

Ösztönző keretrendszer önkéntes, autonóm együttműködéshez elosztott hálózatokban

NÉMETH LÁSZLÓ HARRI, SZABÓ RÓBERT

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformaticai Tanszék
{nemethl, robert.szabo}@tmit.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: ambiens hálózatok, önkéntes együttműködés, játékelmélet, peer-to-peer hálózatok, ígéretelmélete

Napjaink kommunikációs hálózatai dinamikussá válnak, ami azt jelenti, hogy ezeknek a hálózatoknak nincsen kiépített fix infrastruktúrája (például WLAN-on keresztül megosztott hozzáférési hálózatok, ad-hoc hálózatok, ambient intelligencia [1,2] hálózatok vagy szenzorhálózatok) vagy az infrastruktúra-alapú hálózatok konfigurációja folyamatosan változik. Ezek a hálózatok nagymértékű önállósággal, autonómiával rendelkeznek és gyakran akár önző módon is viselkedhetnek. Az autonómia azt jelenti, hogy az ilyen hálózatoknak nincsen semmilyen központi adminisztrációs vagy menedzsment-alapelvük, amely meghatározná működésüket. A hálózat önző viselkedését sokféle módon szabályozhatjuk – ez egy széleskörben vizsgált terület a kutatók körében, különösen a peer-to-peer fájlmegosztó hálózatok népszerűvé válása óta. Az általunk vizsgált megoldás a hálózati topológia figyelembevételében különbözik az eddigiektől. Mivel minden csomópont csak a saját szomszédjaival képes közvetlenül kommunikálni, egy újfajta megoldást kell találni a csomópontok együttműködésre való motiválására. Jelen cikk egy újszerű megoldást mutat be erre a problémára.

1. Bevezetés, motiváció

Hogy megszüntessük, illetve mérsékeljük az önző viselkedést a hálózatban, egy elosztott keretrendszer válik szükségessé, amely ösztönzi a résztvevőket a kommunikációra és az együttműködésre. Egy ilyen környezetben az autonóm hálózatok önkéntes együttműködésére elosztott architektúra válik szükségessé, amely vezérli az együttműködések [3]. Nem feltételezünk semmilyen központi bizalmat vagy infrastruktúrát.

Az ígéretelmélete egy gráfelméleti keretrendszer, amely egyszerűbbé teszi az összetett kapcsolatokat, relációk megértését olyan hálózati környezetben, ahol sokféle korlátozásnak kell megfelelni [3,4]. Az alapötlet szerint teljesen autonóm csomópontok ígéreteken keresztül lépnek kapcsolatba egymással. Az együttműködő csomópontok csoportokba szerveződnek. Minden egyes ígéret egy korlátozást jelent az ígérő csomópont viselkedésére nézve.

Nagyméretű elosztott hálózatokban a hálózat komponensei megosztják a szolgáltatásaikat és hálózatmenedzsment-funkcióikat egymással. De a csomópontok nem járnak jól azzal, ha az összes szolgáltatásukat megosztják mások számára.

Minden hálózati csomópont igényel szolgáltatásokat más csomópontoktól. Ha egy csomópont csak szolgáltatásokat kér, de maga nem szolgálja ki más csomópontok kéréseit, akkor ez azt jelenti, hogy ez a csomópont önző módon viselkedik. Annak érdekében, hogy ezt a viselkedést megszüntessük a hálózatban és hogy arra ösztönözzük a csomópontokat, hogy együttműködjenek, különféle technikákat használhatunk. Az alapelve ezeknek a megoldásoknak az, hogy a nagylelkű csomópontokat megjutalmazzuk, az önző csomópontokat pedig megbüntetjük.

Ha egy csomópont jutalmat kap, az azt jelenti, hogy nagyobb valószínűséggel fogják kiszolgálni az ő kéréseit más csomópontok. Ha pedig egy csomópont büntetést kap, akkor kisebb valószínűséggel lesz kiszolgálva. A felvázolt rendszer modellezéséhez egyfajta játékelméleti megközelítés a legalkalmasabb. Az erre a modellre illeszkedő játék az általános fogolydilemma. A rendszer működéséhez a csomópontoknak információkat kell tárolniuk más csomópontok viselkedéséről annak érdekében, hogy egy szolgáltatáskéréskor döntést tudjanak hozni, hogy kiszolgálják-e az adott kérést, vagy sem.

