

Koch Máté\*

# Mesterséges intelligencia és szimuláció

I. rész

## BEVEZETÉS

Bár a szimuláció és a mesterséges intelligencia (MI) is több mint fél évszázada jelen van a haditechnikában, a szerepük az utóbbi évtized technológiai áttörései nyomán kezd igazán meghatározóvá válni. Az 1980-as évek végén az amerikai Fejlett Védelmi Kutatási Projektek Ügynöksége (Defense Advanced Research Projects Agency – DARPA) tanulmányt adott ki a neurális hálózatokról és azok alkalmazhatóságáról. E tanulmány előszavában a kutatásért felelős igazgató, prof. Bernard Widrow úgy fogalmaz, hogy bár a terület mindenképpen érdekes, és léteznek már kezdetleges, de bizta-

1. ábra. A Midjourney nevű MI-alapú képgenerátor 5.1-es verziója által generált kép „AI used for military decision making” promptrra [1]



1. táblázat. A mesterséges intelligencia szerepe a mindennapokban (A szerző szerkesztése)

Működési terület	A funkció leírása
Beszédfelismerés	Mobil eszközökbe és asztali számítógépekbe épített intelligens asszisztensek képesek felismerni a beszédet, és azt szöveggé konvertálni.
Nyelvi feldolgozás	A beszédfelismeréssel vagy közvetlen adatbevitellel kapott szöveget az MI képes kontextusfüggően értelmezni, arra válaszolni, más nyelvekre lefordítani.
Képfelismerés	Az arcfelismeréstől a vezető nélküli járművek komplex környezet-érzékelésén át az orvosi diagnosztikáig, rengeteg különféle képfelismerő MI dolgozik a hétköznapi rendszerek mögött.
Banki csalás detektálása	Egy, talán kevésbé ismert terület, hogy a hitelkártya-tranzakciókat a legtöbb pénzintézet már MI-alapú rendszerekkel ellenőrzi, amelyek a korábbi szabályalapú szűréseknél jelentősen magasabb hatékonysággal tudják kimutatni a visszaéléseket.

tó eredmények, a kutatást körülölgő felhajtás és a túlzón optimista, a technológiai problémákat jelentősen alábecslő hangok miatt nehéz a technológia valós hasznosságát megállapítani. Widrow szerint a neurális hálózatoknak bizonyítaniuk kell, hogy komplex, valós feladatokat is meg tudnak oldani a korábbi megoldásokhoz képest jelentősen jobb eredménnyel. [2] Az azóta eltelt idő számos bizonyítékot

