

PAMETNI TRG KOT ALTERNATIVA INTERNETNI NENEVTRALNOSTI

TOMAŽ TURK¹

POVZETEK: *Kljub splošnemu vtisu, da sta internet in dostop do njega že visoko kakovostni storitvi, še vedno ne moremo zadovoljivo uporabljati nekaterih storitev, kot so npr. videokonference – skoraj vedno gre nekaj narobe. Za sodobno družbo je pomembno, da se internet kot omrežje za prenos podatkov razvija tako, da je na voljo vsem, ter da se razvijajo njegove storitve. Pri tem je pomembno financiranje razvoja, pri čemer je možnih nekaj alternativnih pristopov glede na sedanje stanje, v katerem večinoma še velja internetna nevtralnost, ki pa je pod udarom zagovornikov diskriminacije uporabnikov oz. zaračunavanja prometa glede na to, kdo je uporabnik in s čim se ukvarja. V tem prispevku predstavljamo alternativni pristop zaračunavanja prenosa podatkov, ki bi upošteval negativne zunanje učinke zasičenja prometa in vodil v ustrežnejše financiranje razvoja omrežja.*

Ključne besede: *internet, zasičenje, cena, cenovna elastičnost, simulacije*

PROBLEMATIKA

Ponudba storitev omrežja internet je za družbo kot celoto zelo pomembna, ob tem pa je razvoj omrežja zelo odvisen od virov financiranja. Vloga države postaja pomembnejša po regulativni plati, vedno manj bo neposrednega financiranja iz proračuna. V zadnjem času so spet oživele diskusije o internetni nevtralnosti (angl. net neutrality), ki je običajno opredeljena kot enaka obravnava podatkov, ki se prenašajo po internetu, s strani operaterjev, to je podjetij, ki zagotavljajo in tržijo prenos podatkov po omrežju (Peitz & Schuett, 2016).

Zagovorniki sprostitev tega pravila vidijo prednosti zlasti v tem, da bi bili operaterji bolj pripravljeni vlagati v nadaljnji razvoj omrežja, če bi nekaterim uporabnikom – tako ponudnikom vsebine kot uporabnikom oz. “bralcem” – lahko zaračunavali prenos podatkov pod drugačnimi pogoji, kjer izstopa zlasti cena prenosa podatkov. Nasprotniki trdijo, da bi na ta način diskriminirali uporabnike, ki ne bi bili več enaki in enakopravni.

V ozadju te dileme je zasičenost omrežja (npr. Calzada & Tselekounis, 2018). Uporabnikom interneta je na voljo dana pasovna širina, ki jo lahko uporabljajo vsi hkrati, saj lahko vsi pošiljajo in prejemajo pakete s podatki, kot so definirani s protokolom Internet Protocol (v nadaljevanju paketki IP). To vodi v problem “skupnega vaškega pašnika” – zgodi se lahko, da je dana pasovna širina premajhna za pokritje potreb vseh uporabnikov; v takem primeru govorimo o zasičenju omrežja (McKnight & Bailey, 1997). Internetna nenevtralnost bi

¹ Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta, Ljubljana, Slovenija, e-pošta: tomaz.turk@ef.uni-lj.si

lahko deloma rešila to težavo, če bi lahko operaterji nekaterim “težkim” uporabnikom (ponudnikom in porabnikom informacij) zaračunavali več za prenos podatkov.

Poskuse reševanja teh težav lahko na podlagi literature delimo v dve veliki skupini: ena skupina išče rešitve v tehnoloških prijemih (prim. Cardwell et al., 2016; Kleinrock, 2018), druga pa v razmerju med ponudbo in povpraševanjem (npr. Peitz & Schuett, 2016). V tem prispevku kratko opisujemo neko drugo zamisel, to je izvedbo t. i. pametnega trga, ki bi lahko rešila težavo zasičenega omrežja. Pri tem izhajamo iz vprašanja, zakaj kljub silnemu razvoju telekomunikacij v zadnjih desetletjih še vedno ne moremo kakovostno uporabljati nekaterih storitev, kot so npr. videokonference.

PROBLEM ZASIČENJA IN PAMETNI TRG

Zasičenje povzroča negativne zunanje učinke, ki izhajajo iz dejstva, da ob zasičenem omrežju uporabnik povzroča stroške drugim uporabnikom v obliki slabše kakovosti storitev oz. odloženega prometa. Ker so glede na obstoječe stanje tehnologije vsi uporabniki v enakem položaju (nihče ni privilegiran), se vsi srečujemo z negativnimi zunanjimi učinki. Do slabše kakovosti storitev prihaja zaradi preobremenjenosti povezav, ko je pasovna širina, ki je na voljo, premajhna za vse potrebe. Preobremenjeni so tudi drugi viri v omrežju, zlasti usmerjevalniki in računalniki (predvsem strežniki).

