

Peer-to-peer adattároló rendszer menedzselése önző társadalomban

TOKA LÁSZLÓ, VIDÁCS ATTILA

Nagysebességű Hálózatok Laboratóriuma

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

{toka, vidacs}@tmit.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: peer-to-peer hálózatok, tárhely-megosztás, játékelmélet, ösztönző mechanizmus, árazás

A cikkben bemutatunk és összehasonlítunk két lehetséges menedzselési módot peer-to-peer adattároló rendszerekre, ahol a résztvevők a hálózaton lévő egyéb felhasználók lemezein tárolhatják a saját adataikat, ezáltal növelve a fontos adatok biztonságát, elérhetőségét és hozzáférhetőségét. A felhasználókat a szolgáltatás nyújtására ösztönző eszközök hiánya miatt javasoljuk, hogy mindegyik résztvevő az általa igénybevett tárhellyel megegyező méretű kapacitást ajánljon fel a társainak (szimmetrikus rendszer), vagy a tárhelyeket egy profit orientált központi szolgáltató ossza szét a kínálatnak és keresletnek megfelelően (pénzalapú rendszer). A nem-kooperatív játékelmélet eszköztárával leírva a felhasználói önzést számításba vevő játékmódot, megvizsgáljuk a kétféle rendszer nyújtotta társadalmi jólétet. Ezt követően szükséges és elégséges feltételeket adunk a kedvezőbb rendszer kiválasztására.

1. Bevezetés

Az Internet indulása óta szárnyaló digitális társadalom fejlődése megköveteli, hogy manapság már bármely digitális tartalom létrehozható, hozzáférhető és módosítható legyen a hálózatba kapcsolt elektronikus eszközök széles palettájának bármelyikéről. Ezért egy megfelelő, korszerű adattároló rendszer különféle szolgáltatásokat kell, hogy biztosítson a felhasználóknak, mint például a könnyű hozzáférhetőség, a fizikai tárolóeszközök kimaradása elleni védelem, a rövid adatátviteli idő a rendszer és egy adott eszköz között, vagy a verziókezelés. Ebben a környezetben az adatok hálózaton belüli (online) tárolási lehetősége biztató megoldásként jelenik meg.

A megoldásban rejlő piaci lehetőséget számos vállalat kihasználja: legtöbbjük az adott online adattárolókapacitás (2 és 25 között GB) szolgáltatását ingyen nyújtja, amelyet tetszés szerint és éves díj ellenében ki lehet bővíteni (a GB-kénti ár hozzávetőleg 1 dollár). Mindazonáltal, amíg egy ilyen „raktározó” szolgáltatás kialakítása hatalmas tárolókapacitás meglétét kívánja meg, elképzelhető kisebb, de több lehetséges tároló használata maguknál a szolgáltatás felhasználóinál, ahogy a peer-to-peer rendszerekben szokás. Egy peer-to-peer tároló rendszerben a résztvevők a szolgáltatásnyújtók és -felhasználók egyben: mindegyik résztvevő felajánlja a lemezkapacitásának egy részét a többi felhasználónak, ugyanakkor igénybe vesz tároló szolgáltatást másoknál. A szolgáltatás hozzáadott értéke ekkor a meghibásodások ellen irányuló védelemből, az adatok könnyű hozzáférhetőségéből, a beépíthető verzió menedzsmentből, és a felajánlott illetve igénybevett szolgáltatás különbségéből származik.

Egy online tároló szolgáltatás csak akkor értékelhető, ha az adatok mindig elérhetőek: ezért a lemez meghibásodások és a rendszerről gyakorta lekapcsolódó

résztvevők elleni küzdelem jegyében az adatok többszörös másolatait teríteni kell különböző felhasználók lemezein. A rendszer megfelelő szintű működéséhez tehát szükség van arra, hogy a résztvevők felajánlják a lemezerületük egy elegendő hányadát a rendszer számára, illetve hogy az idő elegendő részében elérhetőek (online) maradjanak. Ezzel szemben – a szolgáltatáshoz hozzájáruló felhasználóknak adott jutalom hiányában – a felhasználók nyilvánvalóan csak részesülni akarnak a szolgáltatásból, de nyújtani nem, hiszen egy ilyen szolgáltatás költségeket (vagy legalábbis kényszereket) támaszt a résztvevőkkel szemben, akik vonakodhatnak a tárolókapacitásuk egy részének felajánlásától és inkább saját céljaikra használnák azt.

A cikkben bemutatott munka azokra az ösztönző eszközökre koncentrál, amelyek alkalmazhatóak a résztvevők szolgáltatáshoz való hozzájárulásának elősegítésére. Írásunkban – a játékelmélet terminológiáját használva – a felhasználókat „önzőnek” tekintjük, akik csak az általuk igénybevett szolgáltatás minőségére érzékenyek, a cselekedeteik másokra gyakorolt hatásait figyelmen kívül hagyva. A nem-kooperatív játékelmélet szerkezete [7] így különösen alkalmas a felhasználók között létrejövő kölcsönhatások vizsgálatára.

