

Aukció alapú díjazási mechanizmusok IP hálózatokon

RÁNCSEK ISTVÁN, TOKA LÁSZLÓ, VIDÁCS ATTILA

vidacs@tmit.bme.hu

Kulcsszavak: IP hálózat, díjazás, dinamikus mechanizmus, aukció, játékelmélet

Vannak hálózatok, melyekben a szélessávú alkalmazások bizonyos napszakokban túlterheltséget okoznak. Csomagok vesznek el, nő a késleltetés, romlik az átvitel minősége. Ez akadály a folyamatos minőségbiztosításnak az IP alapú hálózatokon. Az új, aukció alapú, elosztott, dinamikus díjazási mechanizmusok sikeresen veszik fel a harcot a torlódással, és hatékony erőforrás-kiosztást biztosítanak. Dinamikus jellegük biztosítja, hogy minden felet kielégítő, optimális állapotra vezetnek. Az előfizetők számára jobb minőséget és reálisabb árakat kínálnak, míg a szolgáltatók nagyobb bevételre tesznek szert.

1. Bevezetés

A sáv szélesség iránti kereslet nő, a felhasználók száma és az egyre nagyobb sáv szélességet igénylő alkalmazások is nagymértékben szaporodnak. A hálózati kapacitások bővítésére tett erőfeszítések ellenére gyakran kielégíthetetlen kereslet alakul ki és torlódás lép fel, amelynek következtében egyes felhasználók csomagjai elvesznek. Hiányzik a szükséges minőségi szint biztosítása. Ezen az Internet szolgáltatások korszerű díjazási mechanizmusainak kialakítása segíthet [1]. Egyes helyzetekben a távközlési hálózat kapacitása nem bővíthető vagy gazdaságilag nem kifizetődő. Példaként tekinthetünk egy síparadicsomot, ahol az időszakos forgalom és nehéz terepviszonyok között vezetékes hálózat kiépítése nem térülne meg, így csak rádiós kapcsolatokkal rendelkezünk. Itt kell a sáv szélesség gazdaságos és fontosság szerinti kihasználását megszervezni.

A jelenlegi árstruktúrák nem teszik lehetővé a közös erőforrások hatékony kiosztását, mert azok a felhasználókat pazarlásra ösztönzik. Nincs meg az a kellő piaci szabályozás, mint a gazdaság egyéb területein: a természetüknél fogva önző fogyasztókat megfelelő díjazással kell ösztönözni a közös erőforrások célszerű és hatékony felhasználására. Mindemellett természetesen szem előtt kell tartani az információ szabad áramlásának védeltségét, és fokozásának fontosságát.

Az utóbbi években a hálózatok és az elosztott rendszerekkel kapcsolatos számítások egyes tulajdonságaik felismerése játékelméleti megfontolások alkalmazásához vezetett. Nyilvánvalóvá vált, hogy egy dinamikus díjazási mechanizmus bevezetése lehet a megoldás, amely minden helyzetben alkalmazkodik a körülményekhez. Ha mindezt játékelméleti megközelítéssel tesszük, olyan díjazási mechanizmust tervezhetünk, amelyben az intelligencia és a döntéshozatal elosztott. Ráadásul a kialakuló folyamatok a közös erőforrás hatékonyabb elosztását eredményezik.

Ha a távközlési szolgáltatások díjazására keresünk lehetséges megoldást a fenti szempontok alapján, végül eljutunk az aukcióhoz, mint a gazdasági verseny leghatékonyabb eszközehez. Az aukciók felhasználásával biztosíthatjuk azt, hogy a véges erőforrásból az arra legmegfelelőbbek részesülnek, és emellett a szolgáltató elégedettségét is elérhetjük.

Jelentek már meg az aukciók egyes fajtáit felhasználó díjazási mechanizmusok a távközlő hálózatokra [1,4,6,8,11], ám ezek, természetesen sok előny mellett, számos hátránnyal rendelkeznek. Ezekre a problémákra próbál megoldást nyújtani az általunk kitalált modell.

Az új modellünk egy díjazási mechanizmus, amely a távközlési hálózatok speciális tulajdonságait szem előtt tartva, megoldást nyújt a jelenleg nagy gondokat okozó torlódások elkerülésére. Nyilvánvalóan emiatt egyfajta minőségbiztosítási szerepet tölt be, habár jelenleg egyre kézenfekvőbb, hogy a díjazás és a minőségbiztosítás, különválaszthatatlan.

Betekintést nyújtunk az erőforrás-díjazási mechanizmusok területére, megmutatjuk a díjazás fontosságát, majd áttekintjük a használatban és kutatási fázisban lévő díjazási struktúrákat, azok előnyeit és hátrányait. Részletesen szólnunk az aukció alapú mechanizmusokról. Ezután egy új, játékelméleten alapuló modellt ismertetünk, amely az előzőeknél kevesebb forgalmi megterheléssel járó decentralizált megoldást kínál erőforrás-kiosztásra, több „játékos” közötti aukcióval.

2. Forgalomérzékeny díjazás

Először hasonlítsuk össze a forgalomérzékeny erőforrás-díjazási modelleket a leggyakrabban használt díjazási mechanizmusokkal!

A forgalomra érzéketlen díjazási struktúrák előnyei:
– az előfizetők nem érzik magukat kötöttnek szigorú kvóták hiányában;

* A tudományosan értékes cikk a forgalom lebonyolítását játékelméleti alapra helyezi. Ennek jelenleg a gyakorlati jelentősége csekély, mert a gerinchálózatok kapacitása világszerte meghaladja az igényeket, a felhasználói hálózat pedig általában egyedi és ebben nem lehet versenyt hirdetni. A közlést az indokolja, hogy lehetnek még olyan területek, ahová a fényvezető hálózat nem ér el, és olyan országok, ahol a hálózat nem alkalmas még valamennyi igény egyidejű kielégítésére. – a Szerk megj.

