



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Távközlési és Médiainformaticai Tanszék

Árazási, ösztönző és torlódáskezelési mechanizmusok heterogén hálózatokban

Biczók Gergely

Tézisfüzet

Konzulens:

Dr. Trinh Anh Tuan

*Nagysebességű Hálózatok Laboratóriuma
Távközlési és Médiainformaticai Tanszék
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*

Budapest, 2010.

1. Bevezetés

Az Internet következő generációjának megtervezése összetett feladat. Amit régebben egy tisztán mérnöki feladatként kezeltünk, napjainkra interdiszciplinárissá vált: mérnökök, közgazdászok, szociológusok és jogászok dolgoznak együtt azon, hogy megalkossák a jövő hálózatát. A teljesítmény aspektus máig nagyon fontos – gondoljunk csak a torlódáskezelésre –, hiszen a sávszélesség-igényes és valósidejű alkalmazások egyre népszerűbbek. Ezen kívül viszont egyre inkább teret hódítanak a társadalmi-gazdasági alapokon nyugvó megoldások [1].

Másrészt, a vezetékes és vezeték nélküli Internet több szintjének meghatározó tulajdonsága a heterogenitás. Ahogy a hozzáférési technológiák, hálózati végpontok és a felhasználók maguk is egyre sokfélebbek, úgy lesz mindinkább meghatározó ez a sokszínűség a jövő hálózatában. Ennek következtében a többszintű heterogenitás megértése, legyőzése vagy éppen kihasználása alapvető kutatási cél.

A heterogén hálózatokat különböző operátorok üzemeltetik: internetszolgáltatók (ISP), közösségi vezeték nélküli operátorok, mikrooperátorok (maguk a végfelhasználók), mobilszolgáltatók, stb. Ezeknek az operátoroknak sokféle kihívással kell szembenézniük: mind a társadalmi-gazdasági, mind a technológiai területen. Ez a disszertáció a szóban forgó problémák egy részhalmazára koncentrálna. Először, számszerűsíti a felhasználói viselkedés hatását az Internet-hozzáférés árazására, majd egy olyan új árazási mechanizmust mutat be, amelyet a felhasználók befolyásolhatnak. Másodsor, olyan gazdasági ösztönző struktúrákat mutat be, és vizsgál, melyek lehetővé teszik egy globális, közösségi, vezeték nélküli hálózat kialakulását. Harmadsor, a nagysebességű TCP változatok mobilhálózatokban való viselkedését vizsgálja, és javasol egy új, hatékony módszert, aminek segítségével a mobil- és tartalomszolgáltatók hatékony torlódáskezelést valósíthatnak meg.

A kereskedelmi internetszolgáltatók megjelenésétől, a dotcom robbanáson keresztül, napjaink szolgáltatás-orientált, multimédiás hálózatáig, az Internet evolúciójának legfontosabb hajtóereje a nyereség realizálása. Ehhez elengedhetetlen az Internet gazdasági folyamatainak alapos megértése [2]. A különböző internetszolgáltatók gazdasági kölcsönhatásainak modellezése kiemelt helyet foglal el a szakirodalomban, legtöbbször játékelméleti analízis formájában [3] [4] [5]. Az említett munkák komplex rendszereket állítanak fel (és vizsgálnak) a hierarchia különböző szintjein álló szolgáltatók interakcióiról, azonban mindegyik túlságosan leegyszerűsített felhasználói modellel dolgozik: a végfelhasználók egyszerűen a legolcsóbb szolgáltatótól vásárolnak. Ez a feltételezés bizonyos, speciális esetekben nem okoz problémát, azonban nagy mértékben félrevezető lehet, amennyiben hűségesebb felhasználói szegmensek vannak jelen a piacon. Másrészt, a közgazdászok jól ismerik a márkahűség fogalmát, ami jelen van a valós piacokon [6]. Egyszerűen megfogalmazva egy felhasználó hűségesebb egy márkához/szolgáltatóhoz, ha az adott márka/szolgáltató termékét vásárolja más, elérhető, olcsóbb, egyenértékű termék jelenléte esetén is. Ha a felhasználói hűséget figyelembe vesszük az Internet-hozzáférés árazásánál, a szolgáltatók nagyobb profitra tehetnek szert. Ezen kívül, a néhány éve zajló hálózatsemlegességi vita [7] változásokat kezd indukálni az Internet ökoszisztémájának árazási szokásaiban [8]. Az infrastruktúrával rendelkező internetszolgáltatók fizettetni akarnak a tartalomszolgáltatókkal az általuk generált forgalom elvezetéséért, valamint korlátozni kívánják a felhasználók által forgalmazható adatmennyiséget. Ezek az elképzelések természetesen kedvezőek az internetszolgáltatók számára, azonban jórészt elfogadhatatlanok az egyéb szereplők szemszögéből. Ehhez hozzájárul még a globális gazdasági válság által okozott bizonytalanság mind az operátorok, mind az egyszerű felhasználók oldaláról. Ebben a helyzetben nagyon időszerű célkitűzés egy olyan árazási mechanizmus kidolgozása, amely az ISP-k számára tervezhető bevételt, ugyanakkor a felhasználók számára költségcsökkentési lehetőséget nyújt.

Napjainkban egyre népszerűbbek a vezeték nélküli, közösségi hálózatok. A szakemberek egy része úgy tekint erre koncepcióra, mint egy érdekes, de kevésbé életképes alternatívára a tradicionális internetszolgáltató-centrikus modell mellett; mások úgy gondolják, hogy ez az új koncepció képes

teljesen megváltoztatni az Internet kommunikációs mintáit. Ez utóbbi csoport négy forradalmi aspektust nevez meg a vezeték nélküli, közösségi hálózatok erényeként. Először is, a felhasználók megoszthatják vagy áruba bocsájthatják a saját erőforrásaikat (pl. szélessávú kapcsolatukat), így a történelmi különbség a hálózati és végberendezések között eltűnhet. Másodsor, a vezeték nélküliség, az emberi mobilitás [19] és a mikrooperátorok megjelenése igényt teremt az olyan kommunikációs protokollokra, amelyek természetesen képesek kezelni a szakadozó összeköttetéseket, az opportunisztikus csomagtovábbítást és a problémamentes roamingot. Harmadsor, a felhasználók által nyújtott szolgáltatások megkövetelik a szokásos bizalmi kapcsolatok átalakítását: bizalmi hálók kiépítése válik szükségessé a kooperatív viselkedés és a hálózat növekedésének érdekében. Végül, rendkívül gyorsá válhat az új technológiák adoptációja, hiszen az adoptálók a felhasználók maguk. A felhasználók erőforrás-megosztásán alapuló, vezeték nélküli kommunikációs technológiát ezek az újszerű tulajdonságok és képességek tehetik a jövő Internetének alapkövévé. A létező szakirodalom főleg a felhasználók részvételének elősegítésével és közösségi árázással foglalkozik [16] [17] [18]. Habár a FON és a közösségi hálózatok általában nagyon ígéretesek, valódi sikerük a nagy körültekintéssel megtervezett gazdasági ösztönző mechanizmusokon múlik, melyek kiterjednek felhasználóra és internetszolgáltatóra egyaránt. Ezek a hálózatok a felhasználók erőforrás megosztásán alapulnak, de globálissá csak az ISP-k egyidejű támogatásával válhatnak.

Ahogy egyre inkább terjednek a vezeték nélküli mobil- és közösségi hálózatok, különös tekintettel a globális hálózatba történő integrációjukra, az Internet eredendő heterogenitása új magasságokba szökik. A nagysebességű vezeték nélküli hálózatok, pl. UMTS, HSPA, LTE [21], WiMAX, mára kiépítésre kerültek, valódi szélessávú elérést nyújtva a mobil felhasználóknak. Természetesen a vezetékes hálózatokban már egy évtizede elérték és túlszárnyalták a szóbanforgó adatsebességeket; olyannyira, hogy ez jelentős kutatási rohamot váltott ki a szállítási protokollok (különösképpen a domináns TCP) nagysebességűvé alakításának területén [22] [23] [24] [25]. Ezzel párhuzamosan sok szakember foglalkozott a TCP felkészítésével a vezeték nélküli környezetre is [26] [27][28][29][30]. Mivel az új, szélessávú mobilhálózatokat szigetszerűen építik ki, a különböző technológiák egy rendszert alkotnak, ezáltal a technológiák közti hívásátadás (handover) is gyakorivá válik. Egy második és egy negyedik generációs mobilhálózat közötti handover akár több nagyságrenddel nagyobb rendelkezésre álló kapacitást is eredményezhet: ez jelentősen befolyásolhatja számos alkalmazás működését, például a TCP feletti valós idejű multimédia átvitelt [31] [32]. Mindezek miatt fontos, hogy megértsük a különböző TCP változatok korlátait és új, hatékony megoldást keressünk, hiszen a nem megfelelő szolgáltatási minőség elriaszthatja a potenciális felhasználókat a mobilinternet használatától. Az új mechanizmust egyszerűnek, ténylegesen implementálhatónak, kizárólag szerver-oldalinak, és az „end-to-end” koncepciót követőnek érdemes tervezni, hogy gyakorlatban is alkalmazható legyen.

2. Kutatási célkitűzések

Az alábbi három kutatási célt fogalmaztam meg.

- (1) Modellezni és analizálni a felhasználói viselkedés hatását az Internet-hozzáférés árázására oligopol internetszolgáltatási piacon. Olyan új árázási mechanizmust kidolgozni, mely lehetővé teszi egyfelől az internetszolgáltatók számára a bevételek megtervezését, másfelől a felhasználók számára az implementált árázási modell közvetlen befolyásolását.
- (2) Modellezni és megérteni a vezeték nélküli közösségi hálózatokban fellépő gazdasági kölcsönhatásokat. Megmutatni, hogy a megfelelően megtervezett és paraméterezett ösztönző mechanizmusok biztosítják mind a felhasználók, mind a szolgáltatók nyereségességét, ezáltal lehetővé téve egy valóban globális, vezeték nélküli közösség kialakulását.

- (3) Meghatározni a létező TCP változatok korlátait hirtelen kapacitás-növekedés esetén. Új, hatékony, szabad kapacitás érzékelő mechanizmust tervezni.

3. Módszertan

Az 1. téziscsoportban bemutatott eredményeket főleg játékelmélet segítségével vezettem le. A felhasználói hűség hatását az Internet-hozzáférés árazására nemkooperatív játékelmélet alkalmazásával határoztam meg, szűkebben az egyszerű (Nash-egyensúly) és ismételt (részjáték-tökéletes egyensúly) játékok alkalmazásával. Az általam javasolt, új árazási mechanizmus tulajdonságainak leírásához a kooperatív játékelmélet elemeit használtam (átruházható kifizetés, ψ -stabil párok, Shapley-érték).

A globális, vezeték nélküli közösségi hálózatokban fellépő gazdasági kölcsönhatásokat nemkooperatív (Stackelberg-játék, Nash-egyensúly, részjáték-tökéletes egyensúly, fordított indukció) és evolúciós (fitness, mutáció, evolúciós stabilitás) játékelmélet segítségével vizsgáltam (2. téziscsoport). A felhasználók földrajzi relevanciáját valószínűség-elmélet felhasználásával modelleztem. A részletes evolúciós modell kiértékelését Matlab szimulációkkal valósítottam meg, figyelembe véve a felhasználók egyéni mozgásmintáját és differenciált kifizetéseiket. A szimulációk bemenetei valós adatsorok voltak, különös tekintettel a vezeték nélküli hozzáférési pontok GPS koordinátáira, a népsűrűsége és a felhasználók mobilitására.