Amíg a peer-to-peer fájlmegosztó rendszerekben a gazdasági szempontok már alapos elemzésre kerültek ([2,4,8,9] és referenciáik), tudomásunk szerint a peer-to-peer adattároló hálózatok körében nincsenek ilyenfajta eredmények. A két alkalmazási terület gazdasági modellezése néhány igen fontos kérdésben eltér egymástól: fájlmegosztó rendszerekben, amikor egy felhasználó közzétesz egy fájlt a közösség számára, értéket ad a rendszerhez *minden* felhasználó szempontjából; ebben az értelemben a felajánlott erőforrás közös jószág. Ellenben egy adattároló rendszerben a felajánlott memória minden kiosztott szelete *csak* egy felhasználónak adható.

A peer-to-peer tároló rendszerekkel foglalkozó irodalom főleg a biztonságra, megbízhatóságra és műszaki megvalósíthatósági kérdésekre koncentrál [3,6,10], míg az ösztönző szempontok kevesebb figyelmet kapnak. Csupán olyan megoldásokat alkalmaznak, amelyek nem támaszkodnak pénzügyi tranzakciókra, ezért a felajánlásra való ösztönzést a cserébe kapott szolgáltatás jelenti. Ez a megközelítés végül egy olyan rendszerhez vezet, ahol minden résztvevőnek legalább olyan mértékben kell hozzájárulnia a rendszerhez szolgáltatás tekintetében, amennyit ő igénybe kíván venni másoktól [5,11]. Ezt a szerkezetet nevezük szimmetrikus rendszernek.

A szimmetrikus mellett ebben a cikkben pénzalapú megoldásokat is vizsgálunk: a felhasználók meghatározott egységáron vehetnek másoktól illetve adhatnak el a sajátjukból tárhelyet a rendszerben. Gazdaságtanból ismert, hogy ha az egységárakat a kínálati és keresleti görbék határozzák meg (mint egy tökéletes piacon), akkor az önző felhasználók döntései egy társadalmilag is hatékony helyzethez vezetnek. Mindazonáltal valószínűbb eset az, hogy a rendszert egy profitorientált szerv menedzseli, amely a saját jövedelmét a legvégsőkig fokozandó alakítja ki az árakat. Ekkor ez a menedzselő szerv egy úgynevezett Stackelberg (vagy vezető-követő) játék vezetőjeként cselekszik [7].

A cikkben felvetett fő kérdés az, hogy vajon közjóléti szempontból jobb-e a szimmetrikus rendszer bevezetése, vagy érdemes egy profitorientált monopólium kezébe adni az árak meghatározását. Néhány, a felhasználók hasznossági függvényére vonatkozó feltevés után levezetünk egy szükséges és elégséges feltételt arra vonatkozóan, hogy mikor célszerűbb szimmetrikus rendszert bevezetni. Arra a következtetésre jutunk, hogy a felhasználói preferenciák körében tapasztalt eltérések nagyobb mértéke inkább az árazás-alapú rendszereket helyezi előtérbe, és egy adott felhasználói sokszínűségi küszöb fölött még egy monopólium által vezérelt rendszer is jobb lesz társadalmilag, mint a szimmetrikus.

A cikk felépítése a következő. Először is bemutatjuk a modellt, amely leírja a felhasználói preferenciákat, és a két vizsgálandó ösztönző rendszert, a szimmetrikus és a profitorientált monopólium rendszert. Ezt követően meghatározzuk a társadalmi jólét mértékét és a két rendszert jellemző értékeket. Ezek összehasonlítása a 4. fejezetben történik, ahol leírjuk az adott társadalomnak legelőnyösebb menedzsmint rendszert, végül pedig közlé tesszük következtetéseinket is.

2. Modell

2.1. Elérhetőség, redundancia és adatátvitel

Egy adattároló rendszerben az elmentett adatok elérhetősége tekinthető a legfontosabb tényezőnek a felhasználók szempontjából. Mivel a tároló eszközök a felhasználók magántulajdonai, nincs közvetlen eszközünk egy felhasználó hálózatban tartására és így az el-

érhetőség biztosítására az idő 100 százalékában. Azt feltételezzük ezért a rendszer működéséről, hogy ha észleli egy felhasználó távozását, rögtön elindítja az adott gépen tárolt adatok még a rendszerben lévő másolatából való sokszorosítását, pótolva a kiesett másolatokat egyéb résztvevők felajánlott tárhelyein. Továbbá, amikor egy előzőleg távozott felhasználó újra elérhetővé válik a hálózaton, új adatmennyiség fog érkezni az általa felajánlott tárhelyre, függetlenül attól, hogy melyik felhasználó milyen állományait tárolta azelőtt.