- könnyű használni, hisz nem követel bonyolult mérési és számlázási alkalmazásokat;
- az előfizetők előre tisztában vannak a fizetési kötelezettségük mértékével.

Mindazonáltal a hátrányai:

- mivel a torlódással nem törődnek, nem is nyújtanak ösztönzést a forgalmi csúcsok csökkentésére, így megfosztanak előfizetőket a szolgáltatáshoz jutástól;
- nem rangsorolják a különböző alkalmazásokat azok igényei szerint, ezért nem tudnak hatékony erőforrás-kiosztási mechanizmust biztosítani;
- a kifelhasználókat terheli a nagy forgalmat bonyolító költségeinek egy része, ami néhány lehetséges előfizetőt távol tart a szolgáltatás igénybevételétől [4].

Habár jobb mintha egyáltalán nem használnánk, azért a csomagonkénti díjazás sem hatékony, ha a mechanizmus nem veszi figyelembe a hálózat terheltségét vagy a felhasználók különböző értékeléseit. MacKie-Mason, Murphy és Murphy (1995) rámutat arra, hogy az előfizetők által tanúsított értékelés heterogén mind a felhasználókat, mind az időpontot tekintve. Ez azt jelenti, hogy a különböző felhasználók különböző mértékben értékelik ugyanannak vagy eltérő alkalmazásoknak a csomagjait, és ezek a preferenciák az aktuális időponttól függően is változnak.

Az optimális díjazásnak több részből kellene állnia: egy fix és egy változó tarifából. A fix rész fedezné a havi előfizető fenntartási, a berendezés karbantartási, számlázási és egyéb állandó jelleggel felmerülő költségeket. Ennek a résznek előfizetőnként változnia kellene annak függvényében, hogy mekkora a maximális rendelkezésre álló sáv szélessége és hogy milyen messze van a szolgáltatói hálózattól. A változó összetevő a hálózat használati díjait fedezné, és a következő tényezők befolyásolnák: a mindenkori hálózati terheltség, a kért átviteli sebesség és az átvitt információ mérete, jelszól a küldött/fogadott csomagok száma.

Amikor a hálózatban nincs torlódás, egy új csomag átvitelének marginális költsége nulla. Amikor torlódás lép fel, a forgalomérzékeny díjazás magasabb egységárat fog kérni a nagyobb forgalmat bonyolító felhasználótól, mint a keskenyebb sáv szélességet foglaló előfizetőtől. Ily módon csak azok a felhasználók fognak fizetni a kiterjesztett kapacitásért, amelyek a torlódás ideje alatt kérték a szolgáltatást. Azok, akik inkább várakoznak, kisebb vagy esetleg költség nélkül vehetik igénybe az Internetet.

Ezek az adaptív ügyfelek akkor tudják emelni a hálózat hatékonyságát, ha megfelelő visszacsatolt jelzéseket kapnak. Ha a hálózat túlterhelt, az érkező jelzés a felhasználó kedvét szegi, hogy a forgalmat tovább növelje. Ez a visszajelzés lehet egy hálózatterheltségtől függő árjelzés: ha nagy a terhelés, nagy az egységár és vica-verza. Azok a felhasználók, akiknek többet ér az információ átvitel, drágábban is az átvitelt fogják választani (torlódásos időszakban). Amikor alig van for-

galom a hálózaton, a csomagtovábbítás ára közel nulla lesz. Ez a modell egyszerre emeli a hálózat kihasználtságát és a gazdasági hatékonyságát.

A MacKie-Mason és Varian által kitalált Okos Piac (Smart Market, 1996) elnevezésű modell játszotta az úttörő szerepet a dinamikus díjazások területén az aukció használatának bevezetésével. Azóta lényegében az összes torlódást kezelő erőforrás-allokációs eljárás ennek továbbfejlesztése. A lényeges szempontok, melyeken még mindig akad javítani való: a díjazási többlet-információk (overhead) nagysága, az aukció lefolyásának gyorsasága, az átviteli minőség biztosítása és természetesen a díjak alakulása (főleg a szolgáltató bevételeinek alakulása). Éppen ezeken a területeken próbál haladást elérni modellünk.

3. Modell

E fejezet tartalmazza modellünk részleteit. Az egyes fogalmak és függvények bemutatása játékelméleti alapokra támaszkodik. Ezek elsajátítása céljából ajánljuk a [12] cikket, amely teljes egészében a játékelméletről szól. A felhasználók és erőforrás-igényeik bemutatási módja (licitek) ismertetésével kezdődik a fejezet. Ezekben a pontokban Nemo Semret [6] megközelítését alkalmazzuk. Az utánuk következő alfejezetben viszont már egy új erőforrás-allokációs szabályt ismertetünk, amely leginkább egy angol típusú aukcióhoz hasonlítható. Ezután a játékunk kifizetőfüggvénye és az ehhez szorosan kapcsolódó saját fejlesztésű hasznosságfüggvényünk leírása található. A fejezet végén ejtünk néhány szót a stabilitás kérdéséről.

3.1. Felhasználók

A modellünkben a felhasználók lesznek a játékosok. Ők azok, akik versengenek a véges mennyiségű, tetszőleges számú és nagyságú darabokra felosztható közös erőforrásért. Jelen esetben ez a sáv szélességet jelenti, de elképzelhető tároló méret, vagy akármi más, ami megfelel a fent említett tulajdonságoknak.

