virus. In this paper we create an agent-based model of a virus' spread. We propose a method that uses simulated robotic swarms for the modelling of a virus' spread.

The proposed method was studied through three different experiments. A baseline experiment in which no measures are taken or imposed. The second experiment contains the isolation safety precaution. The third experiment introduces social distancing alongside the isolation safety precaution.

Each experiment starts with a given number of infected agents. The probability of transmitting the infection is also defined. Furthermore, we also include the willingness of the agents to comply with the imposed regulations.

Keywords: swarm robotics, swarm intelligence, epidemiology, agent-based simulation

Kivonat

Egy vírus terjedésének modellezése is felfogható, mint rajintelligenciás probléma. Az egyének közti lokális interakciókból: egymással találkozás, egymás megfertőzése; Kialakul egy globális viselkedés: A vírus terjedése. Ebben a cikkben bemutatunk egy ágens-alapú modellt egy vírusnak a szimulációjára. Az általunk javasolt módszer szimulált robotrajokat alkalmaz egy vírus terjedésének modellezésére.

A módszer három fajta kísérleten keresztül volt tanulmányozva. Az első kísérletnél nem voltak alkalmazva óvintézkedések, a második kísérletnél be volt vezetve az izolációs óvintézkedés, a harmadiknál az izoláció mellett a közösségi távolságtartás is be volt vezetve.

Minden kísérlet egy előre meghatározott számú fertőző ágenssel kezdődik. A vírus átadásának esélye előre meg van határozva. Ezek mellett, a harmadik kísérlet esetén, egy másik paraméter definiálja, hogy a populáció hány százaléka tartja be a megkötéseket.

Kulcsszavak: rajrobotika, rajintelligencia, epidemiológia, ágens-alapú szimuláció

1. Bevezető

A megfelelő szimulációs modellek felállításával lehetséges egy járvány terjedésének is a hozzávetőleges szimulációja. Az ilyen szimulációs modellek alapján lehet mérlegelni a kialakult helyzetet és vizsgálni, hogy bizonyos óvintézkedéseknek hozzávetőlegesen milyen hatásai lesznek egy járvány terjedésére. Az ilyen szimulációk eredményeinek fontos szerepe van az illetékes személyek döntéshozatalában, az óvintézkedésekkel kapcsolatosan [1].

A rajintelligencia a mesterséges intelligenciának azon ága, amely számos ágens lokális interakcióiból kiemelkedő globális viselkedést vizsgálja. Egy vírus terjedésének modellezése is felfogható, mint rajintelligenciás probléma. Az egyének közötti lokális interakciókból: egymással találkozás, egymás megfertőzése; Kialakul egy globális viselkedés: a vírus terjedése.

2. Irodalom kutatás

Négy fajta szimulációs modell létezik a vírusok terjedésének szimulációjára: rendszer dinamikai

modell, ágens-alapú modellezés, diszkrét esemény szimulációs modell, hibrid szimulációs modell [1].

A rendszer dinamikai modell egy differenciálegyenlet alapú modell. A legerjedtebb ilyen modell az epidemiológiában a SIR (Susceptible, Infectious, Recovered). A SIR esetében a modell három differenciál egyenletből áll, amelyben két konstans szerepel: a fertőzési ráta és a gyógyulási ráta. A SIR modell esetén az újr fertőzés nincs megengedve, a SIS (Susceptible, Infectious, Susceptible) modell esetén viszont igen [1]. Ezek a modellek alapján lehet olyan döntéseket hozni, amelyek az egész népeséget befolyásolják.

Az ágens-alapú modellezés az ágensek közötti interakciókat modellezi, egy bizonyos populáción belül. Az ágensek közötti lokális interakciókból kiemelkedő globális tendenciát lehet vizsgálni vele. Az ágens-alapú modellek sztochasztikus modellek, így lehetővé teszik, hogy az emberi viselkedés változossága is integrálva legyen a modellbe. Az ágens-alapú modellezésben felhasználnak elnevezéseket, amelyek a rendszer dinamikai modellből erednek. Itt S ágensnek nevezhető az az ágens amelyik még nem kapta el a fertőzést, I ágensnek az amelyik elkapta a fertőzést és fertőző, R ágensnek meg az amelyik kigyógyult a betegségből és már nem fertőző.