Egy ilyen adatvédelmi mechanizmus jelentős adatátviteli forgalmat idézhet elő, ezzel erőforrásbeli költségeket okozva a felhasználóknak (CPU, hálózati sávszélesség stb.). Egy adott szereplőt két helyzetben is érintenek adatmozgatások: amikor egy inaktív (offline) időszak után visszatér a hálózatba (új adatteher) és mikor más felhasználók elhagyják, illetve visszatérnek a rendszerbe (feltöltés ha az adott felhasználó tárol a távozó felhasználó tárolt adataiból másolatot, letöltés ha az adott felhasználóra nagyobb adatmennyiséget kell tárolnia a távozók miatt). Az első helyzet által előidézett átlagos adatátvitel arányos a felhasználó (i) által felkínált kapacitással (C_i) és a felhasználó átlagos elérhetőségével (π_i). Így a felhasználó átlagos aktív (vagy inaktív) időtartamát t_i^{on} -al (illetve t_i^{off} -al) jelölve az adatmozgatás átlagos nagysága arányos $C_i/(t_i^{\text{on}} + t_i^{\text{off}})$ -nal. A második helyzetben fellépő adatcserére jellemző átlagos adatmennyiség, időegységre vetítve, arányos a (felkínált tárhelyek nagyságával) súlyozott átlagos állapotváltoztatási sebességgel ($\bar{\mu}$) az összes felhasználóra vetítve. Ez a költség csak azoknál jelenik meg, akik ajánlanak fel tárhelyet és csak az elérhető (online) időben.

Egy adott felhasználó által érzékelt adatátviteli költségek kifejezhetők a $C_i\pi_i(\delta_i/t_i^{\text{on}} + \gamma_i\bar{\mu})$ mennyiséggel, ahol a δ_i és γ_i paraméterek olyan felhasználói jellemzőségeket írnak le, mint például az érzékenység, a hozzáférési sávszélesség vagy a hardverprofil teljesítménye.

2.2. Felhasználói preferenciák

Ebben a szakaszban bemutatjuk egy felhasználó preferenciáit az értékfüggvényének leírásával. Ez a függvény megadja a felhasználó által igénybevett szolgáltatás értékelését a rendszerben tárolt adatai méretének (C_i^s) függvényében és az adott mértékű ($C_i^o := \pi_i C_i$) tárhely-felajánlása okozta költségeket, illetve a lehetőség szerint megjelenő pénzügyi tranzakciókat.

Definíció

Egy felhasználó U_i hasznosságfüggvénye a következő:

$$U_i(C_i^s, C_i, t_i^{\text{on}}, t_i^{\text{off}}, \epsilon_i) = V_i(C_i^s) - \underbrace{O_i(C_i\pi_i) - C_i\pi_i(\delta_i/t_i^{\text{on}} + \gamma_i\bar{\mu})}_{P_i(C_i, t_i^{\text{on}}, t_i^{\text{off}})} - \epsilon_i,$$

ahol

- $V_i(C_i^s)$ a tárolószolgáltatás i felhasználó általi értékelése, azaz az ár, amit még hajlandó kifizetni C_i^s mennyiségű adat rendszerben való tárolásáért. Feltételezzük, hogy $V_i(\cdot)$ pozitív, folytonosan differenciálható, növekvő és paraméterében konkáv.

- $P_i(C_i, t_i^{on}, t_i^{off})$ az i felhasználó által felajánlott C_i kapacitással járó teljes költség. Ez két megkülönböztethető költségből áll:
 - $O_i(C_i, \pi_i)$ használdozati költség, amely a tárolókapacitás másoknak való felajánlása miatt keletkezik ahelyett, hogy a felhasználó saját céljaira használná azt, ahol $O_i(\cdot)$ feltehetően pozitív, folytonosan differenciálható, növekvő és szigorúan konvex
 - $C_i \pi_i (\delta_i / t_i^{on} + \gamma_i \bar{\mu})$ adatátviteli költség az adatvédelmi mechanizmus miatt, amelyet a fentebb leírt módon alkalmaz a rendszer.
- ϵ_i a pénzügyi tranzakció, amit a felhasználó fizet a szolgáltatásért. Ez a tag szimmetrikus rendszer esetén nulla, egyébként megegyezik az adatai rendszerben való tárolásának ára és a lemezterületének felajánlásáért kapott díjazás különbségével.

2.3. Együttműködésre ösztönző mechanizmusok

A felhasználók önző módon választják ki azokat a stratégiáikat, amelyek a lehető legnagyobb szintre emelik a hasznosságérzetüket. Feltesszük, hogy a saját tárolandó adatmennyiség (C_i^s) és a felajánlott tárhely (C_i^o) döntéseken kívül mindegyik felhasználó az elérhetőségről (π_i) is tud dönteni.