Ennek az információnak, élettörténetnek a tárolása alapvetően két különböző módon történhet: közös területen (shared history), vagy egyénileg (private history) [5]. A kétféle tárolási módnak különféle hátrányai vannak, közös területen történő tárolás esetén előfordulhat, hogy egy csomópont hamis ajánlásokat küld egy másik csomópontra vonatkozóan, vagyis hazudik egy másik csomópontról és ez tönkretelheti a kooperációt. A közös területen történő tároláshoz egy elosztott adattárolási módszer is szükséges, például elosztott hash táblákkal. Az egyénileg tárolt history a nagyszámú csomópont esetén teljesíthetetlen memóriakövetelményeket támasztana a csomópontokkal szemben, ezért ebből a szempontból ez a megoldás csak korlátozott mértékben használható.

Az erőforrások megosztásának játékelméleti modellel történő leírása széleskörben vizsgált, kutatott terület, különösen a P2P fájlmegosztó hálózatok népszerűvé válása óta. Sok különféle megközelítést dolgoztak ki, hogy ösztönözzék a hálózat résztvevőit a saját erőforrásaik megosztására. Ezekben a hírnév alapú ösztönző rendszerekben a csomópontoknak egy hasznossági értéke van, amelyet a csomópont működése során növelni, maximalizálni akar. Ennek a hasznossági értéknek a számitása az alapján történik, hogy a csomópont milyen mér-

tékben osztotta meg erőforrásait és milyen mértékben használt ki más csomópontokat. Az egyik legátfogóbb kutatás ezen a téren Ion Stoica-nak és csapatának köszönhető [5], de számos más értékes publikáció is született a témában. Ezek a kutatások sokmindenben különböznek, például abban a tekintetben, hogy milyen játékelméleti modellel elemzik a rendszert. Ion Stoica és csapata két résztvevős, aszimmetrikus modellt használ, míg Philippe Golle sokrésztvevős játékkal végzi az elemzést [6].

Ezekben a megoldásokban a rendszer P2P alapelveken működik, vagyis bárki bárkivel kapcsolatba léphet, szolgáltatást kérhet és szolgáltatást nyújthat. Jelen cikkben vázolt megoldás abban különbözik ettől, hogy topológia épül ki a hálózatban. Az ambiens hálózatokban a csomópontoknak csak egy korlátozott lefedettségi területe van és ez alapján csak a szomszédokkal tudnak közvetlenül kommunikálni. Ennek az a következménye, hogy útvonalirányításra van szükség a hálózatban és egy szolgáltatáskérés több csomóponton is áthalad.

Ebből az következik, hogy egy szolgáltatás kérésekor három fajta csomópontot lehet megkülönböztetni, amely ebben a folyamatban részt vesz: egy kezdeményező csomópontot, amely szolgáltatást kér, egy célcsoomópontot, amelytől a szolgáltatást kérték és opcionálisan valahány közbenső, továbbító csomópontot, amelyek továbbítják a kérést és a választ. Természetesen olyan eset is előfordulhat, hogy valamely csomópont a közvetlen szomszédjától kér szolgáltatást, ebben az esetben a közbenső csomópontok kimaradnak.

2. Elméleti megfontolások, újdonságok

A játékelmélet a matematikának egy olyan ága, amely azzal a kérdéssel foglalkozik, hogy mi az ésszerű viselkedés egy olyan helyzetben, amikor a résztvevő döntéseinek eredményét, hatását más résztvevők döntései is befolyásolják.