A diszkrét esemény szimulációs modellt leggyakrabban a rendszerek időbeli működésének modellezésére használják. Az entitások (emberek, üzenetek, feladatok) több soron és cselekményen keresztül áramlanak. Általánosan arra használhatóak, hogy az erőforrások elérhetőségének a befolyását vizsgálják (orvosok, nővérek) a várakozási időn és a várakozó emberek számán.

A hibrid szimulációs modellek a három modellnek valamilyen fajta kombinációjából állnak. Komplex rendszerek modellezésére használják, ahol a rendszer különböző részeit a legjobb különböző modell típusokkal lehet szimulálni.

Az egyik legáltalánosabb védekezés egy vírus terjedésének megfékezésében a hagyományos óvintézkedések [2]. Fontos az óvintézkedések életbe hozatala, egy járvány terjedésének megfékezése érdekében. Az óvintézkedések hatásosságának vizsgálatában és a helyes döntés meghozatalában segítenek a vírus terjedéséről készített szimulációk [1].

Az izoláció a fertőző beteg emberek elkülönítése az egészséges emberektől, a fertőzés terjedésének megfékezése érdekében. Leggyakrabban kórházak esetén van életbe léptetve. Ehhez tartozik az intézményezett izoláció is.

A közösségi távolságtartás lényege az emberek közötti interakciók csökkentése. Életbeléptetése a gyakran látogatott helyek (iskolák, irodák, piacok) lezárását és a nagyobb összejövetelek lemondását jelenti. Ugyanakkor ide tartozik az emberek közti meghatározott távolság tartása.

3. Rendszer leírás

A rendszer egy homogén szimulált robotrajból áll. Az ágensek ugyanazokkal a képességekkel és vezérlési logikával rendelkeznek.

Az ágensek vezérléséhez a potenciálmező navigációs módszer volt felhasználva. Ez egy bevált módszer a robotrajok vezérléséhez [3]. Az alapötlete, hogy az akadályok taszító erővel hatnak az ágensre és a cél vonzó erővel. Ennek a két erőnek az eredője határozza meg az irányt amerre érdemes haladni.

A potenciálmező navigációs módszer meg tudja határozni az irányt amerre érdemes haladni. Hátánya viszont, hogy nem minden esetben érdemes a meghatározott irányt tartani [4]. Az egyik eset az amikor nem kapunk információt a szenzorokon keresztül a külvilágról, ebben az esetben nem tudunk taszító és vonzó erőket számolni. A másik eset az amikor tudunk erőket számolni, viszont ezt nem akarjuk figyelembe venni. Ahhoz, hogy ezekre az esetekre is az elvárásaink szerint működjön a vezérlő, szükséges ezt kiterjeszteni.

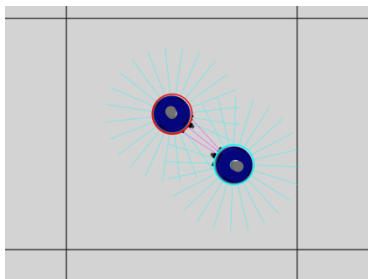
A kiterjesztés állapotok bevezetésével történik. Az állapotok a szenzorértékek alapján vannak meghatározva, ezért szükséges egy szenzor-állapot leképzést végezni az állapotok meghatározása érdekében. Az állapotok meghatározása után el lehet dönteni, hogy milyen cselekvést érdemes elvégezni. Az állapotok a következők: IDLE – amikor az ágens az izolációs területre ért, FOLLOW – amikor az irányvektor előre mutat, DIR_LEFT – amikor az irányvektor bal oldalra mutat, DIR_RIGHT – amikor az irányvektor jobbra mutat.

Azután miután meg van határozva, hogy az ágens az adott időpillanatban milyen állapotban van, el kell dönteni, hogy milyen cselekvést végezzon el. Az ágens minden időpillanatban négy cselekvés közül egyet végezhet el. A cselekvések: STOP – az ágens egy helyben áll, FORWARD – az ágens előre halad, TURN_LEFT – az ágens balra fordul, TURN_RIGHT – az ágens jobbra fordul.

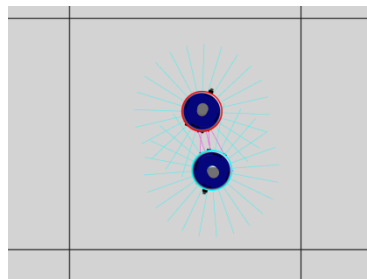
Az ágens az érzékelőinek az értékei alapján határozza meg, hogy aktuálisan milyen állapotban van. Amiután az aktuális állapotot meghatározta, választ egy cselekvést és a választott cselekvés függvényében állítja be a beavatkozóinak az értékeit. Az ágens az alábbi állapot-cselekvés párokat használja: IDLE-FORWARD, FOLLOW-FORWARD, DIR_LEFT-TURN_LEFT, DIR_RIGHT-TURN_RIGHT.