Ebben a fejezetben bemutatjuk azt a két fajta ösztönző mechanizmust, amelyet a későbbiekben összehasonlítani szándékozunk. Mindkét rendszer feltételezheti egy központi hatóság vagy engedélyezési szolgáltatás létezését, amely ellenőrzi a felhasználók viselkedését és/vagy kezeli a kifizetéseket.

Mivel modellünk kereskedelmi szolgáltatáshoz kíván alapot nyújtani, nem próbáljuk elkerülni a központi szerv bevezetését.

Szimmetrikus rendszer

Ahogy a bevezetésben felidéztük, ezen rendszerek alapvető elve az, hogy a felhasználókat legalább akkora szolgáltatás nyújtására kötelezzük, amekkora szolgáltatást igénybe vesznek a többi felhasználónál, azaz $C_i^o \geq C_i^s$. Mindegyik felhasználó elérhetőségét ellenőrizzük (akár véletlen időközönként) annak biztosítása céljából, hogy $C_i^o = \pi_i C_i^s$ értéke nem esik C_i^s alá.

Pénzalapú rendszer

Egy olyan egyszerű fizetés alapú rendszert tekintünk, ahol a felhasználók tárhelyet tudnak venni a rendszerben p^s egységáron (tár- és időegységankénti ár) és a saját lemezkapacitásukat el tudják adni (rendelkezésre állási időátlag szerinti) p^o egységáron.

A felhasználó által fizetendő pénz (amely érték akár negatív is lehet, tehát pénzt kap a rendszerből):

$$\epsilon_i = p^s C_i^s - p^o C_i^o.$$

Ebben a cikkben feltesszük, hogy az árakat egy központi, profitorientált szolgáltató diktálja a saját jövedelmének növelését szem előtt tartva, miközben *a priori* ismerete van a felhasználók stratégiáiról. Az üzemeltető így el tudja érni az adott játékból kihozható maximális profitot, és ebben az értelemben egy Stackelberg (vagy vezető-követő) játék vezetőjeként cselekszik [7]. A rend-

szer valós implementációja esetén az üzemeltető tökéletesen nem tudhatja a felhasználói reakciókat, de az árak iteratív változtatásával konvergálhat a maximális profitot hozó kereskedelmi árak közelébe.

2.4. Felhasználók elérhetősége

A vizsgált játékban egy felhasználónak négy stratégiai változója van, nevezetesen a rendszer felé felajánlott kapacitás (C_i), az igénybevett hálózati tárhely nagysága (C_i^s) és az átlagos online (t_i^{on}), illetve offline (t_i^{off}) töltött időtartamok. A hasznosság alapján ha C_i^s és C_i^o rögzítettek, a felhasználó hasznosságérzete növekszik t_i^{on} -ben, tehát érdekében áll ezt a lehető legmagasabb értékre állítani. \bar{t}_i^{on} -al jelöljük azt a maximális korlátértéket, amit a felhasználót sújtó ellenőrizhetetlen események (áramkimaradások, balesetek, hardver-meghibásodások stb.) okoznak.

Vegyük észre, hogy az egyes felhasználók önző viselkedése jövedelmező az egész rendszer számára: a hosszabb online töltött időszakok kevesebb adatvédelmi átvitelt jelentenek és ezért kisebb költségekkel jár a rendszer fenntartása (kicsi $\bar{\mu}$ paraméter).

Szintén figyelemre méltó, hogy ebben az esetben, bevezetve a $p_i^{\min} := \delta_i / \bar{t}_i^{on} + \gamma_i \bar{\mu}$ jelölést, az adatátviteli költség egyszerűen $C_i^o p_i^{\min}$ -ként íródik.

2.5. Keresleti és kínálati függvény

A közgazdasági tudományokban széles körűen használt keresleti és kínálati függvények egyenesen származtathatóak a fogyasztók értékfüggvényéből és az ellátók költségfüggvényéből. Mindazonáltal a jelen esetben egy felhasználó egyben fogyasztó és ellátó is lehet.

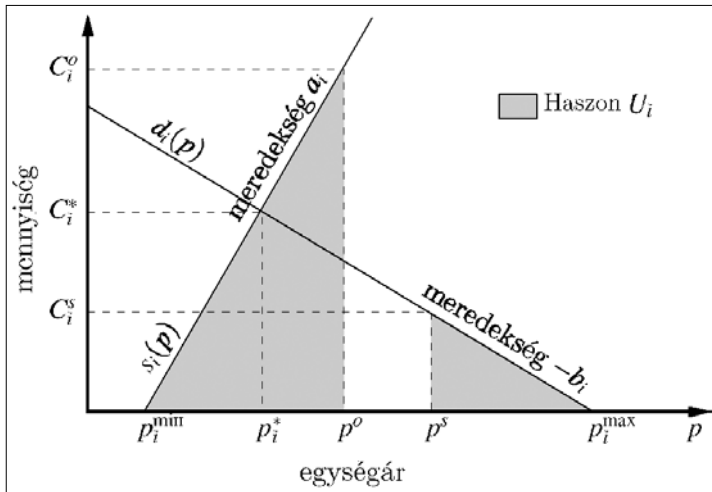
Egy felhasználó kínálati (vagy keresleti) függvényének hívjuk az $s_i(p)$ (illetve $d_i(p)$) függvényt, amely megadja azt a tárolókapacitást, amit a felhasználó eladna (vagy vásárolna) ha p egységárat kapna (illetve kellene fizetnie) érte.