Možen pristop k reševanju negativnih zunanjih učinkov je uvedba takse, torej cene, ki naj popravi razmere oz. internalizira zunanje učinke. Ceno zaradi zasičenja lahko smatramo kot Pigouvijevo takso. Glede na model pametnega trga naj bi se ravnotežna cena oblikovala v taki višini, da bo uporabnik plačal pošiljanje dodatnega paketa v višini mejnih stroškov časovnih zamikov, povzročenih z njegovim paketom (MacKie-Mason & Varian, 1994; Nogueira & Cavalcanti, 1996).

V računalniških omrežjih tehnologija poskrbi za problem zasičenja tako, da presežne paketke IP postavi v čakalno vrsto po sistemu First-In-First-Out (FIFO), kar povzroča časovne zamike pri prometu, ali pa paketke celo zavrže. Tehnologija IP namreč deluje po metodi “najboljšega napora” (angl. best-effort). Zasičenje je torej z uporabniškega vidika vidno kot motnja oz. zastoj pri delovanju omrežja, v ekstremnih primerih pa tudi kot nedelovanje omrežja.

Na ta problem so opozarjali in predlagali rešitve že MacKie-Mason in Varian (1995), Nogueirain Cavalcanti (1996) ter Gupta, Stahl in Whinston (1995), ki menijo, da uporabnik na trgu storitev interneta v splošnem ne plačuje pasovne širine prenosnih storitev, ki jih s svojim prometom obremeni, temveč le dostop do omrežja in najemnino za določeno obdobje. V splošnem je možno, da so prenašani podatki enega od uporabnikov družbeno koristnejši od podatkov drugega uporabnika, zato naj bi se poleg cene dostopa do omrežja uvedla še cena za prenešen paket IP.

Najbolj uveljavljen pogled oz. teoretična rešitev problematike je t. i. model pametnega trga, ki sloni na posplošeni Vickrejevi avkciji (MacKie-Mason, 1995). Pravzaprav ideja o "odzivnem" določanju cen javnih storitev izvira prav iz del tega avtorja (Vickrey, 1970). Avkcija poteka tako, da udeleženci sporočijo največjo ceno, ki so jo še pripravljene plačati. Deklarirane cene se razvrstijo po velikosti, pri tem se storitev zagotovi vsem tistim, ki so pripravljene plačati največ glede na razpoložljivost vira, kot dejanska zaračunana cena pa se uporabi najnižja deklarirana cena udeleženca, ki je še deležen storitve. Udeleženci torej ne plačajo, kolikor so deklarirali, ampak v splošnem manj. Če je obseg povpraševanja manjši od razpoložljivosti virov, je cena enaka nič.

To je seveda samo teoretični model. Slabosti predlaganega načina sta predvsem kompleksnost izračunavanja cene storitev ter težave pri praktični izvedbi ugotavljanja funkcij koristnosti uporabnikov oz. deklariranja cen. Izračunavanje naj bi se izvajalo v čim krajših časovnih intervalih (praktično v realnem času), kar pa bi bilo težko implementirati.

S svojim raziskovalnim prispevkom, ki je opisan v nadaljevanju, smo predlagali mehanizem dinamičnega določanja cene omrežnega vira, ki pa bi vodil v zgoraj opisano "Vickrejevo ceno". Na ta način smo zamisel pametnega trga napravili lažje uresničljivo. Mehanizem smo tudi razširili tako, da se pripravljenost plačila propagira po celotnem omrežju oz. po celotni povezavi, ki jo uporabnik v nekem trenutku uporablja.

OPREDELITEV MEHANIZMA IN PREVERJANJE DELOVANJA S SIMULACIJO

Cena prenosa podatkovnega prometa se izračunava na vsakem omrežnem viru. Glede na to, da nam cenovna elastičnost povpraševanja izkazuje odzivnost uporabnikov na spremembe v ceni (posredno nam zrcali individualne funkcije koristnosti), smo ta koncept uporabili v iskanju cene, ki je v nekem trenutku primerna za zmanjšanje ali povečanje obsega povpraševanja na zeleno raven, to je raven ponudbe oz. razpoložljive pasovne širine (Turk & Jerman - Blažič, 2001).