Egy játék leírásához alapvetően három dolog megadása szükséges: a játékosok, a stratégiák és a kifizetések. A játékosok a játék résztvevői, akik a kifizetésüket maximalizálni szeretnék. Stratégia alatt a játékosok viselkedését értjük, vagyis azt, hogy a játék során milyen döntéseket hozhatnak. Kifizetés alatt a játékos hasznossági függvényét értjük, azt az értéket, amelyet a játékos, mint hasznot elkönnyvelhet a játék végén. Ez az érték függ attól, hogy a játékos milyen stratégiát választ, illetve attól is, hogy más játékosok milyen stratégiával játszanak. Mivel a játékos racionális, azt szeretné, hogy ez a hasznosság-érték minél nagyobb legyen. Ehhez azonban figyelembe kell vennie más játékosok döntéseit, illetve döntési lehetőségeit is, valamint saját kifizetéseit ezek függvényében.

A játékoknak sok fajtája, csoportosítása létezik, például normál formájú vagy extenzív formájú játékok, szimmetrikus vagy aszimmetrikus, zérus összegű, vagy nem zérus összegű játékok. A normál formájú játékok leggyorsabb megadási módja a kifizetési mátrix.

A rendszer működésének megértéséhez először néhány ejtsünk szót a fogolydilemmáról. Ennek a játéknak sokfajta változata létezik. Az alapötlet az, hogy két, egymástól elkülönített, bünténnel gyanúsított fogoly van bezárva külön börtöncellába. Mindkettejüknek ugyanazok a lehetőségei: ha egyikőjük vallomást tesz a másik ellen, akkor szabadon engedik, míg a másik fogoly 10 évet kap. Ha egyikőjük sem tesz vallomást, 6 hónapot kapnak, ha mindketten vallomást tesznek, 6 évet kapnak. A foglyok nem kommunikálhatnak egymással, nem tudnak együttműködni, ez egy nem kooperatív játék. Itt tehát a büntetesként kapott időt lehet úgy felfogni, mint egyfajta negatív hasznosságot és ezt szeretnénk minimalizálni. Az itt felvázolt játék kifizetési mátrixát az 1. táblázat mutatja (egy cellában az első szám az 1. játékos kifizetése (hasznossága) míg a második szám a 2. játékosé).

A játék általánosítása abban különbözik az eredeti játéktól, hogy a kifizetések értékeire különféle korlátozásokot és szabályokat definiáltak. Ennek alapján sokféle különböző fogolydilemma játékot lehet felírni, amelyek teljesítik ezeket a szabályokat. Ennek a részleteivel nem foglalkozunk.

Az általunk definiált együttműködési rendszerben a csomópontok viselkedését egy – a fentihez hasonló – fogolydilemma játék modellezi. A játékban azonban a felek nem ugyanolyanok, mivel itt a hálózatban kérésekről és kérések kiszolgálásáról, illetve továbbításáról van szó. Ez azt jelenti, hogy egy interakció során mindig lesz egy kliens csomópont és egy szerver csomópont. A kliens kezdeményezi a kérést a szerver felé. Ezt a megközelítést aszimmetrikus fogolydilemmának is hívják. A szimuláció során használt kifizetési mátrixot a 2. táblázat tartalmazza. Ez a mátrix megegyezik a már előbb említett publikációban alkalmazottal.

1. táblázat
A klasszikus fogolydilemma játék

		2. játékos	
		Hallgat	Vall
1. játékos	Hallgat	-0.5 / -0.5	-10 / 0
	Vall	0 / -10	-6 / -6

2. táblázat
A csomópontok által játszott játék kifizetési mátrixa

		Szerver játékos	
		Szolgáltat	Figyelmet kívül hagyja
Kliens játékos	Szolgáltatást kér	7 / -1	0 / 0
	Nem kér szolgáltatást	0 / 0	0 / 0

A táblázatban lévő számok az egyes játékosok hasznosságát, kifizetését jelentik. Ezt a játékot sokszor játékosok egymással a hálózat szereplői, s az így kapott pontszámokat gyűjtik. Ez azt jelenti, hogy ha egy csomópont egy szolgáltatást kér egy másik csomóponttól, akkor két eset történhet: vagy kiszolgálja a csomópont a kérő csomópontot, ez esetben a szerver csomópont -1 pontot kap, a kliens pedig 7 pontot, vagy nem szolgálja ki, ebben az esetben mindkettő 0 pontot kapnak.