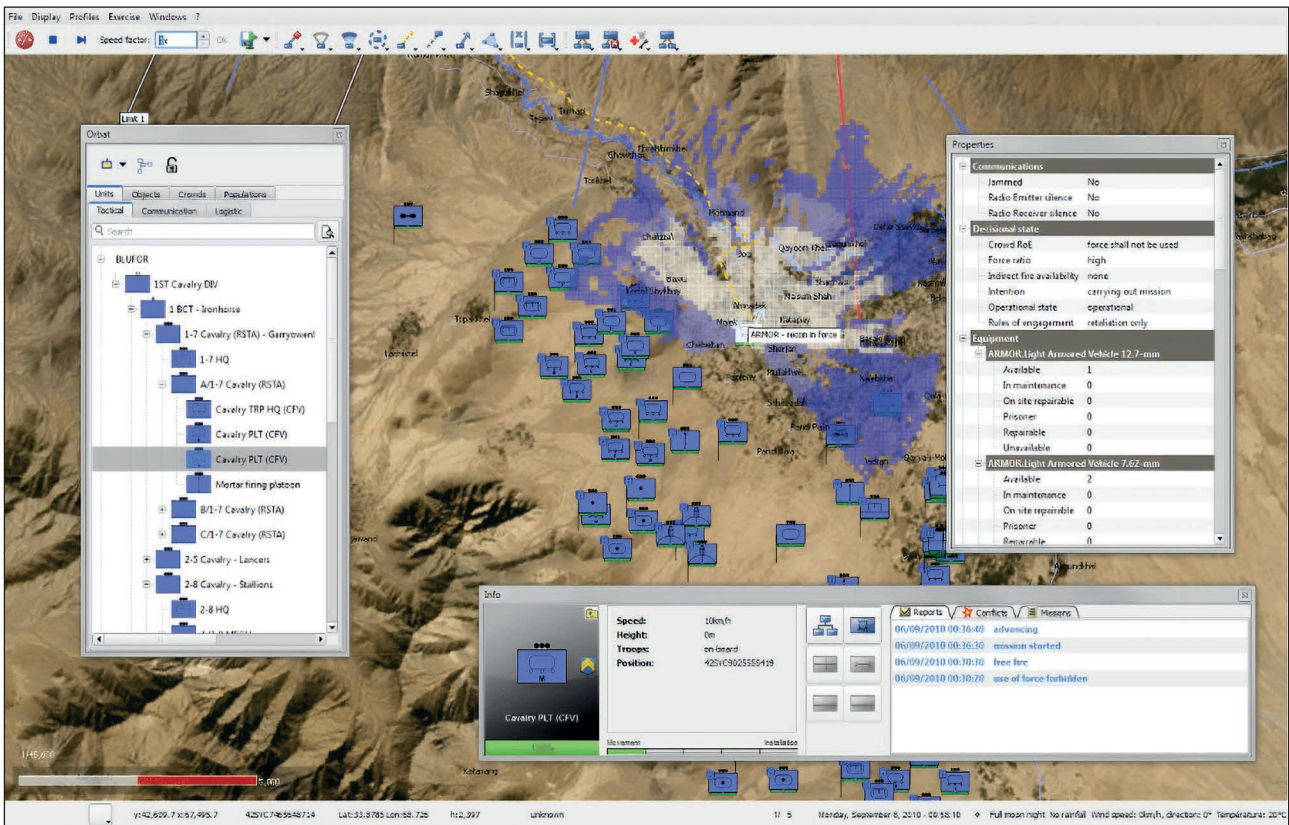
**ÖSSZEFOGLALÁS:** A szimuláció és a mesterséges intelligencia (MI) hatalmas fejlődésen ment keresztül az elmúlt évtizedben. Az eredmények új távlatokat nyitnak a haditechnikai felhasználás területén is. A korábban csak kiképzésre használt szimulációs rendszerek egyre több entitás, egyre komplexebb folyamatok modellezésére képesek. A következő generációs fegyverrendszerek fejlesztése elképzelhetetlen szimulált szintetikus környezetek nélkül, de ez a technológia a döntéstámogatási folyamatokat is megreformálhatja. A szerző tanulmányában a szimuláció és az MI együttes haditechnikai felhasználásának lehetőségeit vizsgálja.

**KULCSSZAVAK:** szimuláció, mesterséges intelligencia, szintetikus környezet, megerősítéses tanulás, ember nélküli rendszerek

**ABSTRACT:** Simulation and artificial intelligence [AI] have undergone a huge development in the past decade opening new horizons for defense and security related applications. Formerly simulation was mainly used in training applications, but with scaling up the number of entities and the fidelity, it can be used to simulate more and more complex scenarios. Next generation weapon systems can not be developed without simulated synthetic environments, and those will also reform operations and decision making. This paper discusses the potential use of AI and simulation in defense applications.

**KEY WORDS:** simulation, artificial intelligence, synthetic environment, reinforcement learning, unmanned systems

\* Innovation and Technology Lead, D&S International, CAE GmbH. ORCID: 0009-0007-5803-4894



2. ábra. A MASA SWORD elnevezésű konstruktív szimulációs szoftver képernyőképe [3]

hozott, az MI egyre összetettebb feladatokat old meg, és a mindennapi élet részévé vált. Az 1. táblázat a teljesség igénye nélkül foglal össze néhány területet, ahol az MI szerepe a mindennapokban meghatározó.

Bár a fenti példák is érdekes haditechnikai felhasználásra adnak lehetőséget (pl. a beszédfelismerés, a nyelvi feldolgozás új távlatokat nyit a hírszerzésben, az MI-alapú képfelismeréssel rendkívül gyorsan analizálhatók a kamerafelvételek), a tanulmány további részében az MI-nek a szimulációval összefüggő néhány más más ágát vizsgáljuk.