V praksi bi izračunavanje nove cene potekalo v razmeroma kratkih, enako dolgih časovnih intervalih. Ker novo ceno izračunamo ob koncu vsakega intervala, velja za celotni interval enaka cena, ki jo izpeljemo iz opredelitve cenovne elastičnosti. Če je postopek za izračun relativno pogost glede na spreminjanje preferenc uporabnikov, lahko pokažemo, da je gornji izračun dovolj dober približek ceni, ki jo iščemo.

Algoritem za izračun cene bi se izvajal na vsakem posameznem omrežnem viru (predvsem usmerjevalnikih). Ker za usmerjevalnike velja, da združujejo dve ali več omrežnih povezav hkrati, je treba ceno pošiljanja opredeliti za vsako povezavo posebej.

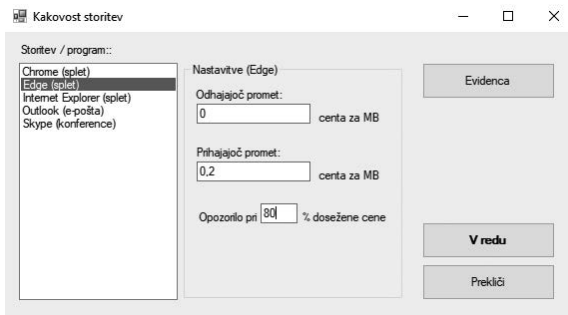
Najavljena cena bi veljala le za en omrežni vir, paketek pa v splošnem potuje prek več vozlišč, na začetku poti pa slednja še ni znana. Naš predlog je, da se v podatke v ovojnico

paketa vključi najavljena cena za prehod prek vseh omrežnih virov na poti paketka. Vsak omrežni vir na poti paketka glede na trenutno ceno prenosa prek tega vozlišča odvzame vrednost storitve iz podatka v ovojnici paketa in pošlje paketek naprej. Glede na zabeležene paketke posameznega uporabnika, ki so potovali prek določenega omrežnega vira, lahko upravljavec vira bremeni uporabnika s plačilom (Turk, 2008).

Na ta način bi tudi uvedli vsaj dva razreda prenosa podatkov – plačljiv in neplačljiv promet. Paketki, za katere je uporabnik pripravljen plačati določeno ceno, bi potovali po omrežju, na vsakem omrežnem viru bi se cena prenosa po tem viru odštela od najavljene cene. V tem primeru je paketku zagotovljeno takojšnje prepošiljanje naprej po omrežju. Paketki, pri katerih bi bila najavljena cena že enaka nič, bi se po omrežju posredovali kot neplačljivi tako kot sedaj (angl. best-effort). Uporabnik bi lahko ob tem reagiral in najavil večjo ceno.

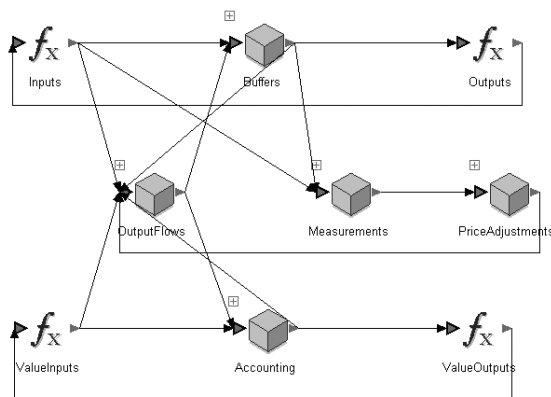
Na sliki 1 je primer uporabniškega vmesnika, s katerim bi uporabnik opredelil največjo možno ceno, ki jo je še pripravljen pokriti za prenos podatkov za določeno storitev.

Slika 1: Uporabniški vmesnik za opredelitev pripravljenosti plačila



Za preizkušanje teh predlogov smo razvili poseben simulacijski pristop, t. i. fluidni model omrežja, kjer računalniško omrežje modeliramo s pristopi sistemske dinamike (običajno se paketna omrežja simulirajo kot čakalne vrste). Pri tem smo opredelili vire (generatorji podatkov, ki jih je treba prenesti), povezave (infrastrukturni prenosni medij, po katerem se podatki lahko prenašajo), aktivne povezave (vzpostavljene seje) ter vozlišča. Z matrično algebro smo opredelili medsebojne odnose med temi elementi (npr. prenos podatkov z nekega vira prek različnih vozlišč in povezav), ki se dinamično spreminjajo (Turk, 2009). Na ta način lahko tudi z relativno preprosto strukturo modela simuliramo kompleksno omrežje z več tisoč vozlišči in drugimi elementi (uporabili smo simulacijsko orodje GoldSim). Glavna struktura simulacijskega modela je razvidna na sliki 2.

