

# A játékelmélet lehetséges szerepe a távközlésben

DULAI TIBOR

Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Kar, Információs Rendszerek Tanszék  
tiber.dulai@irt.vein.hu

Lektorált

**Kulcsszavak:** self-adaptive ügynök, stabilitás, játékelmélet, Nash-egyensúly

*Ma már nem elég egy adott funkciót megvalósítani, hanem igyekezni kell a működést is minél hatékonyabban véghez vinni. Ez távközlési rendszerekben sincs másképp. Az ezirányú fejlesztések egyik pillére, hogy a rendszer saját viselkedését adott pillanatban a legmegfelelőbbben tudja az érvényben lévő környezeti paraméterekhez igazítani. Egy hálózatban ugyanakkor a számos felhasználó önző maximalizmusa közepette meg kell találnunk az egyensúlyt jelentő állapotot(ka)t. E cikk azt igyekszik megmutatni, miképpen használhatók a játékelmélet eredményei az egyensúly meghatározásában néhány (főleg mobil) távközlési szituáció esetén.*

## 1. Bevezetés

A technika mai fejlettségi szintje mellett már senki nem lepődik meg azon, hogy szinte valós idejű videó-üdvözlést kaphat ismerőse egyiptomi vakációjáról, vagy akár a világ bármely pontjáról bekapcsolódhat cégének váratlanul összehívott videokonferenciájába. Egyre összetettebb, komplexebb rendszerek szolgálják ki növekvő igényeinket. Ezen igények sokrétűek és gyakran egymásra ellentétes hatást gyakorló mennyiségekre vonatkoznak, gondoljunk csak az átviteli idő és a minőség kapcsolatára. A komplexitást csak fokozza, hogy nem csak egy felhasználót kiszolgáló rendszerről van szó, hanem olyan rendszerről, melyet egyszerre többen vesznek igénybe. Mindeközben persze a többi felhasználót az egyéni igények nem veszik figyelembe. Ezen igények miatt újabb és újabb felmerülő problémákat kell megoldani, illetve a megszületett megoldásokat mind hatékonyabbá tenni.

Jelen cikkben leginkább a mobil távközlés területére koncentrálna feltérképezünk néhány olyan problémakört, melyek esetében a self-adaptive rendszerek és szoftverek a hatékonyságot nagymértékben tudják növelni, illetve megmutatjuk, hogyan alkalmazhatók játékelméleti módszerek ezen ön-adaptív elemek stabil hálózatban történő működésének egy megoldásaként.

## 2. A telekommunikáció aktuális kihívásai

A mobil, illetve hordozható eszközök felvetnek az akkumulátor-élettartam rövidségére vonatkozó kérdéseket. Ugyanakkor ezek az általában vezeték nélküli eszközök gyakran a hatókörükbe kerülő más eszközökkel ad hoc hálózatba szerveződnek. Ez az önszerveződés, a kialakított hálózaton belüli erőforrás-megosztás, a megbízhatóság további problémát jelent. Természetesen a piacon lévő gyártók termékei nem azonosak, emiatt ál-

talában egy-egy kialakított rendszer erősen heterogén, melyben a hordozhatóságot ugyanakkor biztosítani kell. És mindeddig csupán a technikai hátterét tárgyaltuk annak a rendszernek, melynek célja a felhasználói adatok átvitele. Persze ezen adatok összetettsége is széles skálán mozog: az egyszerű szöveges üzenetektől kezdve a komplex multimédia-tartalmakig, melyekre ugyanakkor egyöntetűen igaz, hogy átvitelüktől megfelelő szolgáltatási minőséget várunk el.

Mindezen problémákra kihat az a tény, hogy az átviteli közeg mobil rendszerek esetén az elektromágneses spektrum valamely része. A mobil távközlés egyik fontos kérdése ezek alapján a következő: Hogyan használható hatékonyan egy változékony, nem-determinisztikus közeg megfelelő QoS biztosítására, késés-érzékeny és egyre komplexebb adatok átvitelére?