Az egyszerűség kedvéért a továbbiakban bemutatott eredményeink bizonyos kvadratikus érték- és használdozati költségfüggvényekre és kvázi-lineáris keresleti és kínálati függvényekre vonatkoznak.

Feltevésaink alapján a felhasználó leírható négy paraméter segítségével (lásd az 1. ábrán):

- két árküszöb (p_i^{\min} és p_i^{\max}), melyek az egységárok minimális és maximális értékét mutatják a felhasználó szempontjából lemezterület-eladás, illetve -vétel elhatározásához;
- két árérzékenység (a_i és b_i), amelyek egyenként mutatják az eladási egységár növekedése esetén az eladott tárhelymennyiség emelkedését, illetve a vételi egységár emelésével a vásárolt tárhelykapacitás egyidejű csökkenését.

Az összkínálati függvény $S := \sum_{i \in I} s_i$ tehát egy (egyenként lineáris) növekvő konvex függvény a $[\min_i p_i^{\min}, \max_i p_i^{\max}]$ intervallumon. Hasonlóképpen a teljes keresleti függvény $D := \sum_{i \in I} d_i$ konvex függvény $[\min_i p_i^{\min}, \max_i p_i^{\max}]$ intervallumon, ahogy azt a 2. ábra illusztrálja a következő oldalon.



1. ábra Felhasználói ár-reakciók és hasznosság

3. Ösztönző mechanizmusok társadalmi jóléti szerepe

Ebben a fejezetben bemutatjuk az ösztönző rendszerek összehasonlítására szolgáló teljesítményvizsgálat alapját és megvizsgáljuk a társadalmi optimum és a két ösztönző mechanizmus nyújtotta értékeket.

Definíció

Társadalmi jólétnak (W) nevezzük a rendszerbeli felhasználók értékeléseinek az összegét:

$$W := \sum_{i \in I} V_i(C_i^s) - P_i(C_i^o).$$

Megjegyzendő, hogy a társadalom tagjaként tekintett üzemeltető által kezelt pénz (például amit a felhasználóktól kap) a rendszeren belül marad és ezért nem befolyásolja a társadalmi jólétet.

3.1. Az optimális társadalmi jólét

A rendszer által elérhető (a társadalmi jólét alapján) optimális helyzet keresése egy maximalizálási probléma, a $\sum_i C_i^o \geq \sum_i C_i^s$ kényszer alatt.

Ez a klasszikus konvex optimalizálási probléma megoldható Lagrange-módszerrel: az elérhető maximális társadalmi jólét (W^*) és az úgynevezett p^* „árnyékár” láthatóak a 2. ábrán (balra). Megjegyzendő, hogy ez az optimális kifejelet elérhető pénzalapú ösztönző rendszer esetén ha $p^o = p^s = p^*$.

3.2. Szimmetrikus rendszer eredményei

A szimmetrikus rendszerben minden felhasználó úgy választja meg a stratégiáját (C_i^o és C_i^s), hogy maximalizálja a saját hasznosságát, a $C_i^o \geq C_i^s$ szigorú feltétel teljesítése mellett.

Megmutatható [13], hogy a felhasználó érdekében a $C_i^s = C_i^o = C_i^*$ stratégia megjátszása áll, ebben a pontban éri el a lehető legnagyobb hasznosságot (1. ábra). Ebben az esetben minden felhasználó tárhely kapacitást „cserél” a többiekkel p_i^* „virtuális egységáron”. Így azonban az optimális esethez viszonyítva minden egyes felhasználó „hasznot veszít”, ezért a rendszer a társadalmi összjólétet tekintve szuboptimális.

Hangsúlyozandó, hogy ez a jólétsökkenés a felhasználók p_i^* -jeinek sokszínűségétől függ. Csak különleges esetben, ha az összes felhasználó ugyanazzal a p_i^* -vel bír, a szimmetrikus rendszer optimális társadalmi jóléthez vezet.