### A SZIMULÁCIÓ FEJLŐDÉSE

A haditechnikában alkalmazott leggyakoribb szimulációk két csoportba sorolhatók: a *virtuális* és a *konstruktív szimuláció* körébe. A virtuális szimuláció esetén valós emberek szimulált eszközöket irányítanak, míg a konstruktív szimuláció esetén nemcsak az eszközök, hanem az őket irányító személyek egy része is szimulált. (2., 3. ábra)

A virtuális és a konstruktív szimuláció közötti főbb különbségeket a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat. A virtuális és a konstruktív szimuláció közötti főbb különbségek (A szerző szerkesztése)

	Virtuális szimuláció	Konstruktív szimuláció
Felhasználási cél	Egyes eszközök minél pontosabb szimulációja azzal a céllal, hogy az eszközt használó személyzetet kiképezzék. (Pl.: egy helikopter-szimulátor a pilóta képzéséhez.)	Vezetők képzése egy sokszereplős szcenárió szimulálásával. (Pl.: egy dandár szintű szimuláció parancsnokok kiképzéséhez.)
Erősségek	A szimulált eszköz modellje általában rendkívül precíz.	Sok entitást tud egyszerre szimulálni.
Szimulált entitások maximális száma	1–100	10 000–100 000
Időskála	Valós idejű	Általában a valós idejűnél gyorsabb.
Térbeli felbontás	Nagyon magas felbontás.	Jellemzően kisebb felbontás, pl. 50 m-es raszter.
Időbeli felbontás	60 Hz vagy magasabb.	Általában 1 Hz alatt.







3. ábra. Virtuális szimulátoros kiképzés F-16-os vadászpilóták számára [4]

A virtuális és a konstruktív szimuláció nem csak az eltérő felhasználási célok miatt fejlődött külön, ennek technológiai okai is vannak. A számítási teljesítmény és az adatcseré-folyamatok sebessége erősen limitálja a rendszerek skálázhatóságát. Egy vadászpilóta kiképzésére fejlesztett szimulátorok élethűen kell modellezni a hangsebesség két-háromszorosával haladó repülőeszközöt, amely másodpercenként akár egy kilométert is megtehet. Ennek az az ára, hogy az egyszerre szimulálható entitások száma limitált. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy a modern fegyverrendszerek szenzorai nagyon nagy távolságról, magas felbontással képesek a környezet és a célok felderítésére. Ez azt jelenti, hogy az egyes entitásoknak nem csak arról kell folyamatosan értesülniük, hogy milyen más entitások vannak a közvetlen közelükben, hanem a 10–100 km-rel távolabbiakról is folyamatosan tudniuk kell. Az entitások közötti lehetséges interakciók számának függvényében a szükséges számítási és adattovábbítási kapacitás négyzetesen, vagy akár annál is meredekebben növekedhet. (Például, ha pontosabb szimulációt szeretnénk az elektronikai hadviselésről is, fizikai alapú rádióhullám-szimulációval.)

Egy egyszerűsített példán keresztül ez azt jelenti, hogy ha egy adott, például 16 processzormagos számítógép-konfiguráció 100 entitás szimulációjára képes, akkor 200 entitáshoz 256 magra, 400 entitáshoz pedig már több, mint 65 000 magra lenne szükség.

A konstruktív szimulációk ezt a kihívást egyrészt a szimuláció felbontásának csökkentésével (ahelyett, hogy másodpercenként 100-szor számolnának pozíciót, csak 2-5 másodpercenként számolnak), illetve az alkalmazott modellek egyszerűsítésével oldják meg (a pontos fizikai modellek helyett közelítő modelleket használnak, csak a hatást szimulálják, nem a tényleges jelenséget).

A technológiai limitációk miatt kialakult szeparáció azonban nem azt jelenti, hogy nincs is igény egy olyan rendszerre, amely egyesíteni tudja a nagy felbontású modelleket a sok entitás kezelésének lehetőségével. Az összefüggő harc, a modern, aszimmetrikus, részben akár civil lakosságot is érintő konfliktusok modellezése mind olyan skálázható rendszert kíván, amely egyszerre nagy részletességgel tudja szimulálni minden eddignél több entitás viselkedését.

Az entitások mozgásának, viselkedésének, egymással történő interakciójának szimulálásán kívül a környezet más jellemzőit is modellezik a fent leírt rendszerek. A fizikai környezet digitális mását – amely magában foglalhatja a 3D-s terepadatbázist, a vizeket, az ember és a természet által alkotott tereptárgyakat, a légkört és az időjárás, az infrastruktúrát, mint például az ivóvíz-, az elektromos, az út- vagy a vasúthálózat, az elektromágneses spektrumot, és még sok más tényezőt – nevezhetjük *szintetikus környezetnek*.