A vírus tulajdonságainak függvényében lehet megfelelően megválasztani azt a modellt, amely a legpontosabban leírja az általa okozott betegség lefolyását. A kísérletek elvégzésére a SIR modell volt alkalmazva.

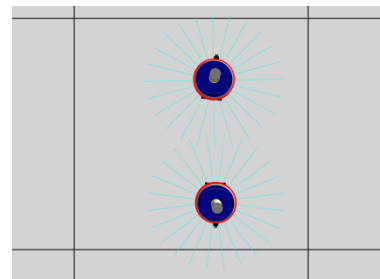
Fertőzést csak az S ágens kaphat el. Fertőzni csak I ágens tud. Egy S ágens csak akkor kaphat el fertőzést, hogyha elég közel kerül egy, vagy több, I ágenshez. A fertőzés minden interakció után megtörténhet. Egy interakció akkor kezdődik amikor egy S ágens közel kerül (lásd 1. ábra) egy, vagy több, I ágenshez, és akkor ér véget, amikor az S ágens már nincs egy I ágenshez se közel (lásd 3. ábra). Az interakció lejártá után egy 0 és 1 közti véletlenszerű szám van generálva, hogyha ez a szám kisebb, mint a fertőzési esély, akkor az S ágens elkapja a fertőzést és így I ágenssé válik. Abban az esetben ha az interakció alatt az S ágens több I ágenssel került kapcsolatba, akkor annyiszor lesz véletlenszerű szám generálás, ahány I ágenssel ez kapcsolatba lépett, így nő az esélye annak, hogy fertőzötté váljon.



1. ábra. Interakció kezdete. S ágens detektálja az I ágens



2. ábra. Köztes állapot



3. ábra. Interakció vége

A vírus szimuláció esetén használt paraméterek más ágens-alapú szimulációkból voltak inspirálva [5] [6]:

- K: a populáció hány százaléka fertőző a szimuláció elején (%). A valóságban ez a paraméter jelenti azt, hogy a fertőzés felfedezésének pillanatában hány esetről tudnak a hatóságok.
- R: átadási ráta (%), mekkora az esélye annak, hogy egy egyén elkapja a vírust egy fertőző egyéntől. Az átadási ráta nő, hogy ha az ágens egyszerre több fertőző ágenssel találkozik.
- T: mennyi időbe telik, hogy egy egyén kigyógyuljon a fertőzésből. A szimulációk során nem veszünk inkubációs periódust figyelembe, amint egy ágens elkapja a fertőzést, fertőzővé is válik.
- C: a populáció hány százaléka tartja be a közösségi távolságtartásra vonatkozó szabályokat. A valóságot modellezve, be van vezetve egy társadalmi ellenállás, melynek értelmében egyesek nem tartják be a szabályokat.

4. Mérési rendszer

A mérések az ARGoS3 szimulátor segítségével voltak végrehajtva. A szimulációban felhasznált ágensek Footbotok. A Footbotnak a kísérletek során felhasznált beavatkozói: kétkerekű hatjómű (helyváltoztatáshoz), LED lámpát villogtató beavatkozó (ágens típusnak a jelzéséhez). A felhasznált érzékelők: fényérzékelő (az izolációs terület egy fényforrás által volt megjelenítve, ennek érzékeléséhez szükséges a fényérzékelő), omnidirekcionális kamera (a LED lámpák érzékeléséhez), közelségérzékelő (akadálykerüléshez).

Egy vírus terjedése három kísérleten keresztül volt tanulmányozva. Az első kísérletnél nem voltak alkalmazva óvintézkedések. A kísérlet alatt az ágensek mozgására nem voltak megszorítások helyezve.