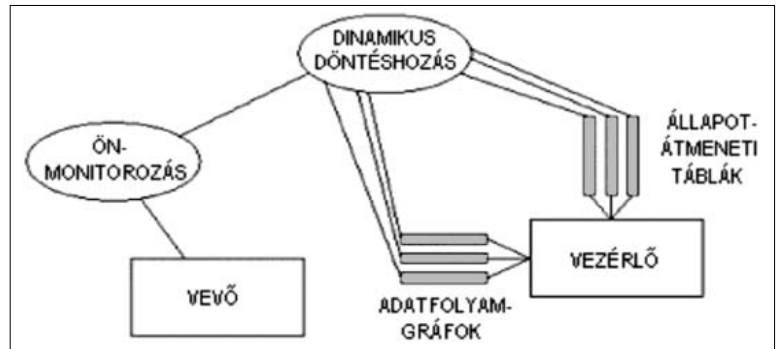
## 3. Az ön-adaptivitás és a játékelmélet szerepe

A hatékony átvitelt elősegítő fontos tényező lehet az, hogy a környezet pillanatnyi állapotát figyelembe véve, ahhoz legjobban igazodó módon viselkedjen a távközlési rendszer. Emiatt célszerű olyan távközlési szoftvereket alkalmazni, melyek monitorozzák környezetüket, kiértékelik saját viselkedésüket és változtatnak azon, amennyiben a kiértékelés azt jelzi, hogy nem a kívánt módon működik a szoftver, illetve ha jobb funkcionalitás vagy teljesítmény érhető el a változtatás által [2,3].

Általánosan egy ilyen szoftver az 1. ábrán látható, amely a [3]-ban közölt ön-adaptív protokollmodellnek megfelelően viselkedik.

Az ön-adaptivitás azonban annál hatékonyabban vihető véghez, minél több információ áll rendelkezésre az alkalmazkodáshoz. Épp emiatt nem biztos, hogy a hálózati programozásban megszokott, tradicionális protokoll-architektúra a legalkalmasabb az ön-adaptív protokollok számára. Sokkal több információt tudnak sze-

1. ábra  
Ön-adaptív protokoll



rezni az egyes protokollok a rétegeken keresztüli tervezés módszerével lehetővé váló lefelé, illetve felfelé irányuló információ-megosztás által. Erről az újabb megközelítésről bővebben [1]-ben olvashatunk.

Ugyanakkor képzeljünk el egy olyan rendszert, melynek erőforrásait minden felhasználója a számára éppen legkedvezőbb módon próbálja használni. Egy olyan kommunikációs rendszerben, melynek minden felhasználói ügynöke önző módon változtathatja meg saját ön-adaptív szoftverének paramétereit saját nyereségének maximalizálása érdekében, rögtön adódik a kérdés: Hogyan találjuk meg a kommunikációs hálózat stabil egyensúlyi pontjait? Egy lehetséges választ erre a kérdésre a játékelmélet területének eredményei adhatnak [4].

Egy általános kommunikációs játék elemei a következők: a játék maga a kommunikáció, a játékosok a kommunikációs ügynökök, akik által választható lehetséges stratégiák az alkalmazott protokollok paramétereinek lehetséges értékei, továbbá kifizetések az adott beállítás által eredményezett valamely kommunikációs tulajdonság(ok) számszerűsítése. Természetesen az egyes játékosok célja a saját kifizetés maximalizálása.

A szituációk nagy részében egy kommunikációs folyamat egyes ügynökei (például egy közös csatornán osztó felhasználói folyamatok) egymással versengenek saját céljaik minél eredményesebben történő elérése érdekében, a kommunikációs játék ezen esetekben nem kooperatív játék. A nem kooperatív játékok Nash egyensúlyát azon állapotok jelentik, melyekben egyik játékosnak sincs olyan más stratégiaprofilja, mely számára nagyobb kifizetést jelentene, amennyiben a többi játékos stratégiaprofiljai nem változnak. Nash tétele szerint kevert stratégiák esetén minden nem kooperatív játék rendelkezik (legalább egy) Nash egyensúlyi ponttal.