A 3. téziscsoportban szereplő fő eredmények teszhálózatban végzett mérések alapján születtek, melyek során működő, kernelszintű Linux-implementációkat használtam. A 3.2. tézisben megfogalmazott alsó korlátot és a paraméter finomhangolásának módszerét matematikai analízis segítségével határoztam meg. A bonyolultabb topológián és háttérforgalommal végzett átbocsájtóképesség és fairness vizsgálatokhoz ns-2 szimulációkat futtattam, a valós implementációval megegyező programkóddal.

4. Új eredmények

Eredményeim három téziscsoportba rendezhetők.

1. téziscsoport: A felhasználói viselkedés hatása az Internet-hozzáférés árazására [J2] [C5] [C6]

Ebben a téziscsoportban megvizsgáltam a felhasználói hűség hatását az internetszolgáltatók árversenyére egy játékelméleti keretrendszer segítségével. Megmutattam, hogy a hűség együttműködésre ösztönzi a szolgáltatókat, és befolyásolja az árak maximális szintjét. Ezenkívül javasoltam egy új árazási mechanizmust, amelynek segítségével a felhasználók explicit módon befolyásolhatják az internetszolgáltatók által implementált tarifákat.

1.1. definíció (Elemi játék felhasználói hűséggel, G_0). *Vegyünk egy piacot két helyi ISP-vel, amelyek árban versenyeznek rögzített számú vásárlóért. A vásárlók 3 partícióra különülnek el a márkahűségük alapján: l_1 (l_2) darab felhasználó hűséges ISP_1 -hez (ISP_2 -höz), amennyiben az ár α alatt marad, különben nem vásárolnak. Az utolsó csoportban n opportunistá felhasználó van, akik mindig a legolcsóbb szolgáltatótól vásárolnak, amennyiben az ár α alatt marad. Ha a két szolgáltató azonos árat határoz meg ($p_1 = p_2 < \alpha$), akkor az opportunisták egyenlő arányban oszlanak meg. A játék menete a következő: a szolgáltatók egyidőben bejelentik árukat, majd a vásárlók egyidőben meghozzák döntésüket.*

A játék alapötletét Deneckere munkája adta [10]. FIGyeljük meg, hogy bár az $l_1 > 0$, $l_2 > 0$ és $\alpha > 0$ értékek mindenki által ismertek, egy adott vásárló hovatartozását nem lehet meghatározni,

így az árdiszkrimináció nem lehetséges. Az egyszerűség kedvéért feltesszük továbbá, hogy mindkét szolgáltató elemi költsége nulla, és ISP_1 rendelkezik a nagyobb hűséges bázissal, $l_1 > l_2$.

A fentiek alapján, és mivel $p_1 \leq \alpha$, valamint $p_2 \leq \alpha$, ISP_1 kifizetése a következőképpen írható fel:

$$\pi_1(p_1, p_2) = \begin{cases} (l_1 + n)p_1 & p_1 < p_2 \\ (l_1 + 0.5n)p_1 & p_1 = p_2 \\ l_1 p_1 & p_1 > p_2 \end{cases} \quad (1)$$

Megmutatható (ld. [10] és [11]), hogy ennek a játéknak léteznek, és egyértelmű a kevert stratégiákon értelmezett Nash-egyensúlya. Az egyensúlyi kifizetések ebben az esetben: $\pi_1 = l_1 \alpha$ és $\pi_2 = \frac{l_2 + n}{l_1 + n} l_1 \alpha$.

1.1. tézis (Az ismételt játék egyensúlya). *Legyen G_r a G_0 játék végtelenszer ismételt kiterjesztése. Megmutattam, hogy a „Állítsd az árat α -ra (tűrészhatár), amíg a másik játékos el nem tér ettől, majd játssz G_0 egyensúlya szerint” stratégiaprofil részjáték-tökéletes Nash egyensúlya G_r -nek, amennyiben $n > l_1 - 2l_2$ és*

$$\Theta > \frac{1}{2} + \frac{l_1 - \frac{n+l_1}{n+l_2} l_2}{2n}$$

ahol $\Theta < 1$ a jövőbeli kifizetések diszkontáló faktora.

A tézis jelentősége abban áll, hogy megmutatja: mindkét szolgáltató számára megérheti együttműködni egy ilyen piacon. Figyeljük meg, hogy sok valós Internet-hozzáférési piacon csak két szolgáltató közül lehet választani (pl. USA).

Az optimális döntés a feltételként megadott egyenlőtlenségek teljesülésén múlik. ISP_1 (több hűséges felhasználó) számára mindig megéri kooperálni és elérni a részjáték-tökéletességet. ISP_2 esetében ez a hűséges felhasználók számának függvénye: ha $n > l_1 - 2l_2$, együttműködik, ha nem akkor a G_0 egyensúlya szerint játszik. Ez utóbbi esetben (a fenyegetés miatt) ISP_1 is ugyanúgy fog tenni a második körtől kezdve.

1.2. definíció (Elemi játék (több tűrészhatár, inelasztikus), G_1). *Származtassuk G_1 -et G_0 -ból úgy, hogy két tűrészhatárt vezetünk be: α_1 -et az opportunistáknak, és α_2 -t a hűségeseknek ($\alpha_1 < \alpha_2$). A keresleti függvény így a következő:*

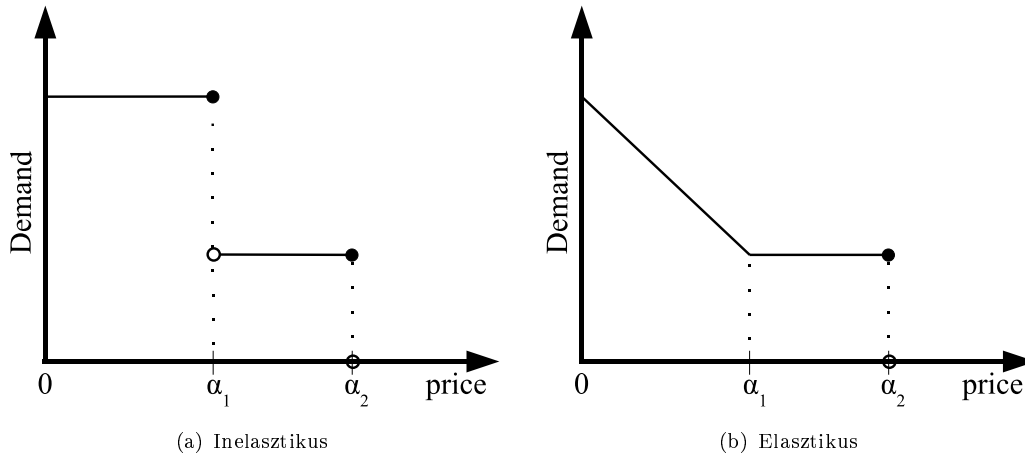
$$D(p) = \begin{cases} n + \sum_{j=1}^N l_j & 0 \leq p \leq \alpha_1 \\ \sum_{j=1}^N l_j & \alpha_1 < p \leq \alpha_2 \\ 0 & p > \alpha_2 \end{cases} \quad (2)$$

ahol p a számlázott összeg és N a piacon versenyző szolgáltatók száma. Innen az ISP_i -hez tartozó $\Pi_i(p_i)$ kifizetőfüggvény:

$$\Pi_i(p) = \begin{cases} p_i \left(l_i + \frac{n}{m} \right) & p_i = \min_j p_j \leq \alpha_1 \\ p_i l_i & \min_j p_j < p_i \leq \alpha_2 \\ 0 & p_i > \alpha_2 \end{cases} \quad (3)$$

ahol m az azonos minimum árat számlázó ISP -k száma, akik egyenlően elosztják egymás között az opportunistá vásárlókat.

A G_1 játék azt modellezi, hogy a hűséges felhasználóknak magasabb a tűrészhatára. A kereslet inelasztikussága egy mindenképpen szükséges termékre utal: az Internet-hozzáférés ilyen termék a fejlett országokban.



1. ábra. Keresleti függvények G_1 -hez és G_2 -höz

1.3. definíció (Elemi játék (több tőrésathár, elasztikus), G_2). Származtassuk G_2 -t G_1 -ből a keresleti függvény lineárisra cserélésével:

$$D(p) = \begin{cases} n \frac{\alpha_1 - p}{\alpha_1} + \sum_{j=1}^N l_j & 0 \leq p \leq \alpha_1 \\ \sum_{j=1}^N l_j & \alpha_1 < p \leq \alpha_2 \\ 0 & p > \alpha_2 \end{cases} \quad (4)$$

Innen az ISP_i -hez tartozó $\Pi_i(p_i)$ kifizetőfüggvény:

$$\Pi_i(p) = \begin{cases} p_i \left(l_i + n \frac{\alpha_1 - p_i}{\alpha_1 m} \right) & p_i = \min_j p_j \leq \alpha_1 \\ p_i l_i & \min_j p_j < p_i \leq \alpha_2 \text{ or} \\ 0 & \alpha_1 < p_i \leq \alpha_2 \text{ or} \\ & p_i > \alpha_2 \end{cases} \quad (5)$$

ahol m az azonos minimum árat számlázó ISP -k száma.

Megfigyelhető, hogy G_2 keresleti függvénye árfüggő, azaz elasztikus. Ez a fejlődő régókban modellezi jól a keresletet: itt az Internet-hozzáférés luxusjóságnak számít. A két különböző keresleti függvényt mutatja a 1. ábra.

1.2. tézis (G_1 és G_2 egyensúlya). Megmutattam, hogy

(i) G_1 -nek két játékkal a következők a lehetséges Nash-egyensúlyai:

- (a) $(p_1, p_2) = (\alpha_2, \alpha_2)$ Nash-egyensúly a tiszta stratégiák halmazán, ha $A < B_1$ és $A < B_2$;
- (b) $(p_1, p_2) = (\alpha_2, \alpha_1)$ Nash-egyensúly a tiszta stratégiák halmazán, ha $A < B_1$ és $A > B_2$;
- (c) $(p_1, p_2) = (\alpha_1, \alpha_2)$ Nash-egyensúly a tiszta stratégiák halmazán, ha $A > B_1$ és $A < B_2$;
- (d) Nem létezik Nash-egyensúly a tiszta stratégiák halmazán, ha $A > B_1$ és $A > B_2$.

ahol $A = n\alpha_1$ és $B_i = (\alpha_2 - \alpha_1)l_i$, $i = 1, 2$;

(ii) G_2 -nek két játékkal a következők a lehetséges Nash-egyensúlyai:

- (a) $(p_1, p_2) = (\alpha_2, \alpha_2)$ Nash-egyensúly a tiszta stratégiák halmazán, ha $A' < B'_1$ és $A' < B'_2$;
- (b) $(p_1, p_2) = (\alpha_2, p_{max})$ Nash-egyensúly a tiszta stratégiák halmazán, ha $A' < B'_1$ és $A' > B'_2$;
- (c) $(p_1, p_2) = (p_{max}, \alpha_2)$ Nash-egyensúly a tiszta stratégiák halmazán, ha $A' > B'_1$ és $A' < B'_2$;
- (d) Nem létezik Nash-egyensúly a tiszta stratégiák halmazán, ha $A' > B'_1$ és $A' > B'_2$.

ahol $p_{max} = \operatorname{argmax}_{p \in [0, \alpha_1]} p_i \left(l_i + n \frac{\alpha_1 - p_i}{\alpha_1 m} \right)$, $A' = n \frac{\alpha_1 - p}{\alpha_1} p_{max}$ és $B'_i = (\alpha_2 - p_{max}) l_i$, $i = 1, 2$;

(iii) a fenti eredmények általánosíthatók tetszőleges számú játékosra (szolgáltatóra) és a legtöbb előforduló keresleti függvényre.