### A KÖVETKEZŐ GENERÁCIÓS SZINTETIKUS KÖRNYEZET

Az előzőekben ismertetett két szimulációs paradigma, a virtuális és a konstruktív szimulációk előnyeinek egyesítésével egy olyan új rendszert lehet definiálni, amely jól skálázható, és képes egyszerre nagyszámú entitás nagy pontosságú szimulációjára valós időben, vagy akár gyorsabban.

A korábbi rendszerek felhasználási területe leginkább a kiképzés, a begyakorlás volt, illetve bizonyos konstruktív szimulációkat hadijátékra, doktrínák tesztelésére és fejlesztésére is használtak. A skálázható következő generációs szintetikus környezetek ebben a tekintetben is áttörést hozhatnak. A jelentősen megnövekedett entitásszám, a szimulálható faktorok bővülése és a nagyobb pontosság lehetővé teszi olyan komplex szcenáriók modellezését is, amelyek már döntéstámogatásra is alkalmasak.

A skálázhatóság nem csupán azt jelenti, hogy az entitások száma növekedhet, hanem azt is, hogy az egyes entitások modellje, viselkedése realizisztikusabbá válhat. A haditechnikában alkalmazott szimuláció eleinte kizárólag kinetikus modellekre épült. Például: eltalálja-e a lövedék a helikoptert, van-e elegendő hajtóanyag a harcokocsiban, hogy elérjen a célpontba? A kinetikus rétegre később más fizikai rétegek épültek, például infravörös szenzorok, radarok, és az elektronikai hadviselés egyéb eszközeinek szimulációja. A napjainkban folyó komplex konfliktusokból láthatjuk, hogy a teljes kép megalkotásához jóval többre van szükség. Az arab tavasz megmutatta a közösségi hálózatok jelentőségét [5], az orosz–ukrán konfliktusból pedig jól látszik, hogy hogyan tudnak civil felhasználásra szánt rendszerek (pl. StarLink műholdas internetszolgáltatás, vagy mobiltelefon-hálózatok), kereskedelmi forgalomban kapható drónok [6], és civilek által mobiltelefonos applikáción keresztül üzemeltetett hírszerzési rendszerek [7] hatékonyan összefonódni a hagyományos harcászattal. A jelenleg használt szimulációs megoldásokban kevésbé elterjedt domén a kibertér és a világűr. Ha olyan rendszert szeretnénk építeni, amely ezeket a konfliktusokat is hűen modellezi, akkor mindenképpen szükségünk lesz arra, hogy a szimulációs rendszer a hagyományos harci eszközöket leíró fizikai modelleken túl, képes legyen az új folyamatok, és a civil, tradicionálisan a harcászaton nem használt eszközök, rendszerek leírására is. Abban a pillanatban, hogy a civil lakosság is érintett a konfliktusban (például CIMIC – Civil-military co-operation, azaz civil-katonai együttműködés többek között egy nagyobb természeti katasztrófa, vagy információs hadviselés esetén), a viselkedésüket, reakciójukat leíró modellekre is szükség van, ez pedig önmagában is kihívás, hiszen a közösségi médián keresztüli befolyásolás, álhírkampány önálló területté nőtte ki magát a modern hadviselésben.

A következő generációs szintetikus környezet másik fontos tulajdonsága, hogy a korábbi, jellemzően zárt rendszer-

rekhez képest nyílt, erősen moduláris felépítéssel kell rendelkeznie, és az iparági szabványokat követve kell kapcsolódnia más rendszerekhez. Ahhoz, hogy a szövetséges országok hadereje együttesen hajthasson végre műveleteket, nem elég a harcászati rendszerek, doktrínák harmonizációja, az előkészítési, döntéstámogatási folyamatokban egyre nagyobb szerepet kapó szimulációs rendszereknek is együtt kellene működniük. A szimulációs rendszerek összekötése gyakran okoz problémát az eltérő architektúrák, protokollok és a különféle (pl. terep) adatbázisok közti különbségek miatt. Külön kihívás a különböző biztonsági besorolású rendszerek csatolása. A rendszerek összekötése azonban csak az első lépés, a következő generációs szintetikus környezeteknek nem csupán összeköthetőnek kell lenniük, de összeépíthetőnek is. A 6. generációs vadászgépek legjobb szimulációs modellje, és a közösségi hálózatokon terjedő álhírek civil lakosság hangulatára gyakorolt hatásait leíró modell valószínűleg teljesen különböző cégektől, intézetektől érkezik majd. A múltban épített, jelenleg használt szintetikus környezetek nagy része zárt rendszer, minden bennük lévő tartalmat a fejlesztő cég készítette, ez azonban nem fenntartható a komplexitás növekedésével.