A játékosoknak háromfajta stratégiája lehet: mindig együttműködő, sosem együttműködő és viszonzó. Az első stratégia azt jelenti, hogy minden hozzá érkező kérést feltétel nélkül kiszolgál a csomópont. A második stratégia ennek pont az ellentéte; sosem szolgálja ki a csomópont a kérést. A harmadik stratégiában játszanak szerepet a csomópont által tárolt információk a szolgáltatást kérő csomópont viselkedéséről. Ennek a stratégiának a használatakor a csomópont ezek alapján az információk alapján dönti el, hogy kiszolgálja-e a kérő csomópontot vagy sem.

A folyamat során, játékról játékra gyűjtik (vagy veszítik el) a csomópontok az összpontszámukat. Minden csomópont statisztikát készít arról, hogy melyik stratégia használata volt számára a legjövödelmezőbb. Ha egy csomópont úgy látja, hogy egy másik stratégia jövödelmezőbb számára, mint amit jelenleg használ, akkor stratégiát vált. Ebben az esetben a csomópont azonosítója is megváltozik, vagyis a csomópontról mások által tárolt információk is érvényüket veszítik. (Kivétel ez alól az áruló csomópont, amely akkor is megtartja az azonosítóját, ha stratégiát váltott. Erről később lesz szó.)

Egy csomópont nem csak akkor növelheti a hasznosságát, ha szolgáltatást nyújt, hanem akkor is, ha szolgáltatást továbbít. A szolgáltatás-továbbítás ugyanolyan súlyú szolgáltatásnak számít, mintha azt közvetlenül a csomópont nyújtaná. A szolgáltatást kérő csomópont számára gyakorlatilag átlátszó, hogy ki nyújtja a szolgáltatást. Így valósul meg a szolgáltatások továbbítása, amely egy útvonalirányítási mechanizmuson keresztül működik. A csomópontok ismerik azokat az útvonalakat, amelyekeken keresztül eljuthatnak más csomópontokhoz, ezáltal tudják, hogy ha egy adott csomóponttól kérnek szolgáltatást, akkor melyik szomszédjukhoz kell ezt a kérést először továbbítaniuk.

Felmerül a kérdés: miért szolgálna ki egy szerver csomópont egy kliens kérését, ha ez neki negatív pontszámot jelent? A válasz erre a már ismertetett tárolt élettörténet működésében rejlik. Ha egy csomópont nem szolgál ki más csomópontokat, akkor előbb-utóbb az ő kéréseit sem fogják kiszolgálni, amiből az következik, hogy nem tud pontszámot gyűjteni, hosszú távon tehát ez a működésmód nem fogja megérni neki. Ez persze attól is függ, hogy ez a kiszolgáló csomópont milyen más csomópontokkal kerül kapcsolatba, mert majd látni fogjuk, hogy bizonyos esetben előfordulhat, hogy egy csomópont a nem együttműködő stratégiát részesíti előnyben a többi stratégiával szemben.

Egy újabb fajta csomópont is be lett vezetve, az áruló csomópont, amely működése különbözik az eddigi tár-

gyalt csomópontokétól. Ez a csomópont úgy működik, hogy miután stratégiát váltott, az azonosítója megmarad és érvényben maradnak a róla tárolt információk a többi csomópontban. Egy ilyen csomópont elvben például megtehetné azt, hogy a szimuláció első felében együttműködik mindenkivel, majd a második felében senkinek a kérését nem szolgálja ki, mert az elején gyűjtött sok pont miatt az ő kérését úgyis nagy valószínűséggel ki fogják szolgálni más, viszonzó stratégiát folytató csomópontok. A rendszer működését ilyen csomópontok jelenlétével is vizsgáltuk.