Az 1.2. tézis fő eredménye szerint, ha egy szolgáltatónak sok hűséges felhasználója van – akiknek elég magas a ár-tűrőhatára –, akkor nem kell árháborút vívnia. Ellenkezőleg, az ISP abban érdekelt, hogy az árat a lehető legmagasabbra állítsa be. Megfigyelhető, hogy ez igaz mind fejlett, mind fejlődő országok esetén. Mindemellett egy mostanában megjelent felmérés szerint [12] a legnagyobb hűséges bázissal rendelkező internetszolgáltatók realizálják a legmagasabb profitot, vagyis minden ISP érdekelt a felhasználói hűség kialakításában.

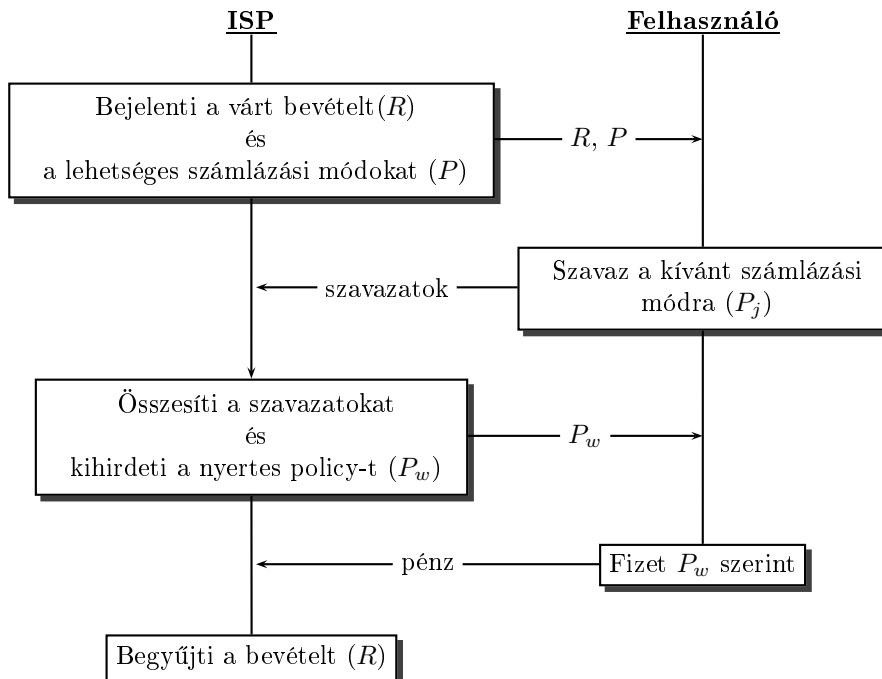
Látható, hogy a felhasználók viselkedése miképpen befolyásolhatja az internetszolgáltatók árképzési szokásait *indirekt* módon. A következőkben egy olyan új árazási mechanizmust mutatok be, amely lehetővé teszi, hogy a felhasználók *explicit* módon részt vegyenek az internetszolgáltatók árazási döntéseiben.

1.3. tézis (UIP: User-Influenced Pricing). *Kidolgoztam az UIP árazási mechanizmust, amely a szolgáltatók számára tervezhetővé teszi a bevételeket, ugyanakkor lehetőséget nyújt a felhasználóknak arra, hogy befolyásolják a szolgáltató árképzési döntéseit.*

Az UIP mechanizmust háromszereplős, kooperatív, többségi szavazási játékkal modelleztem, levezettem a játék karakterisztikus függvényét, az egyenúlyi megoldásokat (ψ -stabil párok formájában) és a különböző felhasználói csoportok várható költségét, tekintettel az összes lehetséges kimenetelre.

Az UIP (User-Influenced Pricing, felhasználók által befolyásolt árazás) mechanizmus folyamatábrája a 2. ábrán látható. Az első lépésben az internetszolgáltatónak meg kell becsülnie, hogy mennyi a várható bevétele a következő számlázási időszakban. Ezután bejelenti az összeget a felhasználóinak, a lehetséges számlázási módokkal együtt (a korlátlan, havidíjas és az adatforgalom-alapú módokat vesszük figyelembe). A következő lépésben a felhasználók szavaznak az általuk legkedvezőbbnek ítélt módra. A szavazás kötelező, a nem szavazó felhasználók büntetése a számukra legelőnytelenebb tarifa alkalmazása. Az ISP összesíti a szavazatokat, majd bejelenti a győztes számlázási módot. A szavazás alatt az egyes felhasználók szabadon befolyásolhatják egymást: anyagilag motiválhatják a másikat a kedvező szavazat érdekében. Végül, miután lejár a számlázási periódus, a közösség által megszavazott tarifa alapján történik a számlázás.

Az alkalmazott játékelméleti modell alapötlete az, hogy a felhasználók csoportokba oszthatók tarifa-preferenciájuk alapján, mely szorosan kötődik internetezési szokásaikhoz. A sok forgalmat generáló, „heavy” felhasználók (fájlmegosztás, online játékok, valós idejű multimédia) korlátlan adatmennyiséget tartalmazó havidíjat szeretnének, míg a kezdő, „light” felhasználók (böngészés, e-mail) forgalom-alapú tarifát preferálnak. A harmadik csoport a közepes forgalmat generáló, „medium” netezőkből áll (közösségi oldalak, néhány film letöltése), akik nagyjából indifferensek az alkalmazott tarifával kapcsolatban. Ez a három csoport három játékosként kerül modellezésre (1. játékos: „heavy”, 2. játékos: „medium”, 3. játékos: „light” felhasználók) [13].



2. ábra. Az UIP mechanizmus

1. táblázat. ψ -stabil párok a kiegyensúlyozott esetben

Ösztönző összeg	Mag (megoldás)	Koalíció
$0 < s_3^{\max} < s_1^{\max}$	$(s_1^{\max} - s_1, s_1, 0)$	$(\{12\}, \{3\})$
$0 < s_3^{\max} = s_1^{\max}$	$(0, s_1^{\max}, 0)$	$(\{12\}, \{3\})$ vagy $(\{1\}, \{23\})$
$0 < s_1^{\max} < s_3^{\max}$	$(0, s_3, s_3^{\max} - s_3)$	$(\{1\}, \{23\})$

Egy kiegyensúlyozott helyzetben, amikor egyik szélsőség sincs abszolút többségben, a játékot a „vesztegetések” döntik el: melyik csoport tud jobban hatni a közepes felhasználókra, hogy szavazatukat megnyerjék. Nyilvánvaló módon az ösztönző összegre felső korlátot ad a preferált tarifa megvalósulásából várható árkedvezmény. A játék megoldását, ψ -stabil párok formájában, a 1. táblázat tartalmazza.

1.4. tétel (Hatalmi struktúra). *Meghatároztam a szavazási játék hatalmi struktúráját (a módosított Shapley-érték segítségével) tekintettel minden lehetséges kiindulási esetre. Megmutattam, hogy kiegyensúlyozott kiindulási helyzet esetén, a közepes forgalmat generáló felhasználók kulcsfontosságúak a játék kimenetelében.*

Mivel a „heavy” és „light” felhasználók sohasem szavaznak együtt (nem lesznek tagjai ugyanannak a koalíciónak, „kibékíthetetlenek”), egy *módosított Shapley-értéket* kell használni, ami figyelembe veszi ezt [14]. Ez a módosított érték az ösztönző összegek várható eloszlását reprezentálja (x_1, x_2, x_3) a játékban, feltéve, hogy a játékosok véletlen sorrendben érkeznek, belépnek egy koalícióba, és kifizetésként megkapják a koalícióba bevitt határtértéküket. Formálisan a j . játékos esetén:

$$\phi_j^*[Q, \nu] = \sum_{S \cap Q = j} \gamma(n, s) V_j(S) + \frac{q-1}{q} \nu(j), \quad j \in Q \quad (6)$$

és

$$\phi_j^*[Q, \nu] = \sum_{S \cap Q = \emptyset} \gamma(n, s) V_j(S) + \sum_{|S \cap Q|=1} \frac{\gamma(n-q, s-1) - \gamma(n, s-1)}{q} V_j(S), \quad j \notin Q \quad (7)$$

ahol Q a „kibékíthetetlenek” halmaza, és $q = |Q|$.

A kiegyensúlyozott kiindulási helyzet esetén a hatalom megoszlik a játékosok között, így a módosított Shapley-érték: $(\frac{s_1^{\max}}{6}, \frac{s_1^{\max} + s_3^{\max}}{3}, \frac{s_3^{\max}}{6})$. Megfigyelhető, ha $s_1^{\max} > s_3^{\max}$, akkor a „heavy” felhasználóknak több hatalma van, mint a „light” felhasználóknak, és ez fordítva is igaz. A legfontosabb eredmény azonban az, hogy függetlenül a maximális felajánlott ösztönző összegektől, a 2. játékos („medium” felhasználók) a legerősebb, hiszen *nélkülözhetetlen*; az ő hatalma kétszer olyan gyorsan nő, mint a többi játékosnak, ha az ösztönző összegek emelkednek.

1.1. megjegyzés (Az eredmények hasznossága). *Bár az 1. téziscsoportban elméleti eredmények szerepelnek, alkalmazásuk gyakorlati haszonnal is jár. A 1.1. és 1.2. tézisek, kiegészítve körülmények szimulációs vizsgálatokkal [J2], előrejelzést nyújthatnak nagy internetszolgáltatók számára a felhasználói hűséggel kapcsolatban. Ez a predikció fontos bemenet lehet a szolgáltatók komplex árazási folyamatában. Mindemellett ezek az eredmények ösztönözhetik a kutatókat arra, hogy nagyobb hangsúlyt fektessenek az emberi viselkedésre, és minél valóságosabb felhasználói modelleket használjanak munkájukban. Az 1.3-1.4. tézisek egy olyan felhasználók által explicit módon befolyásolt árazási mechanizmust mutatnak be, amely a való életben is alkalmazásra kerülhet. Természetesen számos kérdés merülhet fel a módszer praktikus megvalósításával kapcsolatban; ezek egy részét tárgyalja a [C5].*

2. téziscsoport: Ösztönzők vezetéknélküli közösségi hálózatokban [J1] [C3]

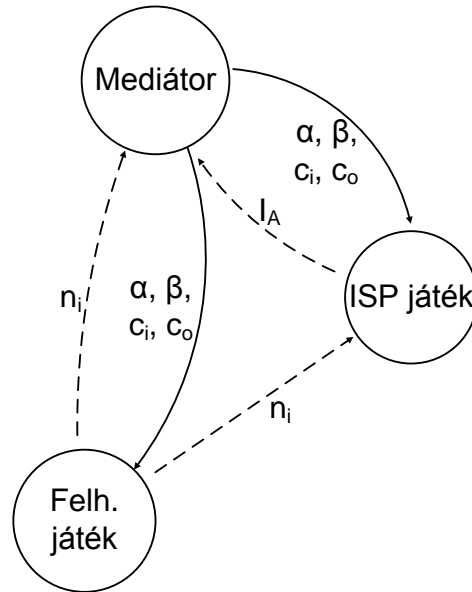
Ebben a téziscsoportban játékelmélet segítségével modelleztem a globális, vezetéknélküli közösségi hálózatokban fellépő gazdasági kölcsönhatásokat. A javasolt modell magában foglalja a felhasználókat, az internetszolgáltatókat és a közösségi szolgáltatókat, tehát a közösségi hálózatok összes résztvevő entitását. Vizsgáltam a modell különböző szintjeit, és megmutattam, hogy egy hatékony ösztönző mechanizmus segítségével biztosítható mind a felhasználók, mind a szolgáltatók részvétele a rendszerben. Megmutattam továbbá, hogy valós körülmények között elérhető a rendszer globális elterjedése.