A megnövekedett komplexitás feldolgozására jelentősen több bemeneti adatra van szükség. Részletesebb terepadatok, pontosabb, az entitásokat és azok viselkedését leíró paraméterek szükségesek. Egy tipikus konstruktív szimulációs gyakorlatban egy dandár szintű hadgyakorlat elvégzéséhez akár többhetes előkészítő munkára, és a gyakorlat folyamán 20 fős operátor személyzetre is szükség lehet. Ha ezt lineárisan skálázzuk, könnyen belátható, hogy ez az előkészítési folyamat hagyományos módszerekkel nem lesz fenntartható. A megnövekedett adatszükségletet, és annak kezelését nagyfokú automatizálással, gépi tanulás és MI segítségével lehet kielégíteni. (Erről a technológiáról a tanulmány második részében szólnunk részletesen.)

A körülöttünk lévő világ digitalizációja sokat segíthet az adatok megszerzésében. Kormányzati szervek, startupok és piacvezető high-tech cégek sokasága foglalkozik digitalizálással. Az időjárástól a terepadatokon át a földi, légi és vízi közlekedés követéséig, számtalan forrás szolgáltat historikus vagy valós idejű adatokat. A katonai alkalmazásban a fejlett C4ISR (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance – parancs, ellenőrző, kommunikációs, számítógépek, hírszerzés, megfigyelés és felderítés) és ABMS (Advanced Battle Management System – fejlett harcvezetési rendszer) rendszerek képesek valós, vagy közel valós idejű adatot szolgáltatni.

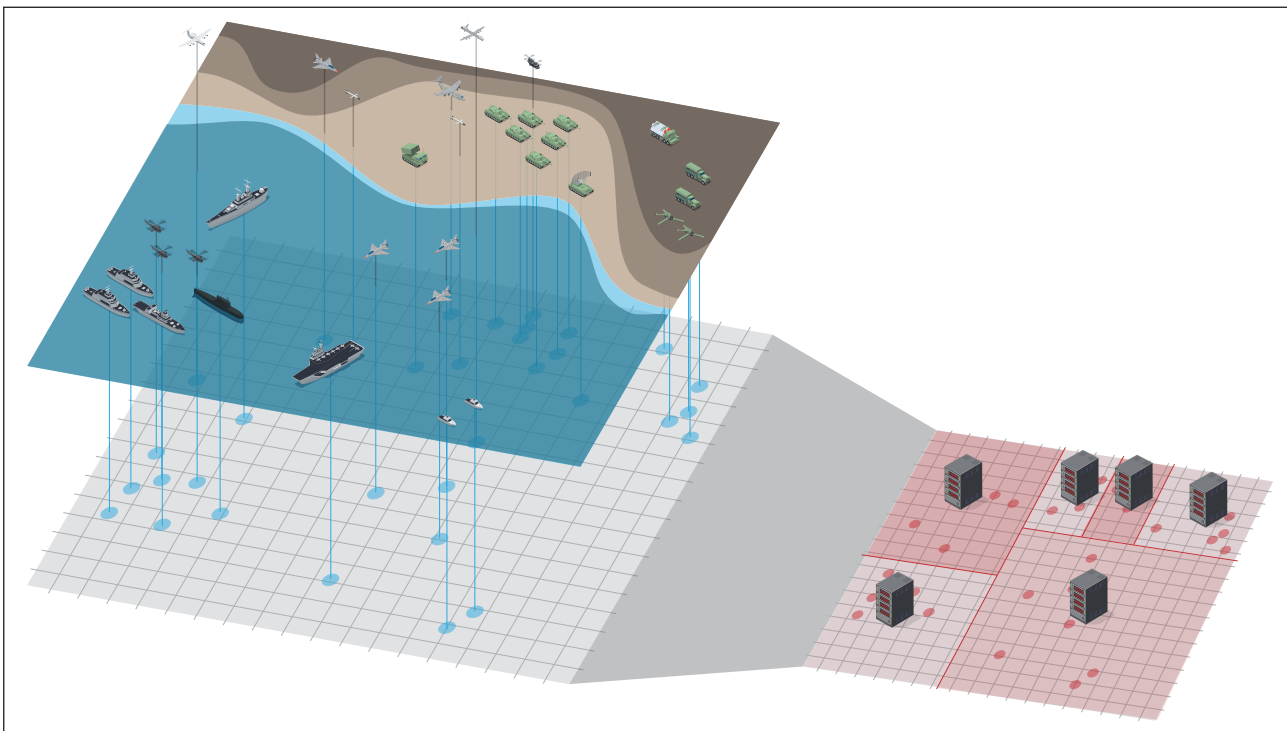
Mindezek összessége felvázolja a jövő döntéstámogatási rendszerét. Egy olyan, összekapcsolt rendszerekből álló képességet, amely valós idejű civil és hadszíntéri adatokat felhasználva képes az aktuális szituációról egy reprezentatív szimulációt, digitális ikermásolatot készíteni. A szimuláció a különböző cselekvési vázlatokat futtatva segíthet a vezetőknek az adott szituációban a leghatékonyabb döntést meghozni