A rendszer működése során a csomópontok információkat tárolnak arról is, hogy milyen más csomópontokkal kerültek eddig kapcsolatba. A csomópontok emlékeznek rá, hogy mely kliensek kértek tőlük szolgáltatást. Ezt az emlékezetét felhasználják, amikor ők kerülnek kliens szerepkörbe és azoktól a csomópontoktól nagyobb valószínűséggel kérnek szolgáltatást, akik tőlük is kértek már szolgáltatást. Ebből következően egy csomópont viszonzni tudja, ha őt kiszolgálták, azáltal, hogy ő is kiszolgálja a társát. Emiatt az alapelv miatt a hálózat viselkedése konvergál egy viszonylag stabil állapot felé a szimuláció során, s bár a szimuláció utolsó szakaszaiban is történnek még stratégiaváltások, de drasztikus átpártolás már nem történik, stabilizálódik a rendszer.

3. Szimuláció, eredmények

A kidolgozott rendszer vizsgálata szimulációval történt. A szimuláció körökre oszlott, minden egyes körben minden csomópont szolgáltatást kért valamely más csomóponttól, vagyis a fentebb ismertetett játékot játszásk. Ez a játék végighalad a teljes kiszolgálási útvonalon, vagyis azon az útvonalon, amelyen a szolgáltatás továbbítása történik a kliens és a szerver csomópont között. Egy szimuláció 1000 körből áll. A rendszer működésének vizsgálata különféle esetekre történt. A más csomópontokról tárolt élettörténet tárolását módját rövid és hosszútávon is megvizsgáltuk. Ha csak rövid ideig tároljuk ezeket az információkat, az azt jelenti, hogy egy csomópont hamar „tisztára tudja mosni” magát, megbocsátó a rendszer, de ennek később kárát is láthatják más csomópontok. Hosszútávú élettörténet tárolásához viszont nagyobb memória szükséges és hatékony keresést is implementálni kellene benne, hogy megfelelően működjön. Ezt a két esetet megosztott és egyedileg tárolt élettörténet esetén is megvizsgáltuk.

A szimuláció során egy 100 csomópontból álló hálózat működését vizsgáltuk. A csomópontok elhelyezkedése véletlenszerű volt, így a kialakult topológia is véletlenszerű. Azt vizsgáltuk, hogy az egyes csomópontoknak mely stratégiát éri meg leginkább használni. Ez sok mindentől függhet, például a csomópont elhelyezkedésétől a hálózatban (sok csomópont veszi-e körül, vagy kevés) illetve attól is, hogy az azt körülvevő csomópontok milyen stratégiával játszanak. A szimuláció kezdetén az egyes stratégiák egyenlő arányban, véletlen-

szerűen oszlottak meg a csomópontok között, tehát a csomópontok 1/3 része kezdetben együttműködő volt, 1/3 része nem együttműködő, 1/3 része pedig a viszonzó stratégiát játszotta.

Általánosságban elmondható, hogy a legtöbb esetben az együttműködő és a viszonzó stratégia volt a legjövődélmezőbb. Bizonyos esetekben azonban egyes hálózatrészekben jobban elterjedt a nem együttműködő viselkedés. Különbözőképpen viselkedett a rendszer, ha megengedtük az áruló csomópontok jelenlétét is, ezek arányát 25%-ra állítottuk be.

A szimuláció során a hálózat egy statikus állapot felé közelített. Ez azt jelenti, hogy a csomópontok nagy részének már nem volt érdeke, hogy stratégiát változtasson, a stratégiaváltások gyakorisága a teljes hálózatra nézve csökkent. A grafikonokon csak az látszik, hogy egy adott stratégiát hány csomópont használ az adott szimulációs körben, de az nem, hogy melyek ezek a csomópontok, így az nem derül ki, hogy nagyjából ugyanazok a csomópontok használták-e a stratégiát, vagy más csomópontok. Ennek szemléltetésére minden egyes szimulációs körben készítettünk egy térképet a hálózatról, amely különböző színnel jelöli a különböző stratégiákat.