A második kísérletnél be volt vezetve az izolációs óvintézkedés. Ez azt jelenti, hogy egy fertőző ágens a kijelölt területre kell menjen és ott kell maradjon egy meghatározott ideig. Az izoláció fékezi a vírus terjedését, mivel a fertőző ágensnek lehetőségük van kigyógyulni a betegségből, anélkül, hogy

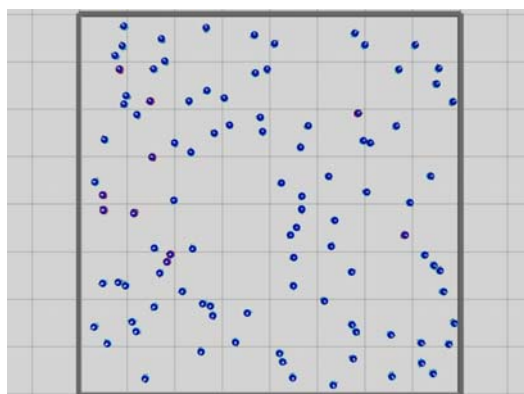
mást megfertőznének.

A harmadik kísérletnél az izoláció mellett a közösségi távolságtartás óvintézkedés is be volt vezetve. Ez azt jelenti, hogy a populáció bizonyos százaléka törekszik arra, hogy minden más ágenssel való interakciója minimális legyen.

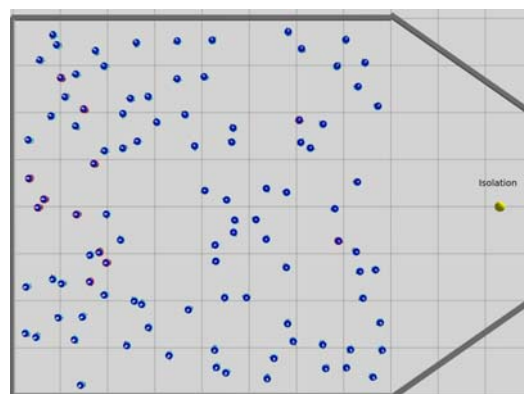
Minden kísérlet egy előre meghatározott számú fertőző ágenssel kezdődik. A vírus átadásának esélye előre meg van határozva. Ezek mellett, a harmadik kísérlet esetén, egy másik paraméter definiálja, hogy a populáció hány százaléka tartja be a megkötéseket.

A kísérletek egy zárt területen belül voltak elvégezve (aréna). Ezen a zárt területen belül voltak elhelyezve az ágensek (ilyen zárt területnek lehet tekinteni a valóságban egy negyedet, várost, országot).

Az aréna az első kísérlet esetén négy falból áll és négyzet alakja van (lásd 4. ábra). A falakat nem tudják elmozdítani az ágensek. A második és harmadik kísérlet esetén a terület ki van bővítve egy izolációs kijelölt területtel is (lásd 5. ábra). A sárga gömb egy fényforrás, ez jelzi az ágensek számára az izolációs területet, ezt követik a fertőző ágensek amikor izolációba vonulnak.



4. ábra. Aréna az első kísérlet esetén

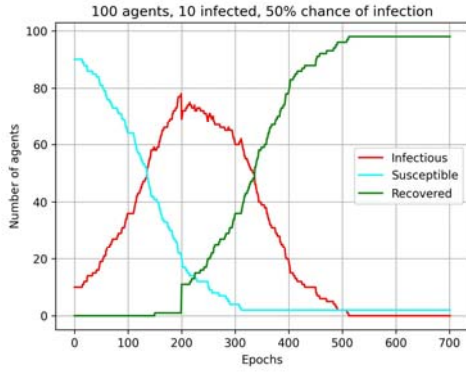


5. ábra. Aréna a második és harmadik kísérlet esetén

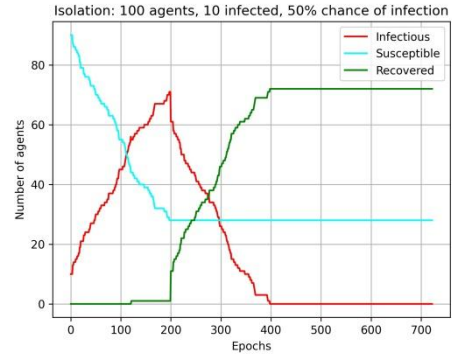
5. Eredmények

Az izoláció bevezetése sikeres volt a vírus terjedésének megfékezésében. Óvintézkedések nélkül, a legrosszabb esetben ($R=50\%$, $K=10\%$) az egész populáción végigment a fertőzés (lásd 6. ábra). Izolációval már javult a helyzet, a legrosszabb esetben a populációnak hozzávetőlegesen 30% nem kapta el a fertőzést (lásd 7. ábra). A közösségi távolságtartás bevezetésével viszont a helyzet még jobban javult. Még akkor is, hogyha a populációnak csak a 20% tartotta be az előírásokat, a vírus lejárta után a populáció 40% maradt érintetlenül (lásd 8. ábra). Hogyha a populációból még többen szót fogadnak az előírásoknak, akkor látványos eredmények érhetőek el, még a legrosszabb esetben is. $C=60\%$ esetén a populációnak hozzávetőlegesen fele érintetlen maradt (lásd 9. ábra).