2.1. definíció (A Stackelberg játék). *Stackelberg játékként modelleztem a globális, vezetéknélküli közösségi hálózatokban megtalálható gazdasági kölcsönhatásokat. Megalkottam a játék hierarchiáját, a vonatkozó kifizetőfüggvényeket és bevezettem a technológia penetráció fogalmát.*

Ebben a modellben a *mediátor* (közösségi szolgáltató) a Stackelberg játék vezetője. Az első felvonásban a mediátor meghatározza a költségeket és a bevételek elosztásának módszerét a többi játékos között (követők: ISP-k és felhasználók). A második felvonásban az internetszolgáltatók játszanak egy egylépéses játékot, majd végül a felhasználók játszanak maguk között (két lehetséges almodell: egylépéses vagy evolúciós).

A Stackelberg játék *részjáték-tökéletes egyensúlyának* levezetése optimális megoldást eredményez. A vezető (mediátor) olyan stratégiát választ, amivel a második szint (az ISP-k) reakciói (a

harmadik szint várható döntéseinek fényében), és aztán a harmadik szint (felhasználók) legjobb válaszstratégiája a lehető legmagasabb kifizetéshez vezet. Ez a gondolatmenet igaz minden szintre, a részjáték-tökéletesség definíciója szerint. A megalkotott játékelméleti modell a 3. ábrán látható (az alacsonyabb szintek figyelembe veendő stratégiáival együtt). Megfigyelhető, hogy a második és harmadik szinten a stratégiákat nem egyes szereplők választják, hanem beágyazott játékok egyensúlyi stratégiaprofiljai. Az alkalmazott jelöléseket a 2. táblázat tartalmazza.



3. ábra. A Stackelberg modell

2.2. definíció (Felhasználók részvétele: egylépéses játék, G_u). A felhasználók részvételi játéka (G_u) a következő:

- *Játékosok:* a rendszerben lévő felhasználók (n darab);
- *Stratégiák:* (s_i) belép a közösségbe (insider) vagy (s_o) nem lép be a közösségbe (outsider);
- *Kifizetőfüggvények:*

$$\pi_u(s_o) = GT(u - c_o) - c_s; \quad (8)$$

$$\pi_u(s_i^j) = GT(u + S_j n_o c_o \alpha) - c_i - c_s. \quad (9)$$

$S_j \in [0..1]$ a j . insider részesedési aránya az összes barangolási bevételből. Két különböző esetet vizsgálók:

- homogén eset: az outsiders által generált barangolási bevétel egyenlően oszlik meg az insiders között;

n	felhasználók száma
n_i	belső felhasználók (insider) száma
n_o	külső felhasználók (outsider) száma
s	stratégia
π	kifizetés
u	barangolás hasznossága
c_i	insider belépési költsége
c_o	outsider barangolási költsége
c_s	Internet-hozzáférés költsége
c_t	ISP extra forgalmi költsége (barangoló felhasználók miatt)
c_a	ISP adoptációs költsége
c_m	mediátor üzemeltetési költsége
G	felhasználó barangolási aktivitása
T	közösségi hálózat penetrációja
S_j	j . felhasználó része a barangolási bevételből
α	insiderek része a barangolási bevételből
β	ISP-k része a barangolási bevételből
I_a	adoptáló ISP indikátora

2. táblázat. Jelölések

- heterogén eset: az outsiders által generált barangolási bevétel az insiderek földrajzi relevanciája alapján oszlik meg;

2.1. tézis (G_u egyensúlya). *Meghatároztam G_u egyensúlyi tulajdonságait, tekintettel a barangolási bevétel megoszlására.*

(i) Legyen

$$Gc_oT_{n_i} \left[\alpha \frac{n}{n_i} - \alpha + 1 \right] > c_i. \quad (10)$$

Ekkor G_u játéknak homogén kifizetésekkel a következő egyensúlyi kimenetelei lehetnek:

(a) Minden felhasználó insider stratégiát játszik (Nash-egyensúly tiszta stratégiákon), ha (10)-nek legfeljebb egy valós gyöke van, vagy két valós gyöke növekvő sorrendben $n_{i_1}^*, n_{i_2}^*$, de $n_{i_1}^* > n$.

(b) Minden felhasználó kevert stratégiát játszik úgy, hogy $P(\text{insider}) = \frac{n_{i_1}^*}{n}$ és $P(\text{outsider}) = 1 - P(\text{insider})$ (Nash-egyensúly kevert stratégiákon), ha (10)-nek két valós gyöke van, és $n_{i_1}^* \leq n$ ($n_{i_1}^* > 0$ mindig fennáll).

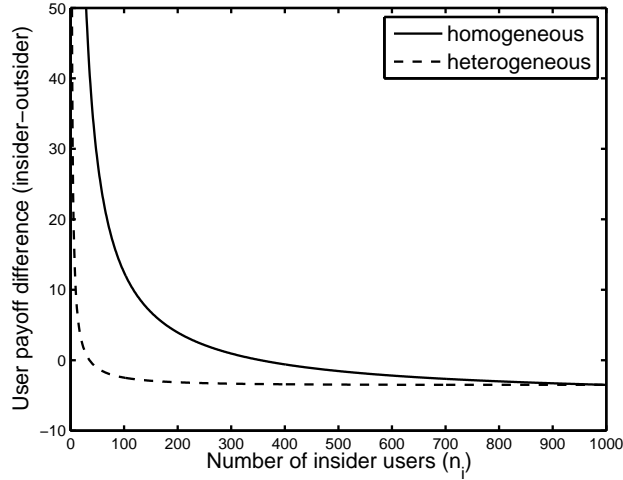
(c) Mindkét előbbi stratégiaprofil egyensúly, ha mindkét valós gyök létezik, és $n_{i_2}^* < n$.

(ii) Vegyük G_u játékot homogén kifizetésekkel. Ha a felhasználók otthonának földrajzi relevanciája jellemezhető egy Pareto-eloszlással (melynek exponense kisebb, mint $\frac{1}{1-\alpha}$), akkor – ha létezik olyan Nash-egyensúly, amelyben a legmagasabb relevanciájú felhasználók alkotják az insiderek csoportját – a teljes penetráció (minden felhasználó insider) nem alakulhat ki.

(iii) Legyen

$$GTn_i \left(u + \frac{R_{n_i}}{T_{n_i}} c_o \left(\frac{n}{\Delta n_i} - \frac{n_i}{\Delta n_i} \right) \alpha \right) - GT_{n_i - \Delta n_i} (u - c_o) > c_i. \quad (11)$$

Ekkor G_u játéknak heterogén kifizetésekkel a következő egyensúlyi kimenetelei lehetnek:



4. ábra. Felhasználók várható bevétele: heterogén ill. homogén kifizetések (minden más paraméter rögzítve)

- (a) Minden felhasználó insider stratégiát játszik (Nash-egyensúly tiszta stratégiákon), ha (11)-nek legfeljebb egy valós gyöke van, vagy két valós gyöke növekvő sorrendben $n_{i_1}^*$, $n_{i_2}^*$, de $n_{i_1}^* > n$.
- (b) Minden felhasználó kevert stratégiát játszik úgy, hogy $P(\text{insider}) = \frac{n_{i_1}^*}{n}$ és $P(\text{outsider}) = 1 - P(\text{insider})$ (Nash-egyensúly kevert stratégiákon), ha (11)-nek két valós gyöke van, és $n_{i_1}^* \leq n$ ($n_{i_1}^* > 0$ mindig fennáll).
- (c) Mindkét előbbi stratégiaprofil egyensúly, ha mindkét valós gyök létezik, és $n_{i_2}^* < n$.

Az első állítás a rendszer egy fontos tulajdonságát fedi fel: bizonyos körülmények között a növekvő insider közösség „beragadhat” egy egyensúlyi állapotba. Ez a jelenség akadályozza a technológia diffúzióját, és negatívan érintheti a jövőbeli kifizetéseket. A mediátor által meghatározott paraméterek dinamikus beállítása a rendszer életciklusának különböző fázisaiban orvosolhatja ezt a problémát: ez egy érdekes kutatási irány lehet.

A második állításnak fontos következményei vannak a gazdaságosan megvalósítható forgatókönyveket illetően. Az az egyensúlyi állapot, amelyben minden felhasználó insider lesz nyilván nem kívánatos, hiszen így zérus lenne a barangolási bevétel. Azonban nehéz farkú földrajzi relevancia eloszlás esetén a játék természetes módon alakul át olyanná, ahol a teljes penetráció nem jöhet létre. A nehéz farkú relevancia eloszlás biztosítja továbbá, hogy viszonylag nagy insider közösség jöjjön létre alacsony α értékek esetén is.

A kifizetési struktúra hatása a felhasználók részvételi kedvére a 4. ábrán látható. Míg az egyenlő bevételek több felhasználót vonzanak (akár alacsony relevanciájú helyekről is), addig a differenciált struktúra a magas relevanciájú felhasználók számára jobb lehetőségeket nyújt. Ez a kettősség menedzsment lehetőséget biztosít a mediátor számára: demokratikus rendszert hoz létre, vagy ösztönzi a releváns felhasználókat a gyors közösségépítés reményében.

2.2. tézis (G_u evolúciós kiterjesztésének egyensúlya). Meghatároztam G_u kiterjesztésének evolúciósan stabil stratégiáit (ESS). Megmutattam, hogy az ESS mindig pontosan az egyik az eredeti G_u játék egyensúlyi stratégiái közül.

Az ESS-t mindig egyértelműen meghatározza c_oG és c_i relációja. Ha $c_oG > c_i$, akkor a „triviális” teljes részvétel az egyensúlyi állapot. A másik esetben ($c_oG < c_i$) azonban a „nemtriviális”, kevert stratégiákon értelmezett egyensúly fog beállni. Ez az állapot egy egészséges egyensúlyt reprezentál, és ezáltal kívánatos a rendszer számára: elég nagy a penetráció, de marad elég kívülálló is, akik a barangolási bevételt generálják. Fontos megjegyezni, hogy hiába lehetséges egyszerre több stabil állapot az egy lépéses modellben, közülük csak egy lehet evolúciósan is stabil.

2.3. definíció (ISP-k részvétele: egy lépéses játék, G_i). Az internetszolgáltatók részvételi játéka (G_i) a következő:

- *Játékosok:* a rendszerben lévő ISP-k (a matematikai kezelhetőség kedvéért két játékost feltételezünk);
- *Stratégiák:* (A) adoptálja a technológiát, és megengedi a felhasználók kapcsolatmegosztását vagy (D) ellenáll és megtiltja a kapcsolatmegosztást;
- *Kifizetőfüggvények:* ld. 3. táblázat. A kifizetések szimmetrikusak.

	A^2	D^2
A^1	$\frac{n}{2}c_s + GT\frac{n_o}{2}c_o\beta - GT\frac{n}{2}c_t - c_a$	$\frac{n+n_i}{2}c_s + GTn_o c_o\beta - GTnc_t - c_a$; $\frac{n_o}{2}c_s$
D^1	$\frac{n_o}{2}c_s$	$\frac{n}{2}c_s - GT\frac{n}{2}c_t$

3. táblázat. Egyszerűsített kifizetés-mátrix az ISP játékhoz

2.3. tézis (G_i egyensúlya). Meghatároztam G_i egyensúlyi helyzetét, tekintettel a mediátor által beállított paraméterek viszonyára. Legyen $K = \frac{nGTc_t + c_a - n_i c_s}{n_o GT}$, ekkor:

- (a) ha $c_o\beta > K$, az (A,A) stratégiaprofil Nash-egyensúly tiszta stratégiákon.
(b) ha $c_o\beta < K$, a (D,D) stratégiaprofil Nash-egyensúly tiszta stratégiákon.