Ezeket a térképeket megvizsgálva azt állapítottuk meg, hogy csak a szimuláció elején történik tömeges

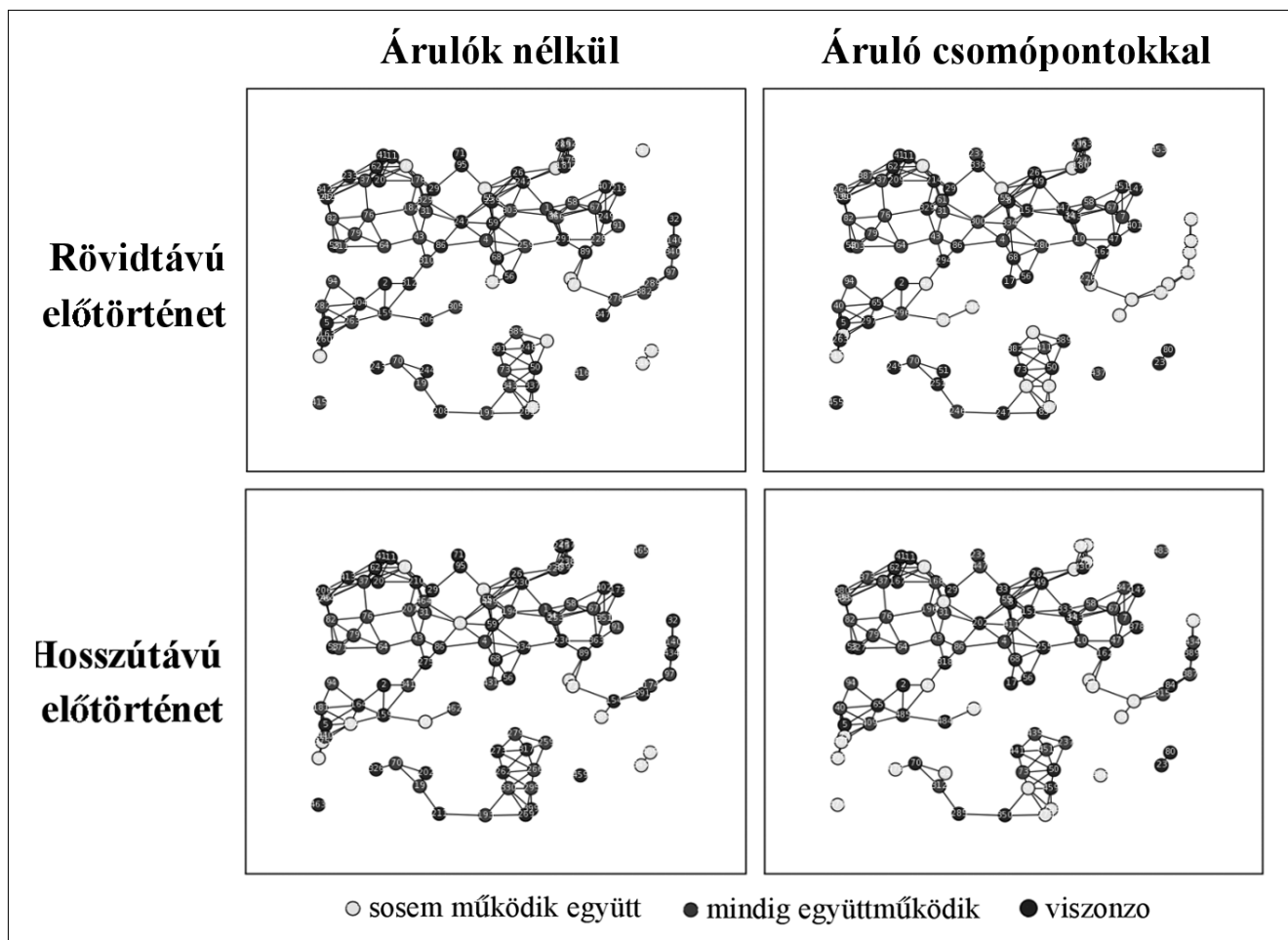
stratégiaváltás, a későbbi szakaszokban már lényegi változás nem megy végbe. Ennek a folyamatnak a vizsgálatával lehetőség nyílt arra is, hogy felderítsük a stratégiák eloszlásának a topológián belüli helytől való függetlenségét.