A nem kooperatív kommunikációs játékok esetében célunk, hogy az alkalmazott ön-adaptív távközlési szoftverek találjanak Nash egyensúlyi pontot. (A cikk keretein belül több egyensúlyi pont közül történő választás esetével nem foglalkozunk.)

#### 4. Nem kooperatív kommunikációs játékok

Mielőtt megnézzük, miképpen határozhatjuk meg egy nem kooperatív kommunikációs játék egyensúlyi pontjait, nézzünk néhány konkrét példát ilyen típusú játékokra!

#### 4.1. Véletlen közeghozzáférés ad-hoc vezeték nélküli hálózatokban

Vezeték nélküli ad-hoc hálózatok esetében a hatékony működést segíti elő, ha az egyes állomások tevékenységük során figyelembe veszik környezetük állapotát és dinamikusan alkalmazkodnak ahhoz (self-adaptivity), miközben megfelelően működő hálózatba szerveződnek más eszközökkel (self-organization). Egyre inkább természetessé válik, hogy a mobil távközlési eszközök ezen folyamatot minimális emberi beavatkozással is képesek végrehajtani (self-configuration). Eközben számos problémakörben kell az eszközökben futó szoftvereknek döntést hozniuk.

Az egyik ilyen probléma a közösen használt átviteli közeghez való hozzáférési politika meghatározása. A forgalmazni kívánó eszköz és a hálózat számára is fontos, hogy minél kevesebb ütközés csökkentse a hálózat teljesítményét [5]. Ebben a játékban az egyes ügynökök stratégiáit hozzáférési politikájuk, ütközés esetén történő újradaési akcióinak paramétereit jelentik. Egyéni céljuk saját kifizetésüknek, az egységnyi adatmennyiségre jutó átviteli idő inverzének maximalizálása lehet. MacKenzie és Wicker a réseit Aloha közeghozzáférési protokollt módosította játékelméleti módszerekkel [6].

#### 4.2. Mobil eszközök energiagazdálkodása

Vezeték nélküli rendszerek esetében rendkívül fontos kérdés az eszközök energiaellátása. Az akkumulátor élettartama folyamán a mobil átvitel ráadásul nem is minden időpillanatban megbízható. Az elektromágneses hullámok esetében fellépő torzító hatások miatt az átviteli csatorna változó jósági paraméterekkel bír. Ez azt jelenti, hogy nem mindegy, mely időpillanatban bocsátjuk ki a csatornára az elküldeni kívánt adatot, mely jellemzően löketszerűen adó üzenetforrásból származik. Erre a szituációra épülő játék esetében az egyes játékosok stratégiáit a rádiókapcsolattól függő átviteli politika jelentheti, míg kifizetéseiket az akkumulátor élettartama alatt sikeresen átvitt bitek számaként számolhatjuk. A cél itt is a saját kifizetés maximalizálása minden játékos esetében.

#### 4.3. Kapacitás-megosztás megfelelő QoS biztosítása mellett

A felhasználói elégedettség minden szolgáltató számára fontos paraméter. Ehhez többek között megfelelő minőséget kell biztosítanunk az átvitel eredménye-

ként. Mindezt úgy, hogy általában egy csatornán több felhasználó adata továbbítódik gyakran véletlen hozzáféréssel, és a hálózatot alkotó eszközök többnyire decentralizált rendszerben működnek. Az átvinni kívánt adatok komplexitása pedig széles skálán mozog, más és más követelményeket támasztva a távközlési rendszerre nézve.

A rendelkezésre álló korlátos erőforrásokat mégis oly módon kell igénybe venniük az egyes ügynököknek, hogy a lehető legjobban megfeleljen a tényleges működés a felhasználók által támasztott minőségi követelményeknek.

Ebben a játékban az egyes ügynökök által választott közeghozzáférési és átviteli sebesség-választási politika jelentősen meghatározza az elérhető maximális kifizetés értékét, amit az elért QoS értékének és annak árának különbségeként kaphatunk.