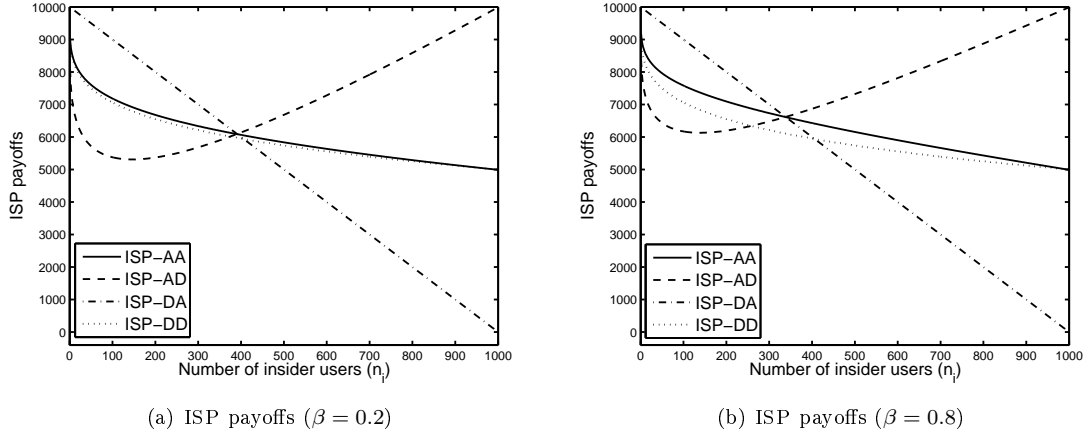
A β részesedési paraméter hatása az internetszolgáltatók kifizetésére a 5. ábrán látható. Az (A,A) és (D,D) stratégiaprofilokhoz tartozó kifizetések különbsége β -val együtt nő: nagyobb részesedés esetén az ISP-k könnyebben támogatják a globális vezeték nélküli közösség kialakulását. Másrészt, mindkét esetben létezik az (A,A), (A,D) és (D,A) kifizetéseknek metszéspontja: ez mutatja meg a $c_o\beta = K$ helyzethez szükséges insiderek számát. Ettől a ponttól jobbra érdemes a szolgáltatóknak támogatni, balra pedig elutasítani a felhasználók kapcsolatmegosztását.

2.4. tézis (A Stackelberg játék numerikus megoldása). A mediátor paraméter-beállítási döntését megfogalmaztam klasszikus optimalizációs problémaként. Megmutattam, hogy a mediátor különböző lehetséges célfüggvényei (mohó ill. társadalmi jólét maximalizáló) nagyban eltérő kifizetéseket eredményeznek.

Ha a mediátor módszeresen implementál egy adott paraméterhalmazt, különböző célokat érhet el vele, pl. maximalizálhatja a saját vagy az insiderek profitját, állhat az ISP-k mellé, vagy eltérbe helyezheti a társadalmi jólétet. A célfüggvényt a közösség alakulása közben dinamikusan változtatva a mediátor elősegítheti a rendszer megfelelő fejlődését.

A mohó esetben a célfüggvény a következő:

$$\pi_m^g = GTn_o^*(\alpha, \beta, c_o, c_i)c_o(1 - \alpha - \beta L_a^*(\alpha, \beta, c_o, c_i)) - c_m + n_i^*(\alpha, \beta, c_o, c_i)c_i. \quad (12)$$



5. ábra. ISP-k várható bevétele: alacsony és magas részesedés (β)

Ha azonban a mediátor a társadalmi jólétet maximalizálná, akkor a rendszer összes szereplőjének kifizetéseit figyelembe kell vennie:

$$\pi_m^s = \pi_m^g + \sum_{j=1}^{n_i^*} \pi_u^j(s_i) + n_o^* \pi_u(s_o) + n_a^* \pi_a + n_d^* \pi_d \quad (13)$$

ahol n_a^* az adoptáló és n_d^* az ellenálló ISP-k egyensúlyi száma.

Általánosan felírva, az optimalizációs feladat (ami felfogható egy egyszemélyes játékként is, ezért használjuk az s_m jelölést):

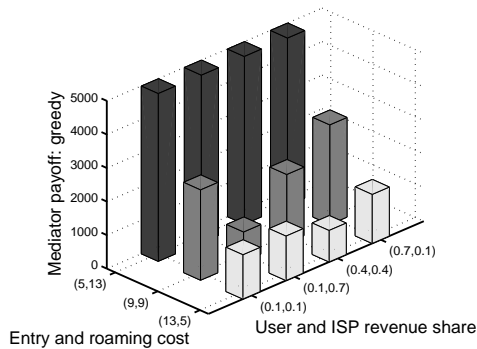
$$s_m = \operatorname{argmax}_{c_o, c_i, \alpha, \beta} \pi_m(c_o, c_i, \alpha, \beta). \quad (14)$$

A Stackelberg játék megoldási módszere a *visszafelé indukció*. Ebben az esetben a feladat analitikusan nem kezelhető, ezért numerikus megközelítést alkalmaztam. Az eredmények a 6. ábrán láthatók. Mohó esetben a mediátor akkor éri el a legmagasabb profitot, amikor $c_i < c_o G$ (ekkor minden felhasználó tagja a közösségnek). A másik esetben a társadalmi jólét akkor a legnagyobb, amikor a felhasználók részesedése (α) alacsony, és a barangolási költség nagyobb a belépési költségénél ($c_o \geq c_i$). Jól látszik, hogy a teljes penetráció (itt: $(c_i, c_o) = (5, 13)$) nem hatékony ebben az esetben.

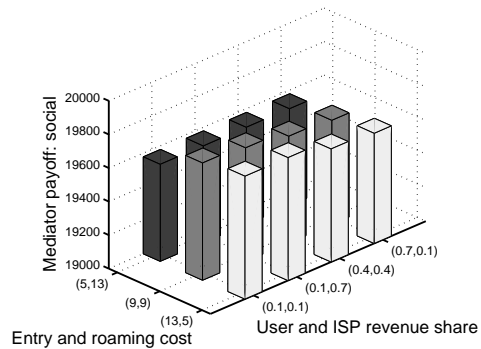
Megjegyzendő, hogy a felhasználók esetében az evolúciósan stabil stratégiát vettük figyelembe.

2.5. tézis (A felhasználói közösség evolúciója). *Bevezettem egy adatvezérelt, evolúciós szimulációs modellt (amely valós vezetéknélküli közösségek statisztikáin és népsűrűségi adatokon alapul), és megfigyeltem a felhasználói közösség időbeli dinamikáját.*

- (i) *Megalkottam egy új, specifikus mobilitási modellt a vezetéknélküli közösségi hálózatok számára.*
- (ii) *Megmutattam, hogy a felhasználók földrajzi relevanciáinak sokfélesége elősegíti a technológia elterjedését, függetlenül a közösség kiindulási méretétől.*
- (iii) *Megmutattam, hogy a megfelelően beállított költség- és részesedés-paraméterek biztosíthatják a vezetéknélküli közösségi hálózat globális elterjedését. A technológiai penetráció folyamatos növekedése várható viszonylag magas belépési költségek esetén is.*

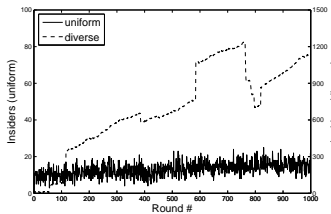


(a) Mediátor kifizetése (mohó)

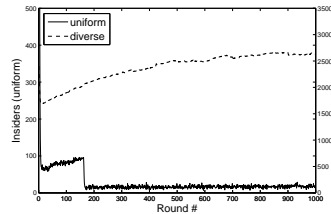


(b) Mediátor kifizetése (társadalmilag érzékeny)

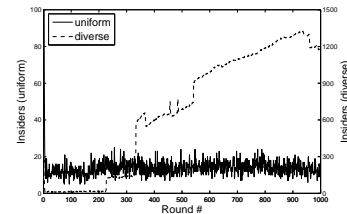
6. ábra. Mediátor kifizetési: mohó ill. társadalmilag érzékeny (x tengely: részesedések (α, β) , y tengely: költségek (c_i, c_o))



(a) Közösség evolúciója: zero penetráció

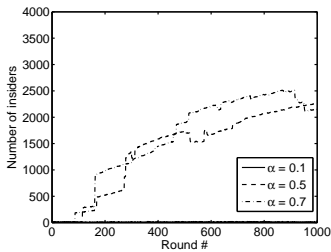


(b) Közösség evolúciója: magas penetráció

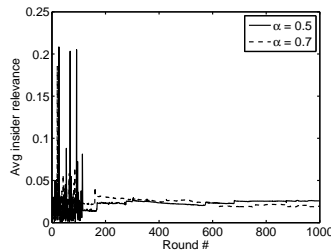


(c) Közösség evolúciója: alacsony penetráció

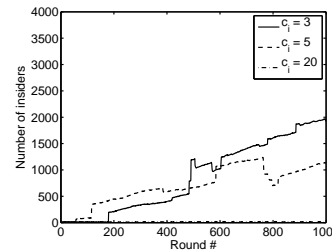
7. ábra. A felhasználói közösség evolúciója különböző kiindulási feltételek esetén ($u = 4, c_o = 3, c_i = 3, \alpha = 0.5, \mu = 0.001$)



(a) Közösség evolúciója (különböző α értékek)



(b) Átlagos felhasználói relevancia evolúciója (különböző α értékek)



(c) Közösség evolúciója (különböző c_i értékek)

8. ábra. A felhasználói közösség és az átlagos relevancia dinamikája, zero kiindulási penetráció (alapértelmezett beállítások: $u = 4, c_o = 3, c_i = 3, \alpha = 0.5, \mu = 0.001$)

A 7. ábrán az insiderek számának időbeli alakulása figyelhető meg. Megfigyelhető, hogy a heterogén földrajzi relevanciájú felhasználók megadják a kezdeti lökést a rendszernek, még zero kezdeti elterjedtség esetén is. Ha nincsenek kiemelkedően releváns felhasználók (bizonyos értelemben

„hubok”), az gátolja a rendszer felfutását.

További szimulációs eredmények láthatók a 8. ábrán. A közösség fejlődése zavartalan, ha a részesedések (α), a belépési költségek (c_i) és a barangolási költségek (c_o) megfelelő kombinációja kerül megvalósításra.

3. téziscsoport: Torlódáskezelés dinamikus mobil környezetben [C4] [C7] [S1] [S2] [T3]

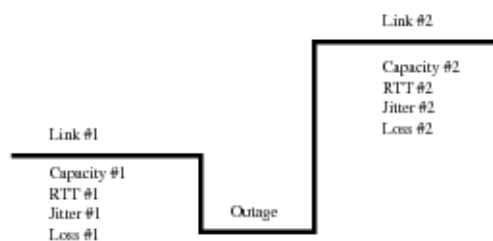
Számos nagysebességű TCP változat került kidolgozásra, hogy a szállítási protokoll megbirkózzon a nagy sávszélesség-késleltetés szorzattal (Bandwidth-Delay Product, BDP) jellemezhető hálózatokkal. Bár ezen változatok mindegyike jelentős előrelépést jelent az eredeti TCP Renohoz képest, mégis lassan adaptálódnak hirtelen, nagymértékű kapacitásváltozás esetén, például hívásátadás (handover) után.

Teszthálózati mérések segítségével megmutattam, hogy a létező nagysebességű TCP változatok nem működnek hatékonyan a mobilhálózatokban gyakran előforduló hirtelen kapacitásváltozások esetén. Kidolgoztam a SpeedDetect (SD) TCP kiegészítést, amely detektálja a felszabaduló kapacitást, és gyorsan alkalmazkodik a megváltozott hálózati környezethez. Mind mérésekkel, mind szimulációkkal alátámasztottam, hogy az SD mechanizmus hatékonyan működik különböző méretű kapacitásváltozások esetén is, miközben a rendszerben lévő szabványos TCP forgalmat nem nyomja el.