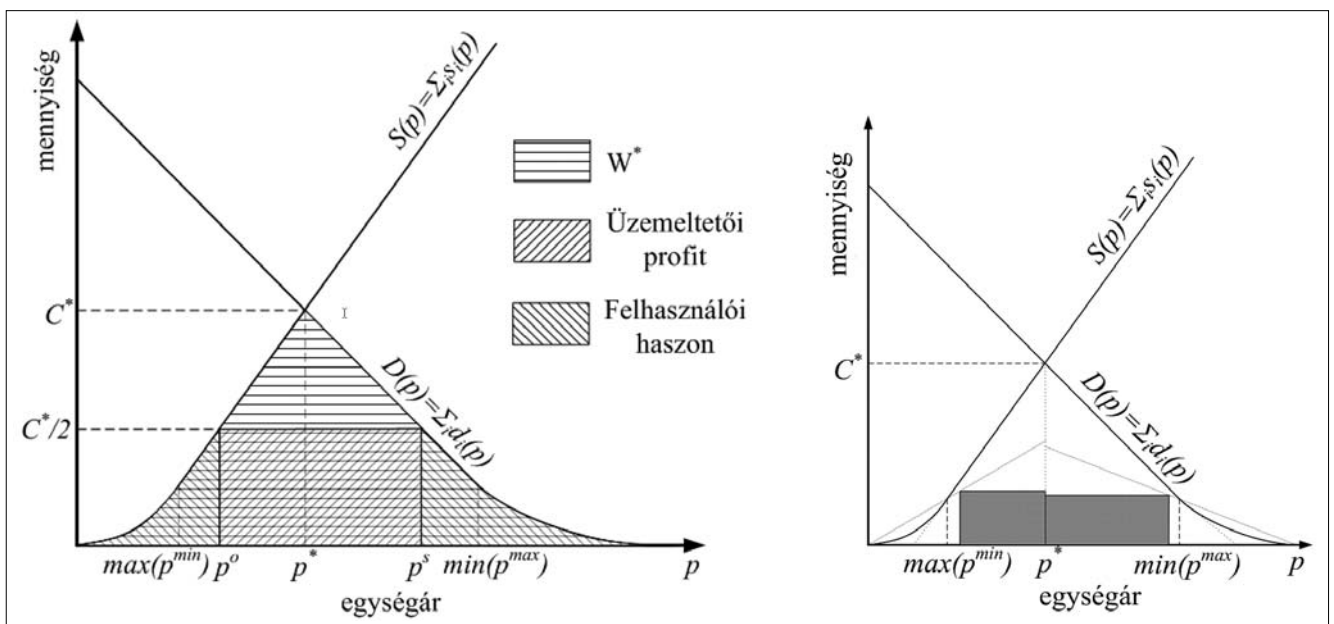
3.3. Profitorientált, pénzalapú rendszer eredményei

Az itt tárgyalt árazó mechanizmusban a rendszer-operátor arra törekszik, hogy a lehető legnagyobb profitot vegye ki a rendszerből az árak (p^s és p^o) megfelelő beállításával.

2. ábra

Balra: Összkínálati S és összkereslet D függvények, maximális közösségi jólét (vízszintes vonalkázott zóna) és hasznosság-megoszlás (ferdén vonalkázott zónák) a profitorientált monopólium rendszer esetén.

Jobbra: Az 1. állítás illusztrációja.



Vizsgáljuk meg egy profitéhes monopólium legjobb választásait. A 2. ábra bal oldalán két görbe látható: a teljes kínálat (S) és az összes kereslet (D) az eladási (p^o), illetve vételi (p^s) egységár függvényében. Az elsődleges észrevétel az, hogy úgy kell megválasztani p^o és p^s egységárakat, hogy a kínálat pont kielégítse a keresletet, különben az üzemeltető tovább tudná növelni a bevételét p^o csökkentésével (ha a kínálat meghaladja a keresletet), vagy p^s növelésével (ha túlkereslet van). Ekkor a helyes árak megválasztásával az üzemeltető jövedelmét a téglalap területe mutatja (2. ábra, balra), amelyet magába foglal az optimális jólét értékét jelző, háromszög alakú terület.

Ahhoz, hogy képesek legyünk megjósolni az operátor ténylegesen legnagyobb profitot nyújtó választásait, feltesszük a következőket a felhasználók árküszöb-preferenciáival kapcsolatban: A p_{min} és p_{max} árküszöb preferenciák eloszlása olyan, hogy a legkisebb és legmagasabb értékek különbsége nem túl nagy az értékek átlagához képest (kicsi a szórás). Továbbá az a_i (illetve b_i) felhasználói preferencia paraméterek függetlenek, azonos eloszlást követnek, illetve a_i és b_i függetlenek.

Most már kifejezhetjük a monopol irányította rendszer társadalmi jólétét: feltevéseink teljesülése esetén a profitorientált monopol-operátor irányította rendszer társadalmi jólétére (W_{mon}) fennáll, hogy

1. állítás

$$W^* - W_{mon} = \frac{1}{8} C^{*2} \left(\frac{1}{\sum_i a_i} + \frac{1}{\sum_i b_i} \right)$$

4. Melyik rendszer a jobb?

A következőkben összehasonlítjuk a két javasolt (szimmetrikus és pénzalapú) ösztönző rendszer teljesítményét.