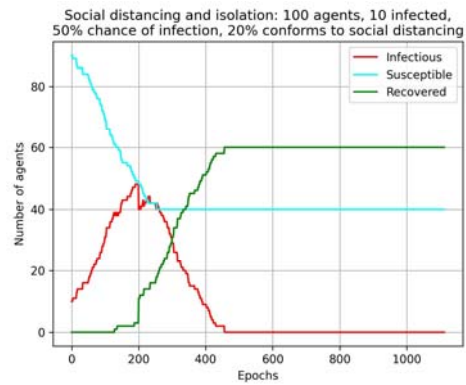
Az R paraméter növelésével a vírus terjedésének sebessége és a megfertőzött ágensek száma jelentősen nő. Az óvintézkedések nélküli kísérletekben, $K=5\%$ esetén az $R=5\%$ fertőzési esély mellett a populációnak több, mint 90%-a érintetlen maradt (lásd 10. ábra). $R=25\%$ esetén viszont majdnem a teljes populáció elkapta a fertőzést (lásd 11. ábra). Az izolációs óvintézkedés bevezetése javít a helyzeten, viszont ott is látszik, hogy jelentős az $R=5\%$ (lásd 12. ábra) és $R=25\%$ -os fertőzési esély (lásd 13. ábra) közötti különbség.



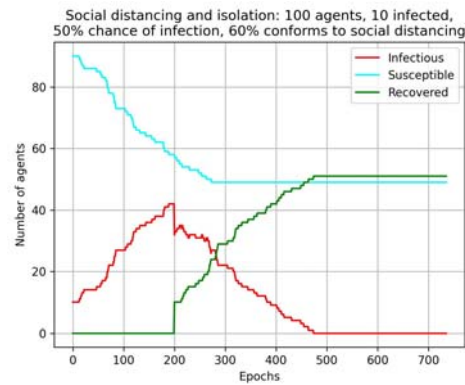
6. ábra. Óvintézkedések nélkül, $K=10\%$, $R=50\%$



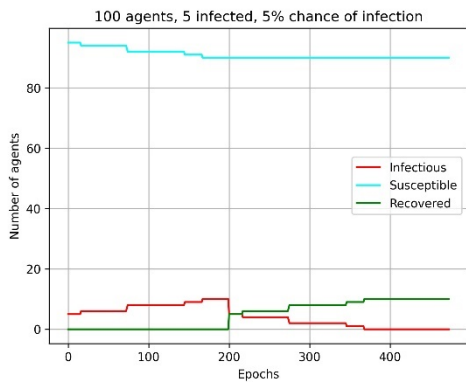
7. ábra. Izolációs óvintézkedés, $K=10\%$, $R=50\%$



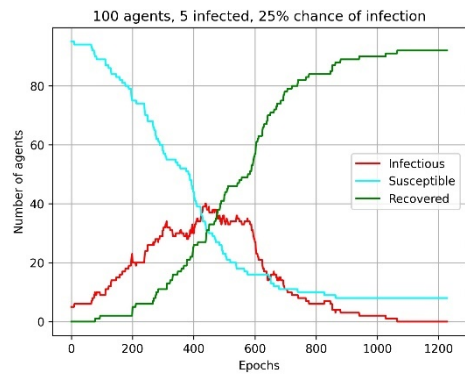
8. ábra. Izoláció és közösségi távolságtartás óvintézkedés, $K=10\%$, $R=50\%$, $C=20\%$



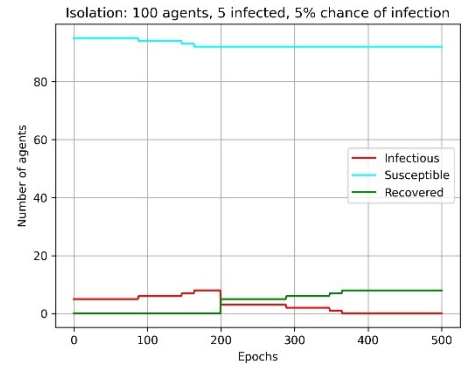
9. ábra. Izoláció és közösségi távolságtartás óvintézkedés, $K=10\%$, $R=50\%$, $C=60\%$