Az 1. ábra a szimuláció végére kialakult térképet szemlélteti különféle szimulációs forgatókönyvek esetén. Jól látható, hogy áruló csomópontok jelenlétekor több a nem együttműködő csomópont, mintha csak normál működésű csomópontok lettek volna a hálózatban. Érdeemes megfigyelni, hogy a rövidtávú előtörténet használatakor és áruló csomópontok jelenlétekor az ábra jobb oldalán levő „nyúlványban” minden csomópont el-lenszenvesen viselkedett.

Ez a hatás tehát az egész hálózatrészen elterjedt, ez a viselkedés pedig az áruló csomópontok jelenlétekor tapasztalható. Azokban a hálózatrészekben, ahol viszonylag sűrűn helyezkednek el a csomópontok, nagyjából ugyanolyan viselkedést láthatunk minden esetben, vannak azonban területek, amelyek az áruló csomópontok jelenléte miatt kevésbé együttműködővé válnak.

A 2. ábrán az egyes stratégiát követő csomópontok eloszlása látható a szimuláció során. Látható, hogy az áruló csomópontok jelenléte esetén jobban ingadozik az eloszlás, gyakrabban változtatnak stratégiát a csomó-

1. ábra A csomópontok stratégiák szerinti eloszlása a topológia gráfban



pontok. Ez a hatás a hosszútávú és rövidtávú előtörténeteket alkalmazó megoldások összehasonlításakor is látható. Az előző ábrával összhangban látható, hogy a szimuláció végén az egyes szimulációs esetekben a csomópontok mekkora hányada követte az egyik vagy másik stratégiát. Az áruló csomópontok esetében jól látható a különbség, a szimuláció végére ténylegesen több csomópont választotta azt, hogy sosem kooperál más csomópontokkal.

4. Összefoglalás

Összefoglalásként elmondható, hogy a kidolgozott keretrendszer képes ösztönözni a csomópontokat az önkéntes együttműködésére. Bizonyos esetekben ez az együttműködés magasfokú és kevés a nem együttműködő csomópont, más esetekben a hálózat egyes részei nem együttműködő csoportokat alkotnak.

Többféle módon lehet folytatni a rendszer vizsgálatát, például bele lehet vinni, hogy a csomópontok ne csak egyhelyben álljanak, hanem helyet is változtathassanak. Ebben az esetben természetesen gondoskodni kell az útvonalirányítás megfelelő működéséről is, hogy a gyorsan változó hálózatban a csomópontok továbbra is megtalálják egymást. Ebben az irányban is történtek vizsgálatok, azonban a hálózat topológiájának kismértékű, de rendszeres változtatása is erősen érezte a hatását a csomópontok által választott stratégiák eloszlására.

ban. Ez azt jelenti, hogy a hasonló grafikonok ábrázolásából nem lehet sok mindenre következtetni. Ennek az esetnek a vizsgálata is még további kutatás tárgyát képezi.

Irodalom

- [1] N. Niebert, H. Flinck, R. Hancock, H. Karl, C. Prehofer, Ambient Networks – Research for Communication Networks Beyond 3G, 2004.
- [2] Kovács Balázs, Simon Csaba, “Ambient” hálózatok, 2005.
- [3] Mark Burgess, An Approach to Understanding Policy Based on Autonomy and Voluntary Co-operation, Lecture Notes on Computer Science, 2005.
- [4] Mark Burgess and Siri Fagernes, Pervasive Computer Management: A Model of Network Policy with Local Autonomy, IEEE Transactions on Networking, 1999.
- [5] Michalel Feldman, Kevin Lai, Ion Stoica, John Chuang, Robust Incentive Techniques for Peer-to-Peer Networks, ACM Conference on Electronic Commerce, June 2004.
- [6] Philippe Golle, Kevin Leyton-Brown, Ilya Mironov, Incentives for sharing in peer-to-peer networks, 3rd ACM conference on Electronic Commerce, Tampa, Florida, USA, 2001.

2. ábra Az egyes stratégiákat használó csomópontok számának alakulása a szimuláció során