3.1. definíció (Handover modell). *Az adatút a küldő és fogadó TCP végpontból, és egy emulációs csomópontból áll, egyetlen szűk keresztmetszetet jelentő bufferrel az emulációs csomópontban. A handover bekövetkeztekor a link kapacitás nullára csökken egy meghatározott időre (szakadási idő, interruption time). Ezalatt az idő alatt az emulációs csomópont nem küld további csomagokat, de a végpontok nem értesülnek az eseményről. Ezért a küldő TCP folytatja a csomagküldést – ami feltölti a buffert –, amíg még kapja a már továbbított nyugtákat. A szakadási idő leteltével a link kapacitást újra a kívánt értékre állítjuk, ezáltal az adatküldés folytatódik. Abban az esetben, amikor a link alaptulajdonságai különböznek a handover előtt és után (rendszerközi handover), minden más tulajdonság – késleltetés, jitter, csomagvesztési arány, bufferméret, stb. – is ugyanekkor kerül megváltoztatásra.*

A handover model a 9. ábrán látható. Fontos kiemelni, hogy ez a modell nem reprezentálja egy handover minden aspektusát, de a link kapacitás változásának szempontjából teljesen megfelelő.

Számottevő kapacitásváltozás nemcsak handover esetén történhet; osztott logikai csatornát használó rádiós technológiák (WLAN, HSPA, 3GPP-LTE, WiMax, stb.) alkalmazása esetén több okból is bekövetkezhet. Az egyik fő ok a cellákban tartózkodó felhasználók számának változása mozgás



9. ábra. Handover modell

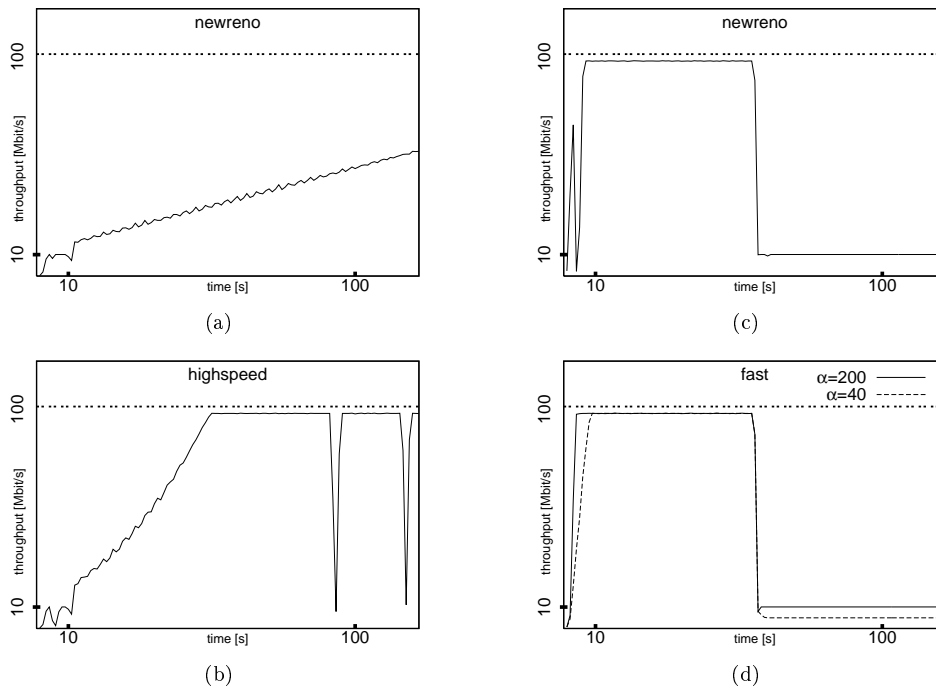
következtében, míg a másik a rádiós link minőségváltozása interferencia és fading miatt. Szükséges esetben előfordulhat, hogy egy aktív TCP kapcsolattal rendelkező felhasználó egy üres cellából egy terhelte cellába megy át (vagy fordítva), jelentős kapacitáscsökkenést (-növekedést) tapasztalva. Az alábbi eredmények bármilyen kiváltó ok (handover, mobilitás, folyamdinamika) által előidézett hirtelen kapacitásváltozás esetén megállják a helyüket.

3.1. tézis (Létező TCP verziók korlátai). A 3.1. definíció feltételeit alapul véve

- (i) Megmutattam teszhálózati mérések segítségével, hogy a csomagvesztés alapú TCP változatok (NewReno, BIC, HighSpeed, Scalable) gyenge teljesítményt nyújtanak hirtelen kapacitás-növekedés esetén;
- (ii) Meghatároztam egy alsó korlátot a FAST TCP változat α paraméterének értékére vonatkozóan, amelyet el kell érnie ahhoz, hogy képes legyen a link kapacitás teljes kihasználására handover után.

$$\alpha \geq (T'_0 - T_0)\mu' \quad (15)$$

ahol T_0 a legrövidebb mért körülfordulási idő (Round-Trip Time, RTT) a handover előtt, T'_0 a legrövidebb mért RTT a handover után és μ' a link kapacitása a handover után. Megmutattam teszhálózati mérések segítségével, hogy a FAST súlyosan alulhasznosítja a rendelkezésre álló kapacitást hirtelen kapacitáscsökkenés esetén, ha α értéke a fenti korlátot nem éri el.



10. ábra. Különböző TCP változatok átbecsajjtóképesége rendszerközi handover esetén

A 10(a). és a 10(b). ábra az átbecsajjtóképeség időbeni változását mutatja egy rendszerközi handover után (kapacitás-növekedés). Látható, hogy a handover időpontjától az új link majdnem teljes kihasználásáig tartó adaptációs idő körülbelül 40 másodpercig tart, az agresszívabb HighSpeed TCP alkalmazásával is.

A 10(c). és 10(d). ábra szemlélteti, hogy amíg a NewReno TCP simán kihasználja a kapacitás-csökkenés utáni szűkebb sáv szélességet, a FAST mechanizmusnak ehhez megfelelő paraméterbeállításra van szüksége (nem változtatható dinamikusan!). Lényeges, hogy a 3.1. tézisben adott alsó korlát csak a link tulajdonságaitól függ.

3.2. tézis (A SpeedDetect algoritmus). *Kidolgoztam a SpeedDetect (SD) algoritmust, amely képes a szabad átviteli kapacitás gyors detektálására, és bármely RTT-t mérő TCP változatot képessé tesz a gyors adaptálódásra hirtelen kapacitás-növekedés esetén. Továbbá kidolgoztam egy eljárást az aktiválási érzékenység paraméter (p_1) hatékony beállítására a hálózati környezettől függően.*

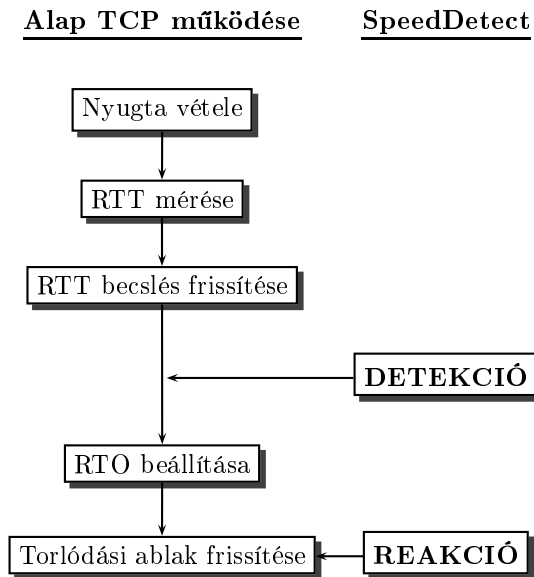
Algorithm 1: SpeedDetect – detekció

Input:
Output:
while *there is data to send* **do**
 if $srtt = 0$ **then**
 └ longtermsmooth \leftarrow $mrtt \cdot 2^{1024}$;
 else
 └ longtermsmooth \leftarrow $\frac{1023}{1024} \cdot \text{longtermsmooth} + \frac{1}{1024} \cdot mrtt$;
 if *trigger is off* and $\frac{srtt}{\text{longtermsmooth}} \leq p_1$ **then**
 └ trigger \leftarrow on;
 └ minsrtt \leftarrow srtt;
 if *trigger is on* **then**
 └ **if** $srtt < \text{minsrtt}$ **then**
 └ minsrtt \leftarrow srtt;
 └ **if** $\frac{srtt}{\text{min srtt}} \geq p_2$ **then**
 └ trigger \leftarrow off;
 └ longtermsmooth \leftarrow srtt;

Algorithm 2: SpeedDetect – reakció

Input: trigger is on
Output:
if *AIMD TCP* **then**
 └ **if** *cwnd was increased by 1* **then**
 └ cwnd \leftarrow cwnd + MAXINCREMENT - 1;
else if *BIC TCP* **then**
 └ enter regime „max_increment”;

Az SD algoritmus lényege az RTT hirtelen csökkenésének érzékelése, és a torlódáskezelő mechanizmus agresszívabb módjának aktiválása. Az érzékelés az aktuális RTT becslés egy hosszútávú átlaggal történő összehasonlításán alapul: trigger keletkezik, ha a becslés jelentősen az átlag felett van. Trigger esetén a torlódáskezelési mechanizmus a legagresszívabb fázisába vált, hogy megnövelje a küldési rátát, amíg az RTT becslés újra nőni nem kezd. A becslés növekedése arra utal, hogy a szűk keresztmetszetet jelentő buffer kezd telítődni, amikor is a trigger kikapcsolásra kerül.



11. ábra. A SpeedDetect mechanizmus illesztése

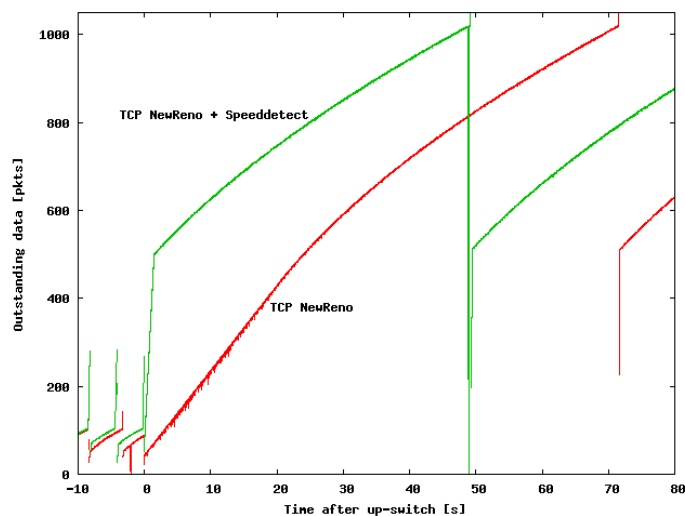
Mivel az SD a TCP egy kiegészítése, ezért kell hozzá egy létező TCP protokoll, amihez lehet illeszteni (alap TCP). Az illesztési pontokat a 11. ábra mutatja.

A detekciós algoritmus érzékenysége a p_1 paraméter értékén múlik: minél nagyobb p_1 , annál kisebb RTT változás is triggert okoz. A módszer akkor jelez, ha az eredeti RTT becslés (s_{rtt} , s_n) és a hosszútávú görgetett átlag (l_n) jelentősen eltér egymástól, azaz: $\frac{s_n}{l_n} \leq p_1$. Egy túlérzékeny beállítás téves riasztásokat okozhat, míg fordított esetben az SD elvetheti a fontos kapacitásváltozásokat, vagy túl későn reagálna.

A kidolgozott paraméter-beállító eljárás a mért RTT-sorozatokra és a NewReno TCP jól ismert fűrészfog-mintáira épül. A 3.1. és 3.3. tézisekben bemutatott teszhálózat link karakterisztikái a következők voltak: terjedési RTT $T_p = 70$ ms és handover előtti kapacitás $C = 10$ Mbit/s. Ebben a hálózatban az aktiválási paraméter optimális értéke $p_1 \approx 0.75$. Bár a módszer a NewReno TCP tulajdonságaira épít, sikerrel használtuk a BIC TCP alaphoz illesztett SD algoritmus esetén is. Fontos megemlíteni, hogy a kikapcsolási paraméter értékére (p_2) a rendszer nem annyira érzékeny: a $p_2 = 1.125$ beállítás jó eredménnyel használható különböző hálózati körülmények között.