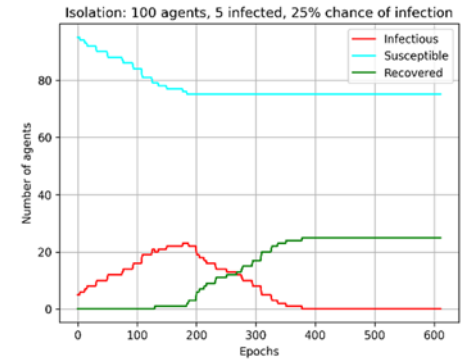
10. ábra. Óvintézkedések nélkül, $K=5\%$, $R=5\%$



11. ábra. Óvintézkedések nélkül, $K=5\%$, $R=25\%$



12. ábra. Izolációs óvintézkedés, $K=5\%$, $R=5\%$



13. ábra. Izolációs óvintézkedés, $K=5\%$, $R=25\%$

6. Következtetés

Az óvintézkedések bevezetése látványos eredményeket hozott, viszont azt is be lehet látni, hogy a legjobban az R paraméter befolyásolja egy vírus terjedését.

Az epidemiológiában az egyik elterjedt modellezési módszer az ágens-alapú modellezés. A legtöbbször az ágens-alapú szimulációs modellek felépítésénél az ágensek egyszerűek, sokszor csak egy egyszerű geometriai alakzattal vannak ábrázolva és nem rendelkeznek különleges tulajdonságokkal. Ennél a modellezési módszernél alkalmazhatóak a szimulált robot rajok is egy vírus terjedésének szimulációjára. Egy homogén robotrajjal jól lehet szimulálni egy homogén populációt. A szimulált robotraj esetén az ágensek komplexebbek és valóságosabb mozgást végeznek. A szimulátor által adott lehetőségeknek köszönhetően, könnyen fel lehet állítani hasonló szimulációkat. A robotok kellően sok érzékelővel és beavatkozókval vannak ellátva, így magát a helyváltoztatást és más ágensek érzékelését könnyen meg lehet oldani. Hátrányaik, hogy nagyobb populáció esetén (1000+ ágens) már nem praktikus ezek használata, a nagy erőforrás igény miatt. Látható volt, hogy egy viszonylag kis populáció (100 ágens) esetén is vizsgálhatók voltak a paraméterek és az óvintézkedések hatásai.

Megjegyzendő, hogy a felállított modellek csak részben reprezentatívak a valósággal szemben. A valóságban még sok olyan tényező van, ami a szimulációban nem volt, mint például: közösségek közötti átjárás, aszimptomatikus esetek (tovább fertőznek, nem lehet ezeket izolációba helyezni, mivel nem mutatnak tüneteket), a kórházak túlterhelése.

Ugyanakkor a valóságban sok olyan tényező is van amit a szimulációban nagyon nehéz modellezni: az ország határnál órákat várakozó több tízezer ember viselkedése, tömeges hazavándorlás.

Irodalomjegyzék

- [1] Christine SM and Fowler, John W and Kotiadis, Kathy and Monks, Thomas and Onggo, Bhakti Stephan and Robertson, Duncan A and Tako, Antuela A Currie, "How simulation modelling can help reduce the impact of COVID-19," *Journal of Simulation*, pp. 1-15, 2020.
- [2] Annelies and Freedman, David O Wilder-Smith, "Isolation, quarantine, social distancing and community containment: pivotal role for old-style public health measures in the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak," *Journal of travel medicine*, vol. 27, 2020.
- [3] Lőrincz and György, Sebestyén and Erdei, Timotei István Szántó Zoltán and Márton, "Investigation of robotic swarms with partial team-goal knowledge," in *2015 IEEE 19th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*, 2015, pp. 243-248.
- [4] Yoram and Borenstein, Johann and others Koren, "Potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation.," , vol. 2, 1991, pp. 1398-1404.
- [5] Kevin Simler, Outbreak, Mar 2020, <https://meltingasphalt.com/interactive/outbreak/>.
- [6] Grant Sanderson, Simulating an epidemic, March 2020, <https://www.3blue1brown.com/videos-blog/simulating-an-epidemic>.