A felhasználók (ezen túl játékosok) száma természetesen tetszőlegesen változhat. Új játékosok jelenhetnek meg és igényelhetnek sáv szélességet, és régi játékosok távozhatnak miután teljesítették átviteli igényüket. Elhagyhatják a játékot abból az okból is, hogy képtelenek, esetleg nem szándékoznak kifizetni a kért sáv szélesség mindenkori árát. Tehát a játékosok halmaza dinamikusan változik.

Ezt a halmazt $I = \{1, \dots, n\}$ -nel jelöljük.

3.2. Licitek

Minden játékos licit formájában fogja benyújtani igényét a közös erőforrás kívánt részére. Ez a licit értelemszerűen két értéket fog tartalmazni: egyrészt a kívánt erőforrás nagyságát, és az árat, amelyet hajlandó megfizetni érte. (A gyakorlati megvalósításban a hasonló preferenciájú liciteket egy forgalomminőségi osztályba

sorolhatjuk, mint pl. rt-CBR stb.) A sávszélesség nagyságát egységekben kezeljük, amely tetszőleges abszolút értéket vehet fel a gyakorlatban. A felkínált díjat is egységárként foglaljuk a licitbe, amely megkönnyíti a későbbi operációkat.

Az i -edik játékos licitje a következő formában történik:

$$s_i = (q_i, p_i),$$

ahol q_i az i játékos által kért mennyiség, p_i egységáron.

$$s_i \in S_i = [0, Q] \times [0, \infty)$$

$$S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$$

Látszik a fenti kifejezésből, hogy a maximális értelmes mennyiségi licit az erőforrás együttes mennyisége (Q), és elvileg bármelyik játékos tetszőleges sokra értékelheti a terméket.

Miután mindenki megtette licitjét, kialakul a licitprofil:

$$s = (s_1, \dots, s_n).$$

Az ismertett játékelméleti jelölés alapján legyen

$$s_{-i} \equiv (s_1, \dots, s_{i-1}, s_{i+1}, \dots, s_n),$$

ami az i játékos ellenfelei által létrehozott licitprofil, amit s -ből kapunk s_i kitörlésével. Ha érzékeltetni akarjuk az egyik játékos licitjének fontosságát valamely esetben, s profil helyett (s_i, s_{-i}) -t fogunk írni.

3.3. Allokáció

Az erőforrás lefoglalása és kiosztása a játékosok között az allokációs szabály szerint történik. Ezt a műveletet az aukciót vezető központi „hatóság”, jelesül egy erőforrás bróker, vagy más néven egy aukcioner végzi. Bemenő információként megkapja egy kör összes licitjét, kimenetként pedig az allokált erőforrás-mennyiséget és az ezekért fizetendő árat adja minden játékosra. Az allokációs szabály ezért:

$$A: S \rightarrow S,$$

$$\text{ahol } S = \prod_{i \in I} S_i.$$

$$s = (q, p) \rightarrow A(s) = (a(s), c(s))$$

$A(s)$ i -dik sora, $A_i(s) = (a_i(s), c_i(s))$ lesz az i játékos allokációja: $a_i(s)$ mennyiségű erőforrást kap, amiért $c_i(s)$ mértékű díjat kell fizetnie. Meg kell jegyeznünk, hogy míg p egységár, c már a lefoglalt erőforrás összára.

A fogalmi definíciók után meg kell határoznunk az A allokációs szabályt, melynek betartását a központi aukcioner fogja felügyelni. Ő lesz az, aki kiosztja a játékosok között a közös erőforrást. Természetesen akkor jutunk megvalósítható kiosztáshoz, ha legfeljebb annyi erőforrást ad el, amennyi a rendelkezésére áll.

$$\sum_{i \in I} a_i(s) \leq Q$$

Az eddig megjelent erőforrás-aukcióktól eltérően a mi modellünk nem engedi meg azt a megszorítást, hogy a játékosok igénye teljesen rugalmas; azaz ha az egyik résztvevő kért egy bizonyos mennyiségű erőforrást, nem biztos, hogy meg fog elégedni például a felével.

Az ebből a gondolatból kialakított allokációs szabály formai leírása a következő:

$$a_i = \begin{cases} q_i, & \bar{Q}_i \geq q_i \\ 0, & \bar{Q}_i < q_i \end{cases},$$

ahol

$$\bar{Q}_i = [Q - \sum_{p_k \geq p_i, k \neq i} q_k]^+,$$

ahol is a + jel azt jelenti, hogy ha a zárójelben lévő kifejezés negatív lenne, akkor \bar{Q}_i értéke 0 lesz.

Ez az allokációs szabály talán első nézetre kegyetlennek tűnhet, de ne felejtjük el, hogy a bemutatott modell torlódás esetén kerül használatba, amikor is nem jut minden felhasználónak elegendő sávszélesség. Sőt, könnyen meglehet, hogy senkinek nem lesz akkora átviteli sebessége, mint amekkorára szüksége lenne. Ezzel a módszerrel viszont elérhetjük azt, hogy mindenki csak a ténylegesen szükséges mennyiséget licitálja meg; és emiatt máris csökkenhet az együttes forgalom.

Az angol típusú aukciós jellegből fakadóan értelem-szerűen

$$c_i(s) = p_i a_i,$$

azaz a belicitált árat kell kifizetnie a kapott erőforrás-egységekért.