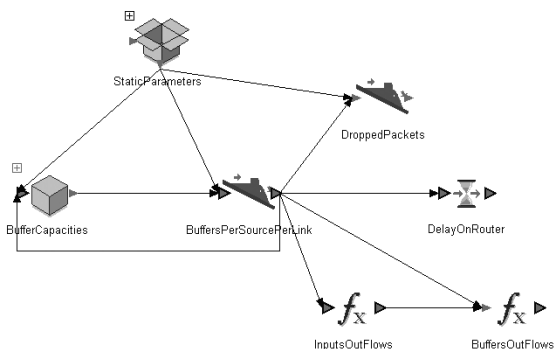
Slika 2: Glavna struktura omrežnega modela



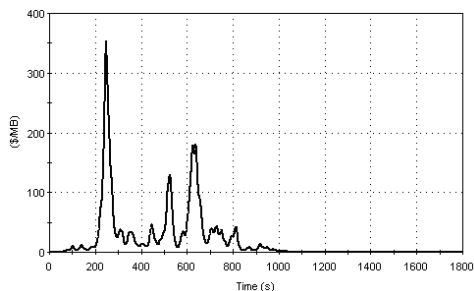
Zgornji del modela predstavlja tok podatkov (računalniško omrežje), medtem ko spodnji del modelira vrednosti tokov. Promet, ki ga v omrežje “vnašajo” viri, je modeliran kot stohastičen. V osrednjem delu je izračun izhodnih tokov (tako podatkov kot vrednosti prenosa), skupaj z meritvami prometa in prilagoditvami cen.

Na sliki 3 je prikazana zgradba omrežnega vozlišča. Posamično vozlišče sestavljata vmesni pomnilnik ter logika usmerjanja paketkov z ene povezave na naslednjo. Tu se zaznajo tudi zavrženi paketki.

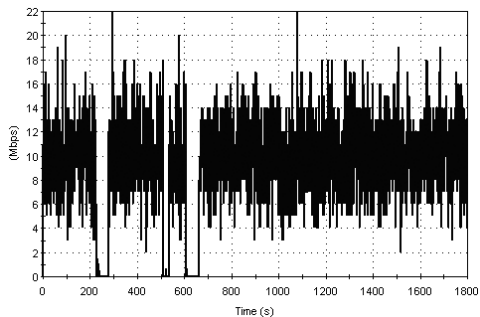
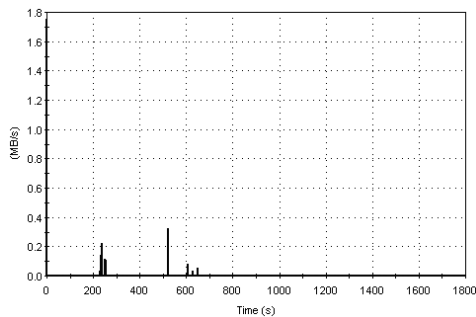
Slika 3: Omrežno vozlišče



Na sliki 4 je prikazano dinamično gibanje cene za prenos podatkov na enem od simuliranih omrežnih virov. Cena se spreminja glede na razmere v omrežju, to je na razpoložljivo pasovno širino in obseg povpraševanja po prenosu v danem trenutku.

Slika 4: *Gibanje cene prenosa podatkov na enem omrežnem viru*

Na sliki 5 je prikazano gibanje podatkovnega prometa za uporabnika, ki plačuje za prenos, je pa cena v nekaj primerih preseгла njegovo napovedano ceno. V tem primeru se nekateri njegovi pakетки prenašajo po principu “best-effort”, nekateri pa se zavržejo – njihova količina je prikazana na sliki 6.