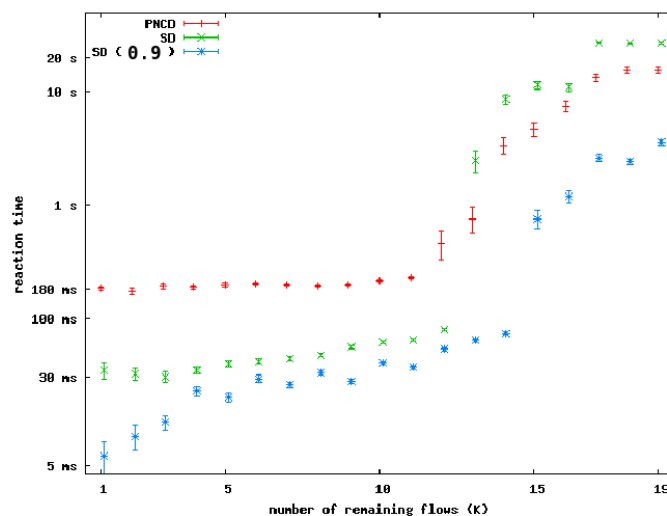
3.3. tézis (SpeedDetect teljesítménye hirtelen kapacitás-növekedés esetén). A 3.2. tézisben bevezetett algoritmust kiegészítésként implementáltam a Reno és BIC TCP alapváltozatokhoz. Teszhálózati mérések segítségével megmutattam, hogy hirtelen kapacitás-növekedés esetén

- (i) a bővített RenoSD és BICSD változatok rövidebb idő alatt adaptálódnak a megváltozott hálózati körülményekhez, mint alapváltozataik;
- (ii) az SD algoritmus gyorsabban reagál, mint a PNCD (Persistent Non-Congestion Detection, a Westwood TCP változat mechanizmusa), és konzisztensebben detektálja a megnövekedett kapacitást.



12. ábra. Reno és RenoSD adaptációs ideje

A Reno és a RenoSD protokollok adaptációs ideje a 12. ábrán látható. Az SD és a PNCD szabad kapacitás érzékelő algoritmusok detekciós idejét a 13. ábra illusztrálja.

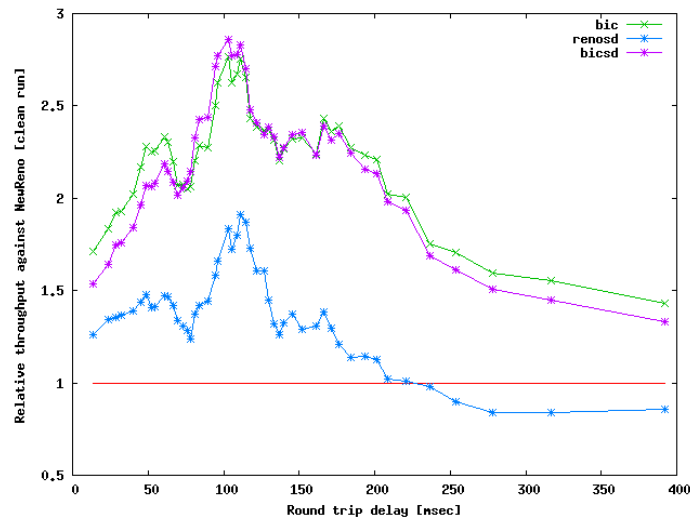


13. ábra. SD és PNCD detekciós ideje

3.4. tézis (SpeedDetect teljesítménye kisebb kapacitásváltozások esetén). A 3.2. tézisben bevezetett algoritmust kiegészítésként implementáltam a Reno és BIC TCP alapváltozatok ns-2 szimulátorbeli megvalósításaihoz. Szimulációk segítségével megmutattam, hogy a folyamatdinamika által kiváltott kisebb kapacitásváltozások esetén

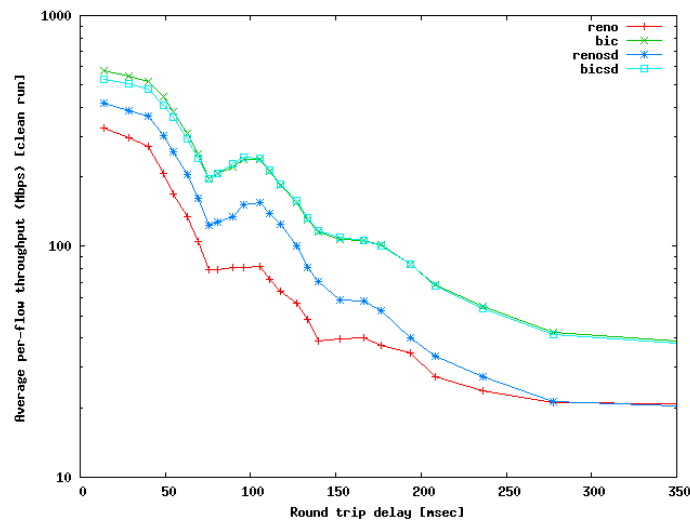
- (i) a RenoSD nagyobb átlagos átbocsájtóképességet ér el a Reno alapváltozatnál, míg a BICSD megőrzi a BIC átbocsájtóképességét;

- (ii) a kiegészített TCP változatok megőrzik az alapváltozatok RTT-fairness tulajdonságait;
- (iii) a RenoSD teljesít legjobban protokollközi fairness tekintetében (a Reno alapváltozathoz képest) az összes vizsgált változat közül.



14. ábra. Átlagos átbocsájtóképesség a Renohoz viszonyítva

Fontos megemlíteni, hogy a szimulációk során nem történt handover; a szimulációs vizsgálatok azt bizonyítják, hogy a SpeedDetect nem zavarja a TCP alapműködését, amikor a kapacitásváltozások kicsik, és csak az adatfolyamok dinamikája miatt történnek. Az eredmények azt mutatják, hogy



15. ábra. RTT fairness (folyamankénti átlagos átbocsájtóképesség értékek, különböző RTT-jű folyamatokra megadva)

mind az átbecsújtóképesség (14. ábra), mind az RTT-fairness (15. ábra) értékek jobbak vagy közel azonosak az alapváltozatokhoz képest.

Továbbá, mivel ugyanazt a programkódot, hálózati topológiát, forgalmat és fairness metrikát használtam, mint egy korábbi tanulmány [35], meg tudtam mutatni, hogy a RenoSD a leginkább fair a szabványos TCP-hez (Reno) az összes nagysebességű, módosított változat közül, ezért valóban lehetséges alkalmazni működő hálózatokban.

5. Alkalmazási lehetőségek

Az 1. téziscsoportban bemutatott eredmények bizonyítják, hogy a felhasználói hűséget figyelembe kell venni Internet-hozzáférések árazásakor. Ez azt jelenti az internetszolgáltatók számára, hogy érdekesebb a hűséges felhasználókat prémium szolgáltatásokkal jutalmazni, mint árháborút vívni a potenciális új vevőkért. A kiegészítő szimulációs vizsgálatok [J2] a szolgáltatók árazási stratégiájának fontos bemenetét képezhetik. Másrészt, az 1.3. tézisben bemutatott UIP mechanizmust valós környezetben történő használatra terveztem. A felmerülő, praktikus megvalósítási kérdéseket a [C5] tárgyalja.

A 2. téziscsoportban tárgyalt gazdasági ösztönző-keretrendszer gyakorlati útmutatásként szolgálhat a vezetéknélküli közösségi hálózatok szolgáltatói számára. Megmutatja, miként lehet a vezetéknélküli közösséget globális méretűvé fejleszteni úgy, hogy közben a felhasználók, ISP-k és közösségi operátorok egyaránt profitálnak a rendszerből. Az adatvezérelt szimulációk azt is megmutatták, hogy technológia folyamatos terjedése prognosztizálható realisztikus körülmények között. Ennek a munkának a legfontosabb hatása az lehet, hogy meggyőzi az internetszolgáltatókat a kapcsolatmegosztás engedélyezéséről; manapság ugyanis általában ez tiltott. Az itt bemutatott eredmények egy másik hozadéka lehet, ha a kutatók figyelmét a felhasználók által nyújtott hálózati szolgáltatások területére irányítja, ezzel lehetőséget teremtve új, műszaki eljárások kidolgozására (mobilitás kezelése, opportunisztikus csomagtovábbítás, stb.).

A 3. téziscsoportban szereplő SpeedDetect eljárás kidolgozásában a valós környezetbeli használhatóság elsőrendű volt. A tervezési alapelvek (egyszerűség, végpont-végpont működési elv, csak szerveroldali változtatás, egész aritmetikával való implementálhatóság) pont azt a célt szolgálták, hogy egy ténylegesen telepíthető mechanizmus jöjjön létre. Működő, kernelszintű implementáció készült az SD-hez, továbbá két benyújtott nemzetközi szabadalom [S1] [S2] született a munkához kapcsolódóan (már publikálva az Európai Szabadalmi Hivatal által és elbírálás alatt az Egyesült Államokban).

Hivatkozások

- [1] NSF Future Internet Network Design Initiative. <http://www.nets-find.net/>
- [2] A. Odlyzko. Internet Pricing and the History of Communications. *Computer Networks*, 36(5-6):493-517, 2001.
- [3] X.-R. Cao, H.-X. Shen, R. Milito, and P. Wirth. Internet Pricing with a Game Theoretical Approach: Concepts and Examples. *IEEE/ACM ToN*, 10(2):208-216, 2002.
- [4] L. He and J. Walrand. Pricing and Revenue Sharing Strategies for Internet Service Providers. In: Proc. of *IEEE Infocom 2005*, pp. 205-216, 2005.
- [5] S. Shakkottai and R. Srikant. Economics of Network Pricing with Multiple ISPs. In: Proc. of *IEEE Infocom 2005*, pp. 184-194, 2005.
- [6] A. M. McGahan and P. Ghemawat. Competition to Retain Customers. *Marketing Science*, 13(2):165-176, 1994.
- [7] J. M. Peha. The Benefits and Risks of Mandating Network Neutrality, and the Quest for a Balanced Policy. *International Journal of Communications*, 1:644-688, 2007.
- [8] A. Dhamdhere and C. Dovrolis. Can ISPs be Profitable Without Violating Network Neutrality? In: Proc. of *ACM NetEcon '08*, pp. 13-18, 2008.
- [9] D. Fudenberg and J. Tirole. *Game Theory*. MIT Press, 1991.
- [10] R. Deneckere, D. Kovenock, and R. Lee. A Model of Price Leadership Based on Consumer Loyalty. *The Journal of Industrial Economics*, 40(2):147-156, 1992.
- [11] C. Narasimhan. Competitive Promotional Strategies. *The Journal of Business*, 61(4):427-449, 1988.
- [12] Walker Loyalty Report for Communications Services. Technical report, 2007. Summary is available at <http://www.walkerinfo.com/knowledge-center/walker-library/article.asp?id=824>.
- [13] R. A. Jarrow and J. C. Leach. Bribes, Power, and Managerial Control in Corporate Voting Games. *Theory and Decision*, 26:235-251, 1989.
- [14] D. M. Kilgour. A Shapley Value for Cooperative Games with Quarreling. In: A. Rapoport (Ed.). *Game Theory as a Theory of Conflict Resolution*, pp. 193-206, D. Reidel Publishing Company, 1974.
- [15] FON website. <http://www.fon.com>
- [16] E. C. Efstathiou, P. A. Frangoudis, and G. C. Polyzos. Stimulating Participation in Wireless Community Networks. In: Proc. of *IEEE INFOCOM 2006*, 2006.
- [17] M. H. Manshaei, J. Freudiger, M. Felegyhazi, P. Marbach, and J.-P. Hubaux. On Wireless Social Community Networks. In: Proc. of *IEEE INFOCOM 2008*, pp. 1552-1560, 2008.
- [18] A. Mazlounian, M. H. Manshaei, M. Felegyhazi, and J.-P. Hubaux. Optimal Pricing Strategy for Wireless Social Community Networks. In: Proc. of *ACM NetEcon '08*, pp. 103-108, 2008.