3.4. Kifizetőfüggvény

A kifizetőfüggvény segítségével adhatjuk meg, hogy a játék kimenetele mennyire kedvező az egyes játékosok szempontjából. Formailag ezt a következőképpen lehet leírni:

$$u_i = \Theta_i(a_i(s)) - c_i(s),$$

ahol $\Theta_i(a_i(s))$ az i -edik játékos hasznosságfüggvénye, ami megadja, hogy $a_i(s)$ kapott mennyiségű „termék” legfeljebb mennyit ér meg neki. Tehát ez egy ár típusú mérték, és megmutatja azt a maximális árat, amit hajlandó fizetni a kiosztott sávszélességért. Ennél többet nem fog kifizetni. Ebből látszik, hogy u_i nem negatív.

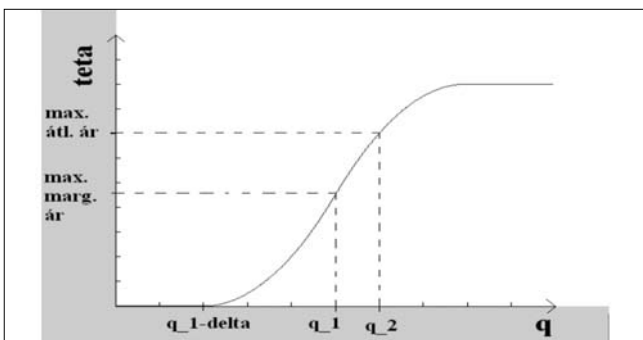
A kifizetőfüggvény egy reális megközelítése a felhasználók gazdasági preferenciájának: értékelik, ha megkapják a kívánt árut, ám azt is figyelembe veszik, hogy mennyi pénzt sikerült megtakarítaniuk. Minden játékosnak érdeke a kifizetőfüggvényének maximalizálása.

3.5. Hasznosságfüggvény

A hasznosságfüggvény az az eszköz, amellyel képesek vagyunk kifejezni a játékosok természetének sokszínűségét. Ez a függvény megadja azt az értéket a fizetőeszköz mértékében, amennyit a játékosnak megér az adott mennyiségű áru, jelen esetben az erőforrás.

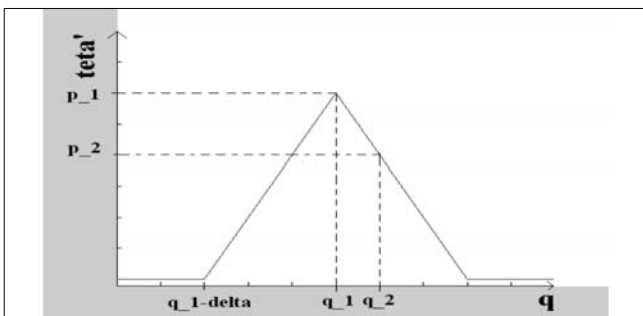
Természetesen a játékosok nem feltétlenül kell, hogy ismerjék egymás preferenciáit, sőt, a gyakorlatban azt mondhatjuk, hogy az esetek többségében senki nem tud a másikról semmit. Egy aukciós gazdasági környezetben kimondottan hátrányos lehet, ha az ellenfelek megismerik a játékos hasznosságfüggvényét. Az aukcioner is csak a liciteket kapja meg, ugyanis a hasznosságfüggvények ismertetése túl sok plusz forgalmat (nagy overhead-et) eredményezne, emellett ráadásul visszaélésekre is lehetőséget adna.

Új hasznosságfüggvényünk megteremti az egészséges verseny feltételeit, ráadásul gyakorlati szempontból is megfelelő a Θ függvény menete. Minden informatikai hálózati alkalmazás igényel egy bizonyos méretű erőforrást. Ez a mennyiség bizonyos keretek között rugalmas, ám a szolgáltatás értéke az optimális szinttől való eltérés függvényében változik. Ezért értékeli a játékos igen „mélyen”, ha a kívánatosnál sokkal kevesebbet kap a közös erőforrásból, és ezért kezd el ez az értékelés rohamosan nőni, amint közeledünk az ideális helyzethez (1. ábra).



1. ábra Hasznosságfüggvény

Érdeemes felírni a hasznosságfüggvény deriváltját, amely megmutatja, hogy a játékos maximálisan mennyi pénzt ad ki az egyes erőforrás-egységekért. Ezt az erőforrás-egységek marginális egységárának nevezzük.



2. ábra Hasznosságfüggvény deriváltja

A 2. ábrán látható, hogy a minimális, már elviselhető erőforrás-mennyiségig minden egységet 0-ra értékel a játékos. Ha ennél többet kap, akkor a határ feletti új egységekért egyre magasabb egységárat hajlandó fizetni. Természetesen ez az értéknövekedés lehetne másod-, harmadfokú jellegű vagy esetleg más. A döntés a játékos kezében van, ugyanis ő maga konstruálja meg az értékfüggvényét a saját preferenciája tudatában.

Az egységár-növekedés minden játékosnál egy adott pontig tart. Ezt nevezzük el q_1 -nek és az ehhez tartozó függvényérték legyen p_1 . Tehát a vizsgált játékos a q_1 -edik egység erőforrásért fogja kifizetni a legmagasabb árat, p_1 -et, ha ezt a helyzet megköveteli. A q_1 erőforráson túli egységekre a játékos már kevesebb pénzt akar költeni, ezért a Θ függvény monoton csökken. Hasonló megfontolásból ekkor is egyre kevesebbet ér meg a játékosnak az újabb és újabb erőforrás-egység, ezért ezt a tendenciát is ábrázolhatjuk egy line-

áris görbével. Egy bizonyos mennyiség után már nem lesz a játékos számára értékes egy ráadás egység, így ettől a ponttól kezdve a függvényértéke újra 0 lesz.