A távközlés területére felvázolt néhány lehetséges játék mindegyikére igaz, hogy az egyes ügynökök individuális céljait elérni kívánó, önző viselkedése ellenére célunk egy stabil állapot elérése, melyből egyoldalúan egyik ügynöknek sem éri meg kilépni, azaz meg kell határozunk ezen nem kooperatív játékok Nash egyensúlyát.

## 5. A Nash egyensúly meghatározása folytonos stratégiájú játékok esetében

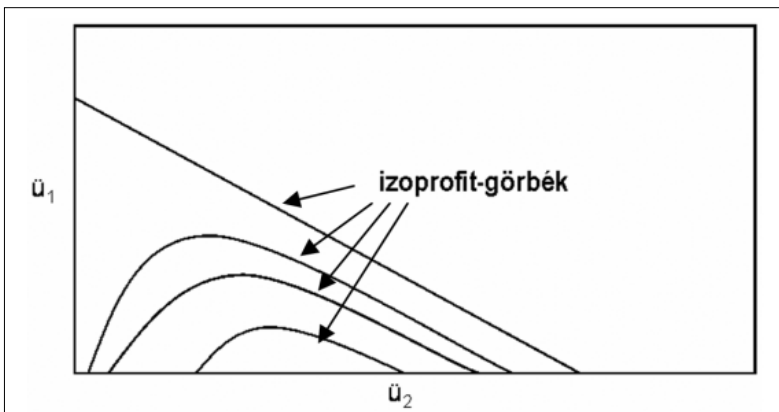
Folytonos stratégiájú játékok esetében az egyes ügynökök végtelen számú akció közül választhatnak egy-

egy döntési pontjukban. Céljuk természetesen saját kifizetésük – mely, mint a játékelméletben megszokhattuk, nem csak az adott ügynök döntésétől, de a többi játékos választásától is függ – maximalizálása. Ilyen körülmények között kell meghatározni a játék egyensúlyi pontját. A problémát – mint sejtethető – szélsőérték-feladat alakjában is felírhatjuk, s ennek megoldását keressük [7].

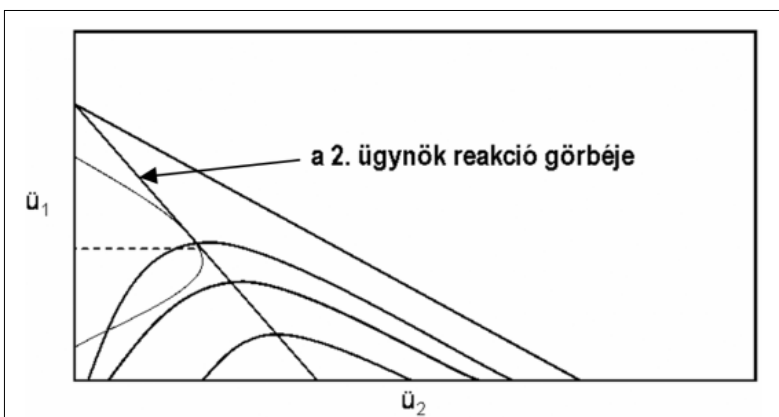
Az egyszerűség kedvéért a továbbiakban a megoldást tekintjük egy olyan feladat esetében, melyben csupán két játékos szerepel. Első lépésként meg kell határozunk azt a függvényt, mely az egyes játékosok kifizetését jellemzi a saját, valamint a másik játékos által választott paraméter-érték függvényében. Például a választott paraméter-érték lehet az ügynök által alkalmazott adatátviteli sebesség, míg ebből a profit az így eredményezett átvitel értékének és árának (ami a másik ügynök által választott átviteli sebességtől is függ) különbsége. Amennyiben az egyes ügynökök adott konstans profitszintjeihez tartozó görbéket meghatározzunk, megkapjuk az ügynökök izoprofit-görbéit. A 2. ábra a 2. ügynök lehetséges izoprofit-görbéit ábrázolja.

Mint az látható, az 1. ügynök adott paraméter-választásához a 2. ügynöknek azt a paramétert érdemes választania, mely saját profitját maximalizálja. Ez nem lesz más, mint az 1. ügynök által választott konstans értéket jellemző egyenest érintő izoprofit-görbének a maximumpontja.