A fenti eredmények alapján megfogalmazhatjuk a következő állítást: (a fenti feltételek teljesülése mellett) a szimmetrikus rendszer előnyösebb, mint a profitorientált, akkor és csak akkor, ha

2. állítás

$$\frac{1}{4} C^{*2} \left(\frac{1}{\sum_i a_i} + \frac{1}{\sum_i b_i} \right) \geq \sum_i (a_i + b_i) (p^* - p_i^*)^2$$

Azaz, ha a globális árnyékár és a felhasználónkénti virtuális árak különbsége nem számottevő, akkor a szimmetrikus rendszer a jobb.

A 2. állítás összefoglalja a négy felhasználói preferencia-leíró tényezőt (a p_{min} , p_{max} árküszöböket és a , b érzékenységeket) a magasabb társadalmi jólétet biztosító szerkezet meghatározása céljából. Míg a jobboldalon a p_i^* ($a_i + b_i$) által súlyozott szórása szerepel, a bal oldali kifejezést nehéz értelmezni. Ezért javasoljuk kivételes esetek kivizsgálását, ahol a felhasználók közötti különbség csupán az érzékenységekben (illetve árküszöbökben) mutatkozik.

4.1. Homogén árküszöbök

Ebben a szakaszban feltesszük, hogy a felhasználók csak az érzékenységekben (a_i, b_i) különböznek, egyébként ugyanazokkal az árküszöb értékekkel (p_i^{min} és p_i^{max}) jellemezhetők. (Ez a leegyszerűsített modell volt egy elő-

ző munkánk [12] témája, ezért itt röviden megemlíjük a főbb eredményeket.)

Ekkor bizonyítható ([12]-ben belátva), hogy

$$W_{sym} = \left(\frac{1}{\sum_i a_i} + \frac{1}{\sum_i b_i} \right) \sum_i \left[\frac{1}{a_i + b_i} \right] W^*,$$

$$W_{mon} = \frac{3}{4} W^*,$$

amiből következik az alábbi összehasonlítás: a szimmetrikus rendszer előnyösebb, mint a profitorientált, akkor és csak akkor, ha

$$\left(\frac{1}{\sum_i a_i} + \frac{1}{\sum_i b_i} \right) \sum_i \frac{1}{a_i + b_i} \geq \frac{3}{4}.$$

Ezen kívül ha az (a_i, b_i) párok minden felhasználóra függetlenül választódnak azonos eloszlással, a nagy számok törvénye miatt a szimmetrikus rendszer az előnyösebb, akkor és csak akkor, ha

$$\frac{\mathbb{E}[f(a,b)]}{f(\mathbb{E}[a], \mathbb{E}[b])} \geq \frac{3}{4}$$

amikor a felhasználók száma a végtelenhez tart,

$$f : (x, y) \mapsto \frac{1}{1/x + 1/y} \text{ függvényel.}$$

Megjegyezzük, hogy ha (a, b) determinisztikus, akkor a bal oldali kifejezés megegyezik 1-gyel, és a szimmetrikus rendszer jobb, mint a profitorientált pénzalapú rendszer, ahogy ezt megjegyeztük fentebb.

Megmutatható, hogy ha a (illetve b) egyenletes eloszlást követ a $[0, a_{max}]$ (illetve $[0, b_{max}]$) intervallumon, a tételben szereplő egyenlőtlenség mindig igaz.

Ha a (illetve b) exponenciális eloszlást követ μ_a (ill. μ_b) paraméterrel, a μ_a és μ_b paraméterek relatív értékeitől függően a profitorientált monopólium is végezhet jobb eredménnyel.

4.2. Homogén érzékenységek

Itt azt az esetet tekintjük, amikor az árküszöb (p_i^{min} és p_i^{max}) paraméterekben különböznek a felhasználók, de az érzékenység (a_i és b_i) mindenkinél ugyanaz. Továbbá a (p_i^{min}, p_i^{max}) párok minden felhasználóra függetlenül választódnak azonos eloszlással, illetve p_i^{min} és p_i^{max} függetlenek. Ebben az esetben azt állítjuk, hogy a szimmetrikus rendszer mindig előnyösebb, mint a profitorientált rendszer, azaz a szimmetrikus rendszer magasabb társadalmi jólétet eredményez, mint a pénzalapú rendszer.

5. Összefoglalás

A bemutatott munka peer-to-peer adattároló rendszerekben alkalmazandó felhasználói ösztönző mechanizmusokkal foglalkozik. Játékelméleti modellel leírva a rendszerben szereplők (felhasználók és az üzemeltető) önző viselkedését két alkalmazható ösztönző rendszer – egy szimmetria-alapú és egy profitorientált fizetés-alapú – bevezetésének kimeneteleit tanulmányoztuk és hasonlítottuk össze.