Mivel az allokációs szabályban az átlagos egységár számít, hisz a beérkezett licitek egy átlag egységárat (p) tartalmaznak és a bróker ezek szerint itéli meg az egyes játékosoknak járó alokált erőforrást, a marginális egységár nem közvetlenül fogja befolyásolni a kifizető-függvényt. Ezért nem a q_1 , hanem a q_2 mennyiség kérése esetén lesz a legversenyképesebb a játékos. Ebben a pontban lehet ugyanis a licitált egységár a legmagasabb.

3.6. Egyensúly

Az aukciós játék teljesen adott (Q, u_1, \dots, u_n, A) által, amely meghatározza az erőforrást, a játékosokat és az allokációs szabályt. Tekintsük a legjobb stratégia választékát, amely minden i -re:

$$S_i^*(s_{-i}) = \{s_i \in S_i(s_{-i}) : u_i(s_i, s_{-i}) \geq u_i(s'_i, s_{-i}), \forall s'_i \in S_i(s_{-i})\}$$

azaz minden játékos kiválasztja az adott ellenstratégijára legnagyobb kifizetőfüggvénnyel válaszoló stratégiáját. Ekkor a „legjobb” stratégiák gyűjteményéből kialakulhat az egyensúlyi stratégiaprofil:

$$S^*(s) = \prod_i S_i^*(s_{-i})$$

A Nash-egyensúlyi pont e stratégiaprofilok egyik, vagy esetleg több pontjában lesz [7]. Egy olyan dinamikus játékban, ahol a játékosok mindig újragondolják a licitjuket az adott ellenjátékra adandó legjobb választul, a létrejövő iteráció csak egy Nash-egyensúlyba tarthat, ha egyáltalán konvergál valahova.

Egy hajszálnyit általánosabb, és éppen ezért gyengébb állítás a stabilitásra az ε -Nash egyensúly létezése. Legyenek az ε legjobb válaszok:

$$S_i^\varepsilon(s_{-i}) = \{s_i \in S_i(s_{-i}) : u_i(s_i, s_{-i}) \geq u_i(s'_i, s_{-i}) - \varepsilon, \forall s'_i \in S_i(s_{-i})\}$$

Egy ε -Nash egyensúly az S^ε -nak lesz egy határozott pontja. A dinamikus aukciós játékban $\varepsilon > 0$ -t tekinthetjük egy bizonyos licitálási díjnak is, amit minden egyes licittételkor kell a játékosoknak fizetniük. Ily módon minden résztvevő akkor fog új licitet benyújtani, ha az ε -nal javítja a kifizetőfüggvényét és ekképpen maga a játék csak ε -Nash egyensúlyban tud végződni. Ezzel a módszerrel némiképp diszkretizálni tudjuk a játékosok licitmenetét, amivel jelentősen csökkenthetjük a körök számát és ezzel az optimális állapot beálltához szükséges időtartamot.

A modell bemutatása után remélem világossá vált az olvasó számára, hogy milyen újításokat vezettünk be az eddig megjelent megoldásokhoz képest. Összefoglalva: elvetettük a felhasználók erőforrásigényeinek „elasztikus” voltát, és emiatt radikális változtatásra volt szükség mind az allokációs szabály, mind a hasznosságfüggvény racionalizálása terén. A következő fejezetben láthatjuk majd, hogy ezek az újítások a játékosok viselkedésére is nagyban kihatnak. Természetesen arra a problémára is kitaláltunk egy új megoldást, de ezzel már a következő szakasz foglalkozik.

4. Algoritmus

A modell részét képezik ugyan, de a könnyű áttekinthetőség kedvéért külön tárgyaljuk az alkalmazott algoritmusokat. Elsőként az allokációs folyamatot írjuk le, ahol az olvasó felismerheti az angol típusú aukció jeleit. Az egyes lépéseket külön-külön magyarázzuk. Utána a felhasználó oldali algoritmus elemei kerülnek bemutatásra. Mindkét témakör új, általunk kitalált algoritmust takar, amelyek különösen jól illeszkednek a modellünk eddig ismertetett jellemzőihez.

A kiosztás

Minden játékos a következő algoritmust követve vesz részt az aukcióban:

(1) Az egész játék akkor indul be, ha a felhasználók által előidézett igény a közös erőforrásra nagyobb, mint a rendelkezésre álló készlet. Tehát az algoritmus kezdési és futási feltétele:

$$Q < \sum_{i=1}^n q_i$$

Minden játékos a kezdeti licitjében bmondja az általa kívánt erőforrás méretét, és 0 egységárat:

$$s_i = (q_i, 0).$$

(2) A beérkező licitek alapján a felügyeleti szerv egységár szerint sorba rendezi a játékosokat. Azonos egységár esetén holtversenyt állapít meg, és az ezen licitekhez tartozó erőforrás-mennyiség kérelmeket együttesen kezeli. Az allokációs szabályt alkalmazva, a központi bróker kimondja $(a(s), c(s))$ -t.

A központi szerv a sorba rendezett licitekhez tartozó erőforrásigényeket (q_i) összeadva kijelöli a kiosztható erőforrás-mennyiség határát. Ezután a kérések alapján a bróker kiosztja az erőforrást. Akik a sorban utolsó, de még sávszélességhez jutó játékosnál kevesebb egységárat ajánlottak, nem kapnak semmit.

(3) Minden játékos megvizsgálja a kialakult helyzetet és ha $u_i(t_i, s_{-i}) > u_i(s_i, s_{-i}) + \epsilon$, akkor $s_i = t_i$ lesz a licitje a következő menetben, egyébként tartja a stratégiáját. Ez azt jelenti, hogy minden játékos a kiosztás eredményét tekintetbe véve, a kialakult ellenjátékra reagálva megpróbálja növelni a kifizető-függvényét egy új stratégiával. Ha azt kapja, hogy változatlan ellenjáték mellett egy új licittel nő a kifizető-függvénye, akkor a következő „körben” az újat küldi be.