Slika 5: *Prenos podatkov za uporabnika, ki plačuje za prenos*Slika 6: *Zavrženi pakетки v primeru prevelike dejanske cene*

UGOTOVITVE

S simulacijo smo preverili dve izboljšavi modela pametnega trga, to je dinamično izračunavanje cene s pomočjo cenovne elastičnosti, ter propagiranje cene po omrežni povezavi. Obe izboljšavi sta se izkazali za učinkoviti. Pri prvi smo ugotovili, da dinamično izračunavanje cene vodi v relativno učinkovito zasedenost virov, saj vodi v minimalni presežek povpraševanja po prenosu paketkov IP nad zmogljivostjo omrežnega vira. Tudi druga izboljšava – propagiranje informacije o ceni po omrežju – se izkaže za izvedljivo. Pri obeh izboljšavah smo s simulacijo proučevali tudi obnašanje pod različnimi pogoji, rezultati pa kažejo, da se sistem obnaša stabilno.

Pred implementacijo novega mehanizma izračunavanja cene bi bilo treba (ob nujnem sodelovanju različnih strokovnjakov) predvsem opredeliti spremembe (dodatke) obstoječim protokolom in hkrati s tem napraviti spremembe pri implementacijah nekaterih omrežnih protokolov, implementirati nove algoritme na usmerjevalnikih, razviti aplikacije za knjigovodstvo in zaračunavanje, opraviti izbor plačilnega mehanizma ter napraviti dodatke za uporabniške aplikacije.

Pri tem sta izbor plačilnega mehanizma ter razvoj aplikacij lahko prepuščena posameznemu ponudniku (razvoj algoritmov na usmerjevalnikih in spremembe pri implementacijah omrežnih protokolov naj bi bile kot doslej odprte), razvoj dodatkov za uporabniške aplikacije pa je lahko prepuščen neodvisnim razvijalcem.

Težko je predvideti, kako bi uporabniki sprejeli morebitne spremembe pri zaračunavanju storitev. Prav zaradi tega je tudi težko preizkušati predlagane modele v praksi, uvedba različnih razredov storitev, med drugim enega brezplačnega, ki bi bil primerljiv s sedanjo uporabo storitve prenosa paketkov IP, pa bi prispevala vsaj k temu, da takim pristopom ponudimo možnost uveljavitve. Uvajanje izboljšav bi bilo možno tudi brez globalnega soglasja ponudnikov, dovolj bi bilo rešitve preveriti v lokalnem geografskem obsegu, ob tem pa sistem ne bi vplival na delovanje omrežja na tem območju.

LITERATURA IN VIRI

Calzada, J., Tselekounis, M. (2018). Net Neutrality in a hyperlinked Internet economy. *International Journal of Industrial Organization*, (59), 190-221.

Cardwell, N., Cheng, Y., Gunn, S., Yeganeh, S. H., Jacobson, V. (2016). Measuring bottleneck bandwidth and round-trip propagation time. *ACM Queue*, 5(14), 1420-1453.

Gupta, A., Stahl, D., Whinston, A. (1995). *Pricing of services on the Internet*. Working paper. University of Texas, Austin.

- Kleinrock, L. (2018). Internet congestion control using the power metric: Keep the pipe just full, but no fuller. *Ad hoc networks*, (80), 142-157.
- MacKie - Mason, J. (1995). *A smart market for resource reservation in a multiple quality of service information network*. University of Michigan, NBER.
- MacKie - Mason, J., Varian, H. (1994). *Generalized Vickrey auctions*. University of Michigan.
- MacKie - Mason, J., Varian, H. (1995). Pricing the Internet. V Kahin, B., Keller, J. (ur.), *Public access to the Internet* (str. 269-314). Cambridge: The MIT Press.
- McKnight, L., Bailey, J. (1997). An introduction to Internet economics. V McKnight, L., Bailey, J. (ur.): *Internet Economics* (str. 3-26). Cambridge: The MIT Press.
- Nogueira, J., Cavalcanti, J. (1996). *The safety net Approach to Internet pricing*. Rio de Janeiro: Universidade Federal de Pernambuco.
- Peitz, M., Schuett, F. (2016) Net neutrality and inflation of traffic. *International Journal of Industrial Organization*, (46), 16-62.
- Turk, T., Jerman - Blažič, B. (2001). User's responsiveness in the price-controlled best-effort QoS model. *Computer communications*, (24), 1637-1647.
- Turk, T. (2008). System dynamics simulation of computer networks: price-controlled QoS framework. *Mathematics and computers in simulation*, 1(78), 27-39.
- Turk, T. (2009). Price aggregation in an end-to-end QoS provisioning. *Computer standards & interfaces*, 4(31), 685-692.
- Vickrey, W. (1970). Economics of the regulated communications industry in the age of innovation. V: *Zbornik seminarja New England Telephone* (str. 61-78).