- [19] M. C. Gonzalez, C. A. Hidalgo, and A.-L. Barabasi. Understanding individual human mobility patterns. *Nature*, 453:479-482, 2008.
- [20] J. Maynard Smith. *The Theory of Evolution*. Penguin Books, 1958.
- [21] The 3rd Generation Partnership Project. <http://www.3gpp.org>
- [22] S. Floyd. HighSpeed TCP for Large Congestion Windows. IETF *RFC 3649*, Experimental, 2003.
- [23] T. Kelly. Scalable TCP: Improving Performance in Highspeed Wide Area Networks. *ACM Computer Communication Review*, 32(2):83-91, 2003.
- [24] L. Xu, K. Harfoush, and I. Rhee. Binary Increase Congestion Control for Fast Long-Distance Networks. In: Proc. of *IEEE INFOCOM 2004*, pp. 2514-2524, 2004.
- [25] C. Jin, D. Wei, and S. Low. FAST TCP: Motivation, Architecture, Algorithms, Performance. In: Proc of *IEEE INFOCOM 2004*, pp. 2490-2501, 2004.
- [26] H. Balakrishnan, V. N. Padmanabhan, S. Seshan, and R. H. Katz. A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance over Wireless Links. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 5(6):756-769, 1997.
- [27] Y. Tian, K. Xu, and N. Ansari. TCP in Wireless Environments: Problems and Solutions. *IEEE Communications Magazine*, 43(3):S27-S32, 2005.
- [28] T. Goff, J. Moronski, D. S. Phatak, and V. Gupta. Freeze-TCP: a True End-to-End TCP Enhancement Mechanism for Mobile Environments. In: Proc. of *IEEE INFOCOM 2000*, pp. 1537-1545, 2000.
- [29] R. Wang, K. Yamada, M. Y. Sanadidi, S. Member, and M. Gerla. TCP with Sender-Side Intelligence to Handle Dynamic, Large, Leaky Pipes. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23(2):235-248, 2005.
- [30] R. Ludwig and R. H. Katz. The Eifel Algorithm: Making TCP Robust Against Spurious Retransmissions. *ACM Computer Communications Review*, 30(1):30-36, 2000.
- [31] B. Wang, J. Kurose, P. Shenoy, and D. Towsley. Multimedia Streaming via TCP: An Analytic Performance Study. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications*, 4(2):1-22, 2008.
- [32] A. Goel, C. Krasic, and J. Walpole. Low-latency Adaptive Streaming over TCP. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications*, 4(3):1-20, 2008.
- [33] X. Wu, M. C. Chan, and A. L. Ananda. Improving TCP Performance in Heterogeneous Mobile Environments by Exploiting the Explicit Cooperation between Server and Mobile Host. *Computer Networks*, 52(16):3062-3074, 2008.
- [34] Y. Ganjali and N. McKeown. Update on Buffer Sizing in Internet Routers. *ACM Computer Communications Review*, 36(5):66-70, 2006.
- [35] H. Shimonishi, M. Sanadidi, and T. Murase. Assessing Interactions among Legacy and High-Speed TCPs. In: Proc. of *PFLDnet 2007*, pp. 91-96, 2007.

Saját publikációk

Könyvfejezet

- [B1] K. Fodor, D. Krupp, **G. Biczók**, J. Gerevich, and K. Sugár. SAMSON: Smart Address Management in Self-Organizing Networks *EUNICE 2005: Networks and Applications Towards a Ubiquitously Connected World*, Series: IFIP, 196:285-298, Springer, 2006.

Folyóiratcikkek

- [J0] A. Fehske, J. Malmudin, **G. Biczók**, and G. Fettweis. The Global Footprint of Mobile Communications – The Ecological and Economical Perspective. Accepted to *IEEE Communications Magazine*, Special Issue on Green Communications, 2010.
- [J1] ***G. Biczók**, L. Toka, A. Gulyás, A. Vidács, and T. A. Trinh. Incentivizing the Global Wireless Village. Accepted to *Computer Networks*, Special Issue on Wireless for the Future Internet, Elsevier, 2010.
- [J2] ***G. Biczók**, S. Kardos and T. A. Trinh. Pricing Internet Access in the Presence of User Loyalty. *Netnomics*, 11(2):119-147, Springer, 2010.
- [J3] M. A. Rónai, K. Fodor, **G. Biczók**, Z. Turányi, and A. Valkó. MAIPAN: Middleware for Application Interconnection in Personal Area Networks. *Híradástechnika*, Selected Papers, 60(12):32-36, 2005.
- [J4] **G. Biczók**, N. Égi, P. Fodor, B. Kovács, and R. Vida. Scalable Addressing and Routing in Large-Scale Wireless Networks. *Production Systems and Information Engineering*, 2:143-158, 2004.
- [J5] **G. Biczók**, N. Égi, P. Fodor, B. Kovács, and R. Vida. Skálázható útvonalválasztás mobil környezetben. *Híradástechnika*, in Hungarian, 59:26-31, 2004.
- [J6] **G. Biczók**, K. Fodor, and B. Kovács. Handover Latencies in BCMP Networks. *Communications: Scientific Letters of the University of Zilina*, 6(1):34-37, 2004.
- [J7] **G. Biczók**, K. Fodor, B. Kovács, and A. Szabó. Pervasive Computing – An Overview. *Híradástechnika*, Selected Papers, 58(6):2-7, 2003. Pollák-Virág Award of the Scientific Association for Infocommunications, Hungary.

Konferenciatickek

- [C0] A. Gunther, I. Gódor, L. Hévízi, M. Imran, J. Malmudin, P. Fazekas, **G. Biczók**, H. Holtkamp, D. Zeller, O. Blume, and R. Tafazolli. Enablers for Energy Efficient Wireless Networks. In: Proc. of *IEEE GreenNet Workshop, VTC Fall 2010*, 2010.
- [C1] L. Sanchez, O. Blume, M. Gonzalez, **G. Biczók**, D. Ferling, and I. Gódor. EARTH: Paving the Way for Future Energy Efficient Broadband Wireless Networks. In: Proc. of *MONAMI 2010*, 2010.
- [C2] B. Lajtha, **G. Biczók**, and R. Szabó. Enabling Peer-to-Peer Gaming with Network Coding. In: Proc. of *EUNICE 2010*, pp. 75-85, 2010.
- [C3] ***G. Biczók**, L. Toka, T. A. Trinh, and A. Vidács. On Incentives in Global Wireless Communities. In: Proc. of *1st ACM Workshop on User-Provided Networking (U-NET '09)*, pp. 1-6, 2009.

- [C4] ***G. Biczók**, G. Németh, P. Tarján, F. Kubinszky and A. Veres. SpeedDetect: a simple TCP extension for handling sudden capacity increase. In: Proc. of *5th Euro-NGI Conference on Next Generation Internet Networks (NGI 2009)*, pp. 204-212, 2009.
- [C5] ***G. Biczók** and T. A. Trinh. A User-Influenced Pricing Mechanism for Internet Access. In: Proc. of *6th International Workshop on Internet Charging and QoS Technologies (ICQT'09)*, pp. 49-60, 2009.
- [C6] ***G. Biczók**, S. Kardos, and T. A. Trinh. Pricing Internet Access for Disloyal Users: A Game-Theoretic Analysis. In: Proc. of *ACM NetEcon '08 (an ACM SIGCOMM 2008 workshop)*, pp. 55-60, 2008.
- [C7] *G. Németh, P. Tarján, **G. Biczók**, F. Kubinszky, and A. Veres. Measuring high-speed TCP performance during mobile handovers. In: Proc. of *32nd IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2007)*, pp. 599-612, 2007.
- [C8] M. A. Rónai, K. Fodor, **G. Biczók**, Z. Turányi, A. Valkó. Distributed Service Development in Personal Area Networks. In: Proc. of *15th International Conference on Information Systems Development (ISD2006)*, pp. 161-178, 2006.
- [C9] M. A. Rónai, K. Fodor, **G. Biczók**, Z. Turányi, and A. Valkó. The MAIPAN Middleware. In: Proc. of *Mobilfunktagung '06*, pp. 121-130, 2006.
- [C10] M. A. Rónai, K. Fodor, **G. Biczók**, Z. Turányi, and A. Valkó. MAIPAN: Middleware for Application Interconnection in Personal Area Networks. In: Proc. of *ACM/IEEE Mobiquitous 2005*, pp. 494-498, 2005.
- [C11] K. Fodor, D. Krupp, **G. Biczók**, J. Gerevich, and K. Sugár. SAMSON: Smart Address Management in Self-Organizing Networks. In: Proc. of *EUNICE 2005*, 2005.
- [C12] **G. Biczók**, N. Égi, P. Fodor, B. Kovács, and R. Vida. SCARF: A Scalable Addressing and Routing Architecture for Future Networks. In: Proc. of *Polish-Czech-Hungarian Workshop on Circuit Theory, Signal Processing and Telecommunications 2004*, pp. 19-28, 2004.
- [C13] **G. Biczók**, K. Fodor, and B. Kovács. Handover Latencies in BCMP Networks. In: Proc. of *TRANSCOM 2003*, pp. 300-303, 2003.

Posztterek

- [P1] G. Auer, I. Gódor, L. Hévízi, M. Imran, J. Malmodin, P. Fazekas, **G. Biczók**, and R. Tafazolli. The EARTH Project: Towards Energy Efficient Wireless Networks. Showcase presentation, In: Proc. of *Future Network and Mobile Summit 2010*, 2010.
- [P2] **G. Biczók**, W. Young, and A. Kuzmanovic. Monitoring Network Bias. Poster paper, In: Proc. of *ACM SIGCOMM 2008*, poster paper, 2008.
- [P3] **G. Biczók**, R. Vida. On Faster and Fair Lookup Operation in Content-Addressable Networks. Poster paper, In: Proc. of *ACM CoNEXT 2005 Student Workshop*, pp. 226-227, 2005.
- [P4] B. Kovács, R. Vida, and **G. Biczók**. Hierarchical Architecture for Managed Wireless Networks. Poster paper, In: Proc. of *ACM CoNEXT 2005 Student Workshop*, pp. 260-261, 2005.

Szabadalmi bejelentések

- [S1] *G. Németh, F. Kubinszky, A. Veres, **G. Biczók**, and P. Tarján. Technique for improving congestion control. Patent Document, Application nr: PCT/EP2008/004549, Publication nr: WO/2009/146726, Ericsson.
- [S2] *G. Németh, F. Kubinszky, A. Veres, **G. Biczók**, and P. Tarján. Reducing Buffer Overflow. Patent Document, Application nr: PCT/EP/2007/051204, Publication nr: WO/2008/095535, Ericsson.

Meghívott előadások

- [T1] **G. Biczók**. Monitoring Network Bias. Invited Talk, *FuturICT 2009: Hungarian-Japanese Joint Conference on Future Information and Communication Technologies*, Budapest, Hungary, June 2009.
- [T2] **G. Biczók**. FIND – a következő generációs Internet. Invited Talk, *IPv6 Workshop 2007*, in Hungarian, Magyar Telekom, Budapestm Hungary, May 2007.
- [T3] ***G. Biczók**. High-Speed Mobile Characteristics and TCP Performance. Invited Talk, *Evergrow Traffic Observatory Measurement InfrastruCture (ETOMIC) Workshop 2006*, Collegium Budapest, Budapest, Hungary, February 2006.

* Tézisekhez kötődő publikáció.