Az ellenjátékot minden játékos számára az aukcioner által küldött jelzés fogja jelenteni. Ez gyakorlatilag egy „1 bites” válasz is lehet, miszerint megkapta-e a licitált erőforrást azon az áron, amit ajánlott, vagy nem. Az aukció titkossága miatt ennyi információból kell alakítania a stratégiáját.

A kifizetőfüggvény növelési kísérletét minden egyes licitalás előtt elvégzi minden játékos, és egy bizonyos idő után, feltéve, hogy nem változik a játékosok összetétele, kifizetőfüggvényeik, az erőforrás nagysága és az allokációs szabály, akkor beáll egy egyensúlyi pont, ahol egyik játékos sem tud javítani a helyzetén önkényesen. Ezt a tényt a játékelméleti Nash-egyensúly létezése biztosítja. A stabil végpontban senkinek nem áll

érdekében változtatni a stratégiáján, ha a többiek sem váltanak, ezért ez lesz az egyensúlyi állapot.

(4) Meghatározott időtartamú adatátvitel. Ekkor a játékosok, már aki teheti, forgalmat bonyolít a megengedett keretek között. Ekkor küldhetik el a licitjeiket a központi szerv felé a következő körre. Ezalatt történhet a számlázási feladatok intézése is.

(5) Új licitek beadása, és az eddig beérkezett licitek rögzítése (2) és az egész allokációs eljárás újrakezdése.

5. A játékosok állapotai és stratégiaváltásai

5.1. Állapotok

Minden allokáció után minden egyes játékos valamilyen állapotba kerül, amely kihat a soron következő stratégia megválasztására. Összesen hat állapotot különböztethetünk meg lényeges stílusjegyek alapján. A játékos allokáció utáni állapotára jellemző egyik lényeges tulajdonság a kapott erőforrás-mennyiség. Az allokációs szabály szerint két eset lehetséges: vagy megkapta a kért mennyiséget, vagy nem és így semmit nem kapott.

Mindkét eshetőségnél érdemes megkülönböztetni „aleseteket” aszerint, hogy mennyit kért a játékos az erőforrásból mielőtt megtörtént az allokáció. Mi ezt három osztályra bontottuk: a q_2 -höz (q_2) viszonyítottuk a licitben szereplő mennyiséget. Ezek alapján a hat állapot:

Állapotok	A kért mennyiség (q)	Az allokáció alakulása (a)
A	$q = \bar{q}_2$	$a = 0$
B	$q < \bar{q}_2$	$a = 0$
C	$q > \bar{q}_2$	$a = 0$
D	$q = \bar{q}_2$	$a = q$
E	$q < \bar{q}_2$	$a = q$
F	$q > \bar{q}_2$	$a = q$

Az állapotok bevezetését az tette szükségessé, hogy csoportosítani tudjuk azokat az allokáció kimeneteleket, amelyekben a játékosok stratégiaváltásainak azonos irányba kell mutatniuk. Ez az elvi megközelítés nagyban megkönnyíti a modell implementálását.

Az allokáció előtti kért erőforrás-mennyiség szerinti besorolásnál azért esett a választás a q_2 határértékre, mert ebben a pontban lesz a játékos a legversenyképesebb. Ez pedig sugallja, hogy az állapotokat ehhez az információhoz viszonyítsuk.

5.2. Stratégiaváltások

A játékosok a stratégiáikat a liciteken $(s_i = (q_i, p_i))$ keresztül fejtik ki. Ezért a stratégiaváltások a licitek változtatásával vihetők végbe. Ez nyilvánvalóan a két elküldött mennyiség, q_i és p_i módosítását jelenti. Újfént a követhetőség és az egyszerűbb megvalósíthatóság kedvéért tételezzük fel, hogy egy körben csak az egyik komponens megváltoztatása lehetséges. A változtatások lehetséges mértékét rögzítjük.

A mindenkori q_i növelése ξ_1 -gyel, csökkentése pedig ξ_2 -vel engedélyezett. Ugyanakkor p_i megváltoztatása pozitív irányban χ_1 -gyel, negatív irányban χ_2 -vel végezhető el.

Miután értelmeztük az allokáció utáni állapotokat és az ezekre reagáló stratégiaváltoztatások lehetőségeit, felírhatjuk az állapotábrát, amely útmutatást nyújthat az egyes játékosoknak a különböző helyzetek kezelésére. Íme:

Állapot \ Stratégia	q_i nő, p_i cons	q_i csökk., p_i const	q_i const, p_i nő	q_i const, p_i csökk.
A	-	B, E	A, D	-
B	-	B, E	B, E	-
C	-	A, B, C, D, E, F	C, F	-
D	C, F	-	-	A, D
E	A, B, C, D, E, F	-	-	B, E
F	C, F	-	-	C, F

Ezen áttekintéssel érezhetővé válik, hogy az aukcióhoz szükséges felhasználó oldali logika nem túlságosan bonyolult. Implementációja meglehetősen egyszerű. Az egyes játékosok csak a saját hasznosságfüggvényüket kell, hogy tudják, ami természetesen minden kivitelezésben amúgy is szükséges lenne.

Akármilyen állapotba kerülnek, az aukcionertől kapott visszajelzés (megkapják-e, vagy nem) és az előző licitjük tudatában kiválaszthatják az optimális új licit. Ehhez minden esetben három kifizetőfüggvényt kell kiszámolniuk: az előző licithez tartozót, ami az A, B és C esetben magától értetődő módon 0 lesz; és a két lehetséges új licithez tartozó érték- majd kifizetőfüggvényeket.