Ezt természetesen az 1. ügynök is tudja, azaz tisztában van azzal, hogy bármely választásához a 2. ügynök az érintő izoprofit-görbéjének maximumpontját választja. Ebből adódóan az 1. ügynöknek nincs más te-



2. ábra  
A 2. ügynök lehetséges izoprofit-görbéi



3. ábra  
Az 1. ügynök stratégiájának megválasztása

endője, mint meghatározni a 2. ügynök izoprofit-görbéinek maximumai által alkotott egyenest (reakció görbe) – mint a 2. ügynök várható választásait összegyűjtő ponthalmazt –, és erre optimalizálni saját választását. A 2. ügynök reakció görbéjének pontjai közül az a pont jelenti az 1. ügynök számára a maximális profitot, melyben a reakció görbe érinti az 1. ügynök valamely izoprofit görbéjét. Ezt a pontot az 1. ügynök izoprofit-görbéit meghatározó egyenletbe behelyettesítve a 2. ügynök reakció-görbéjének egyenlete könnyen kiszámítható (3. ábra).

A leírt módszer jól alkalmazható folytonos stratégiájú nem kooperatív játékok Nash egyensúlyának meghatározására. Ugyanakkor léteznek egyéb helyzetek, melyek megoldására a játékelmélet egyéb területének eredményei lehetnek hasznosak. Versengő felhasználók útválasztása esetén (például autós üldözés) – mivel egy-egy útkeresztződésben véges számú akció közül választhat a felhasználó – a nem kooperatív diszkrét stratégiájú játékok elmélete alapján a visszagöngyölítés módszere hozhat megoldást, míg egy fuvarozási vállalat flottájának valós időben történő, adaptív menedzselésére a kooperatív játékok elméletének eredményei alkalmazhatók jól.

## 6. Összefoglalás

Látható, hogy a közgazdaság területéről több mint 50 éve elinduló játékelmélet a távközlés területén is jól alkalmazhatónak tűnik.

Cikkünkben néhány lehetséges kommunikációs játék felvázolása mellett a távközlési rendszerekben talán leginkább felhasználható nem kooperatív folytonos stratégiájú játékok Nash egyensúlyi pontjának meghatározására adtunk útmutatást. Mindemellett nem feledkezhetünk meg arról sem, hogy mind a diszkrét stratégiájú játékok, mind a kooperatív játékok elméletének eredményeit a távközlési rendszerek bizonyos körére alkalmazva további eredmények érhetők el a rendszerhatékonyság növelésének irányában.

## Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi ki Dr. Tarnay Katalinnak rendkívül értékes tanácsaiért és útmutatásaiért.

## Irodalom

- [1] Zygmunt J. Haas,  
„Design Methodologies for Adaptive and Multimedia Networks”,  
IEEE Communication Interactive, 39(11),  
November 2001.
- [2] P. Robertson, R. Laddaga, H. Shrobe,  
„Introduction: The First International Workshop on Self-Adaptive Software”, IWSAS 2000,  
Springer-Verlag, New York, 2001.
- [3] Katalin Tarnay,  
„Self-adaptive protocol”,  
In Self-adaptive Software: Applications,  
2nd International Workshop, IWSAS 2001,  
Balatonfüred, Hungary, May 2001,  
Revised Papers, Vol. 2614, pp.106–112.,  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001.
- [4] Roger B. Myerson,  
„Game Theory – Analysis of Conflict”,  
Harvard University Press, London, England, 1991.
- [5] A. B. MacKenzie, S.B. Wicker:  
„Game Theory and the Design of Self-Configuring,  
Adaptive Wireless Networks”,  
IEEE Communications Magazine, November 2001,  
pp.126–131.
- [6] A. B. MacKenzie, S.B. Wicker:  
„Selfish Users in Aloha: A Game Theoretic Approach”,  
Proc. of the IEEE VTC, October 2001, pp.1354–1357.
- [7] H. Scott Bierman, Luis Fernandez,  
„Game Theory with Economic Applications”,  
Addison – Wesley Publishing Company, Inc.,  
Massachusetts, 1993.