Nem csak a rendszer számára felajánlott magán tárhelyméret volt az ösztönzés tárgya, hanem a felhasználó és ezáltal a tárolt adat elérhetősége és a megbízhatósága is, hisz a tároló rendszerekben ezek különösen

fontos szempontok. Összehasonlítva a két rendszerben elért társadalmi jóléti szinteket, néhány, a felhasználói preferenciákra tett feltevés alatt, egy szükséges és elégséges feltételt állítottunk fel, amely teljesülése esetén az egyik fajta menedzsment előnyösebb a másikkal: bebizonyosodott, hogy ha a felhasználók sokszínűsége magas, a profitorientált fizetés-alapú rendszer társadalmilag kívánatosabb, mint a szimmetrikus.

Köszönetnyilvánítás

Toka László ezúton mond köszönetet Patrick Maillé-nak, aki nem szűnő gondoskodással segítette munkáját, valamint a diplomamunkáját elbíráló záróvizsga-, illetve a HTE diploma-pályázati bizottságnak, akik lehetővé tették e munka megjelenését.

A szerzőkről

Toka László 2007-ben szerezte villamosmérnöki diplomáját a BME VIK Távközlés szakán. Utolsó két tanulmányi évét Franciaországban töltötte, ahol megkapta a Télécom Bretagne, az Institut Eurecom és az Université de Nice Sophia-Antipolis intézmények által adományozott diplomákat is ugyanazon szakterületen. Hallgatóként folytatott kutatásainak témája az elosztott rendszerek gazdasági modellezése és az ezzel kapcsolatos mechanizmusok kidolgozása volt, amelyben több publikációja is született, illetve OTDK 3. helyezést ért el. Jelenleg a BME Informatikai Tudományok Doktori Iskolája és a Télécom Paris kutatóműhelyeiben folytatja munkáját a témában, első éves doktorandusz hallgatóként.

Vidács Attila 1996-ban végzett okleveles villamosmérnöként a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán. Doktoranduszi tanulmányait a BME Távközlési és Médiainformaticai Tanszékén végezte, a PhD fokozatot 2001-ben kapta meg a Villamosmérnöki Tudományok Doktori Iskolában. 1997-ben a tokiói Nippon Telegraph and Telephone Corp. K+F központjában, 1996-ban és 1999-ben pedig a Helsinki Műszaki Egyetemen dolgozott vendégkutatóként. A doktori fokozat megszerzése óta a BME Távközlési és Médiainformaticai Tanszékén dolgozik, jelenleg tudományos munkatársként. Kutatási területei: a dinamikus frekvenciakiosztás, a vezeték nélküli szenzorhálózatok és a matematikai modellezés.

Irodalom

- [1] E. Adar and B. Huberman, Free riding on gnutella. (Technical Report), Xerox parc, 2000.
- [2] P. Antoniadis, C. Courcoubetis, R. Mason, Comparing economic incentives in p2p networks. *Computer Networks*, 46(1), pp.133–146., 2004.
- [3] C. Batten, K. Barr, A. Saraf, S. Treptin, pStore: A secure peer-to-peer backup system. Technical Report MIT-LCS-TM-632, MIT Laboratory for Computer Science, Dec. 2001.
- [4] C. Courcoubetis, R. Weber, Incentives for large peer-to-peer systems. *IEEE JSAC*, 24(5), pp.1034–1050., May 2006.
- [5] L. Cox, B. Noble, Samsara: Honor among thieves in p2p storage. In Proc. of 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP'03), Bolton Landing, NY, October 2003.
- [6] P. Druschel, A. Rowstron, PAST: A large-scale, persistent p2p storage utility. In *HotOS VIII*, pp.75–80, Schloss Elmau, Germany, May 2001.
- [7] D. Fudenberg, J. Tirole, *Game Theory*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1991.
- [8] P. Golle, K. Leyton-Brown, I. Mironov, M. Lillibridge, Incentives for sharing in peer-to-peer networks. In Proc. of 3rd ACM Conf. on Electronic Commerce (EC'01), pp.264–267., Tampa, Florida, USA, October 2001.
- [9] K. Lai, M. Feldman, I. Stoica, J. Chuang, Incentives for cooperation in peer-to-peer networks. In Proc. of 1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems (P2PECON'03), Berkeley, CA, USA, June 2003.
- [10] M. Lillibridge, S. Elnikety, A. Birrell, M. Burrows, M. Isard A cooperative internet backup scheme. In Proc. of 1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems (P2PECON'03), Berkeley, CA, USA, June 2003.
- [11] B. Stefansson, A. Thodis, A. Ghodsi, S. Haridi, MyriadStore. Technical Report T2006:09, Swedish Institute of Computer Science, May 2006.
- [12] L. Toka, P. Maillé, Managing a Peer-to-Peer Backup System: Does Imposed Fairness Socially Outperform a Revenue-Driven Monopoly? In LNCS Proc. of 4th International Workshop on Grid Economics and Business Models (GECON'07), Rennes, France, 2007.
- [13] L. Toka, Peer-to-peer sharing of hard disks: study of incentive mechanisms (MSc thesis), Budapest, Hungary, 2007.