Az új, meglehetősen licitekhez tartozó kifizetőfüggvényeket úgy számolja ki minden játékos, hogy feltételezi a licit sikerességét, tehát felteszi, hogy megkapja azt amit kért, és olyan áron, amit ajánlott. Ezután kiválasztja a legnagyobb „nyereséggel” kecsegtető stratégiát, és a következő licitkörösre azt küldi el az aukcionernek.

A központi oldalon létesítendő logika is hasonló egyszerűséget mutat. A beérkező liciteket egységár szerint csökkenő sorrendbe rendezi és a felső, az erőforrás teljes nagyságánál kisebb kumulált erőforrás-igényű játékos csoportnak engedélyezi az erőforrás használatát. Az allokáció után már csak a számlázási feladatokat kell ellátnia az aukcionernek, de ez ugyancsak egy általános feladat.

Mindenképpen hangsúlyozom, hogy modellünk ilyen fajta kialakítása igazán elosztottá teszi a díjazási mechanizmust. A központi aukcionernek ugyanis egyszerűen csak sorba kell állítani a liciteket és figyelni a rendelkezésre álló erőforrás-mennyiség betartását. A játékosokról több információt nem is kell tudnia vagy

kezelnie. A komolyabb számításokat maguk a játékosok végzik, így levesznek szinte minden lehetséges terhet a központi bróker válláról.

6. Szimuláció

Példaértékű játék bemutatásával igyekeztünk szemléltetni a modell alkalmazhatóságát.

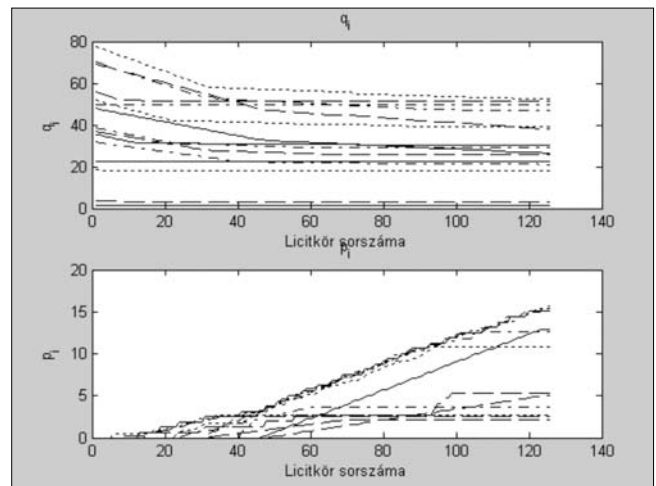
A játék kezdeti paraméterei, amelyeket az aukcioner kezel és az ε -t tudja a játékosokkal is:

- $n=15$ (játékosok száma),
- $Q=100$ (rendelkezésre álló erőforrás-egységek száma),
- $\varepsilon=100$ (a Nash-egyensúly ε környezetű).

Az egyes játékosok a szimulációs példában a saját adataikat véletlenszerűen hozzák létre. Ezek a paraméterek a következők: $\bar{q}_1, \bar{p}_1, \delta, \xi_1, \xi_2, \chi_1, \chi_2$

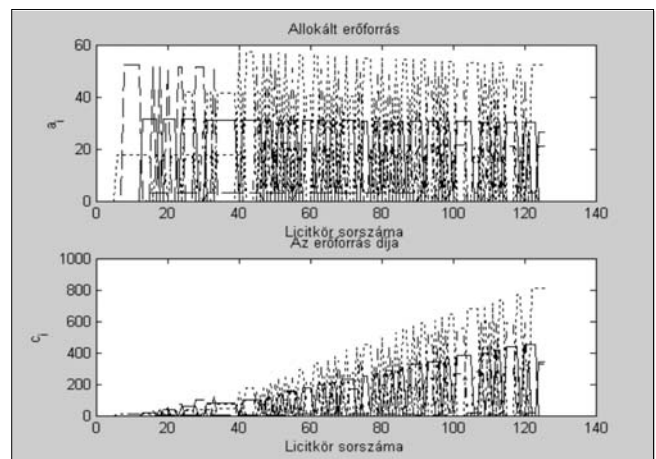
A 3. ábrán látható különböző vonalakkal ábrázolva az egyes játékosok licitjeinek alakulása a licitsorszámok függvényében. A felsőn a kért mennyiségek (q_i), az alsón a licitált átlagegységárak (p_i) láthatók. Elsősorban a mennyiség csökkentésével, utána pedig áremeléssel próbálnak erőforráshoz jutni a játékosok.

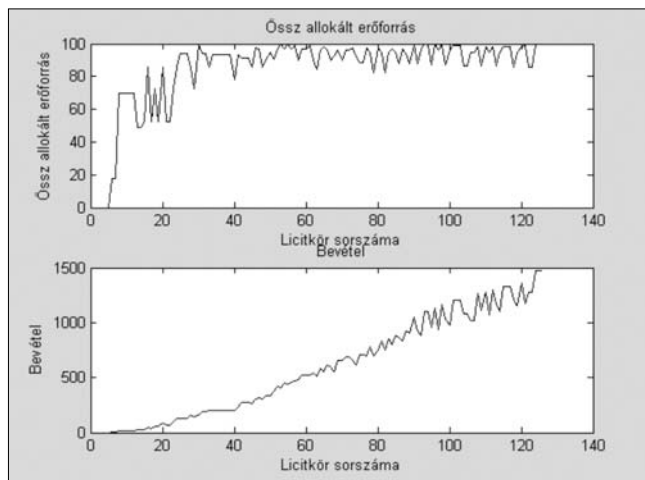
3. ábra



A 4. ábrán az allokáció eredményei láthatóak minden egyes kör után. A felsőn a „szerencsés” játékosok által megkapott erőforrás-mennyiségek (a_i), az alsón az ezekért fizetendő pénzüsszegek (c_i) szerepelnek.