### SKÁLÁZHATÓSÁG TÉRBELI PARTICIONÁLÁSSAL

A következő generációs szintetikus környezetek egyik kulcsfontosságú tulajdonsága a skálázhatóság. Az entitások számának, a szimulációs modellek komplexitásának, a térbeli vagy időbeli felbontásának növelése mind számítási kapacitás, mind adatforgalom tekintetében jelentős növekedést jelent.

Az egyes informatikai rendszerek, mint a processzor, a memória, a belső és külső adattovábbításra használt buszok és interfészek önmagukban is rengeteget fejlődtek, ám a korábban leírt példa szerint a skálázás a lineárisnál jóval meredekebb mértékben növekvő szükségleteit csak több számítógép együttes használatával lehet kielégíteni.

4. ábra. Egyszerűsített példa az entitások síkba vetítéséről és térbeli felosztásáról (A szerző szerkesztése)







5. ábra. A katonai alkalmazásban a fejlett C4ISR rendszer képes nagy tömegű, közel valós idejű adatot szolgáltatni, amely kezelését nagyfokú automatizálással, a gépi tanulás és az MI segítségével lehet feldolgozni (Fotó: HM Zrínyi Nkft. / Rácz Tünde)

A felhő-technológia előnye, hogy több gépet dinamikusan összekapcsolva olyan kapacitást lehet elérni, amely korábban lehetetlen volt.

Az entitások számának növekedését felhő-architektúrában, például a dinamikus térbeli particionálás módszerével lehet elérni. Képzeljünk el egy felhőalapú rendszert, amelyben az egyes számítási egységek (node-ok) dinamikusan állnak rendelkezésre. A felhő működtetéséért felelős rendszernek jelezve lehet további node-okat igényelni, vagy a felszabadultakat visszaadni. A szimulált szcenárióban lévő entitásokat a Föld felszínén, illetve alatta/felette mozgó egységekként elképzelve vetítsük a 3D-s földgolyót egy 2D-s felületre, a körülötte/rajta mozgó entitásokkal együtt. Az így kapott terület tartalmazni fogja az összes entitást, amelyeket az egyszerűség kedvéért a középpontjukat jelző ponttal helyettesítünk. A térképre most rajzoljunk poligonokat úgy, hogy minden entitást jelző pont pontosan egy poligonba essen. Ezeket a poligonokat hozzárendelhetjük a felhőrendszer node-jaihoz (1 poligon = 1 node), ezzel azt jelezve, hogy az adott node felelős a hozzá tartozó poligon összes entitásának szimulációjáért.

Könnyen belátható, hogy attól függően, hogy hogyan rajzoljuk meg ezeket a poligonokat, különböző elosztásokat tudunk generálni, ahol a szimulációhoz használt node-ok száma, és azok kihasználtsága is különböző. A probléma ekkor egy optimalizálási feladattá válik: hogyan tudjuk a legkevesebb poligon (node) felhasználásával úgy felosztani a szimulációs teret, hogy egyetlen node se legyen túlterhelve. Az entitások mozognak, sőt, akár keletkezhetnek/megszűnhetnek a szimuláció során. Az ideális algoritmus úgy tudja dinamikusan mozgatni a poligonok határait – sok entitást tartalmazó poligonokat kisebb poligonokra felosz-

tani, kevés entitást tartalmazókat egyesíteni –, hogy a szimuláció teljes időtartama alatt optimálisan tartja a felhőforrások felhasználását. (4. ábra)

Ennek az optimalizációs feladatnak a megoldásával több cég is foglalkozik, az eredményeket a hadiipari felhasználáson túl az ipar, a civil védelem, az online játékipar és az épülő metaverzum is felhasználja.

Míg a történelem során a katonai technológia sokszor járt elől, és az ott kifejlesztett újítások azután kerültek át a civil életbe, a szimuláció és a MI területén számos technológiai építőelem a hadiipari felhasználástól függetlenül fejlődik. Érdekes az összehasonlítás, hogy 2022-ben a videójáték-ipar teljes bevétele [8] globálisan az amerikai haderő éves büdzséjének kb. 25%-a volt [9]. Bár pontos adatok nem állnak rendelkezésre, sejtendő, hogy csak a videójáték-ipar jóval többet költ évente a professzionális szimulációhoz is felhasználható technológiák fejlesztésére, mint a legnagyobb költségvetéssel rendelkező haderő, a United States Armed Forces, és a videójáték-iparon kívül még számos piaci szegmens is épít rá (film-, reklámpiar; gépjármű- és építészeti tervezés stb.).

(Folytatjuk)

#### HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Forrás: <https://www.midjourney.com> (Generálva: 2023.5.15.);
- [2] DARPA neural network study final report, United States. Air Force Systems Command, Lincoln Laboratory (1989) Lexington, Mass.: The Laboratory <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.31822032366791&view=1up&seq=5> (Letöltve: 2023.5.15.);
- [3] Forrás: [https://www.armyrecognition.com/index\\_2013\\_news\\_coverage\\_report\\_pictures\\_video/masa\\_sword\\_constructive\\_simulation\\_showcased\\_at\\_index\\_2013\\_for\\_defense\\_ootw\\_training.html](https://www.armyrecognition.com/index_2013_news_coverage_report_pictures_video/masa_sword_constructive_simulation_showcased_at_index_2013_for_defense_ootw_training.html) (Letöltve: 2023.5.15.);
- [4] Forrás: <https://www.cae.com/multimedia-centre/> (Letöltve: 2023.5.15.);
- [5] Howard, Philip N., Duffy, Aiden, Freelon, Deen et al. (2011). „Opening Closed Regimes: What Was the Role of Social Media During the Arab Spring?” Project on Information Technology and Political Islam ([www.pITPI.org](http://www.pITPI.org)) at the University of Washington’s Department of Communication [https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/117568/2011\\_Howard-Duffy-Freelon-Hussain-Mari-Mazaid\\_PITPI.pdf?sequence=1](https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/117568/2011_Howard-Duffy-Freelon-Hussain-Mari-Mazaid_PITPI.pdf?sequence=1) (Letöltve: 2023.5.15.);
- [6] Jankowski, Tancrede. „The Proliferation of Militarized Civilian Drones in Ukraine: a Lesson from the War for Western Military Staffs” 2023. Network for Strategic Analysis (NSA) <https://ras-nsa.ca/the-proliferation-of-militarized-civilian-drones-in-ukraine-a-lesson-from-the-war-for-western-military-staffs/> (Letöltve: 2023.5.15.);
- [7] Harwell, Drew. “Instead of consumer software, Ukraine’s tech workers build apps of war” 2022. <https://www.washingtonpost.com/technology/2022/03/24/ukraine-war-apps-russian-invasion/> (Letöltve: 2023.5.15.);
- [8] Video Game Industry Revenue & Market Share (May 2023) BankMyCell, <https://www.bankmycell.com/blog/video-game-industry-revenue> (Letöltve: 2023.5.15.);
- [9] 2022-2023 Defense budget breakdown Bloomberg Government <https://about.bgov.com/defense-budget-breakdown/> (Letöltve: 2023.5.15.).