4. ábra





5. ábra

Az 5. ábrán a szolgáltató által fontosnak tartott adatok szerepelnek. Láthatjuk, hogy az összes kiosztott erőforrás mennyisége ($\sum_{i=1}^n a_i$) hogyan változik az aukció során és hogy mennyi a befolyt összbevétel ($\sum_{i=1}^n c_i$) a szolgáltatónak.

A szimuláció eredményeit figyelembe véve a Nash-egyensúly 125 kör alatt játszódik le adott paraméterválasztás mellett. Ha azt feltételezzük, hogy egy játszma egy AS-en (Autonome System) belül zajlik le és bármelyik pont 1 ms alatt elérhető és a licitkörök időtartamát 3 ms-ra választva azt mondhatjuk, hogy a bemutatott szimuláció konvergencia ideje 375 ms. Becsléseink szerint gyakorlati felhasználáskor az egyensúly beállási ideje 1 sec körüli értéket fog felvenni.

7. Értékelés

Egy játékelméleten nyugvó, aukció alapú díjazási mechanizmust mutattunk be IP hálózatokra. A bevezetőből talán világossá vált, hogy a célunk eléréséhez, a torlódások megszüntetéséhez és a folyamatos minőségbiztosításhoz, a legcélravezetőbb és talán egyetlen igazán hatékony mód a megfelelő díjazás bevezetése. A fejlődési irány azt mutatja, hogy a dinamikus, aukciós eljárások a legmegfelelőbbek erre a feladatra.

A témában megjelent megoldások eddig többnyire valamilyen szempontból nem voltak megfelelőek. Vagy az aukcióhoz szükséges információ mérete volt túl nagy, és ez hatalmas „felesleges” forgalmat idézett elő, vagy a felhasználók nem voltak elégedettek (jogtalanul rugalmasnak tekintik az igényeiket), esetleg a szolgáltatónak nem váltak be a növekvő bevételhez fűzött reményei.

Az általunk kifejlesztett új modell kiküszöböli az eddigi megoldások szinte minden hiányosságát. A játékosok licitjei csak a kellő minimális információt tartalmazzák. Ez a tulajdonság biztosítja a játékosok preferenciáinak titkosságát, és nem elhanyagolható módon, kizárja a szolgáltató számára káros hatású együttműködés lehetőségét. Maga a kiosztás (allokáció) az aukcionertől csekély aktivitást igényel, a kellő számításokat a játékosok végzik „elosztottan”. A felhasználó oldali al-

goritmusok is meglehetősen egyszerűek az általunk kitalált apparátus használatával. Ez a tény, és az előbb említett elosztottság miatt a modell könnyen implementálható és a gyakorlati haszna is jelentős lehet.

Itt emelnénk ki a felhasználókra kifejlesztett hasznosságfüggvényünket, amely különleges tulajdonságai révén nem csak a valós igényekhez igazodik roppant jól, hanem a tökéletes verseny kialakításához is nagyban hozzájárul.

Összefoglalva, az erőforrás díjazási területen az eddig megjelent megoldásokhoz képest egy új, több szempontból jobb modellt mutattunk be.

A bemutatott algoritmus alkalmazási területe a megosztható közös erőforrás allokalása versenyhelyzet mellett. Ilyen lehet a memória, processzoridő, sáv szélesség, várakozási sor kapcsolóközpontokban, adatbázis hozzáférés stb.

Irodalom

- [1] P. Maillé, B. Tuffin: „Multi Bid Auctions for Bandwidth Allocation in Communication Networks”, ieee-infocom.org/2004/Papers/02_2.pdf, 2004.
- [2] J. Shu, P. Varaiya: „Mechanism Design for Networking Research”, Information Research Frontiers, Vol. 5, Nr.1., pp.29–37., 2003
- [3] N. Semret, R. R.-F. Liao, A. T. Campbell, A. A. Lazar: „Market Pricing of Differentiated Internet Services”, Technical Report CU/CTR/TR 503-98-37, Dec. 1998, 7th IWQoS, London, May 31–June 4, 1999.
- [4] S. J. Villasis: An Optimal Pricing Mechanism for Internet’s End-users, Thesis for MSc, University of Idaho, May 1996.
- [5] P. Key: „Service Differentiation: Congestion Pricing, Brokers and Bandwidth Futures”, NOSSDAV99 Sessions, AT&T Learning Center, Basking Ridge NJ, June 23-25, 1999.
- [6] N. Semret: Market Mechanisms for Network Resource Sharing, Ph.D. Thesis, Columbia University, 1999.
- [7] Dr. Filep László: Játékelmélet, Filum Kiadó, 1985.
- [8] J. Shu, P. Varaiya: „Pricing network services”, Proc. IEEE INFOCOM, 2003.
- [9] J. K. MacKie-Mason, H. R. Varian: „Pricing congestible network resources”, IEEE Journal on Selected Areas in Com., Vol.13., No.7., pp.1141–1149., Sept. 1995.
- [10] W. Vickrey: „Counterspeculation, Auctions and Competitive Sealed Tenders”, J. Finance, Vol.16., 1961.
- [11] J. K. MacKie-Mason, H. R. Varian.: „Pricing the Internet” In B. Kahin and J. Keller: Public Access to the Internet, Prentice-Hall, New Jersey, 1994.
- [12] Lója Krisztina: „Játékelméleti módszerek”, Híradástechnika, 2003/4., pp.29–34.