

■ Razmerja med telekomunikacijskimi operaterji in kakovost internetnega priključka končnega uporabnika

Matjaž Savnik, Level 3, Bleiweisova cesta 30, 1000 Ljubljana

Tilen Savnik, V Murglah 88, 1000 Ljubljana

matjaz.savnik@level3.com; tilen.savnik7@gmail.com

Izvleček

Uporabniki interneta včasih opazimo, da nam povezava do določenih spletnih strani deluje počasneje kot običajno. To si razlagamo z obremenjenostjo ciljnega spletnega strežnika ali telekomunikacijskih, internetnih povezav. Če odmislimo potencialne omejitve na infrastrukturi cilja oziroma spletnega mesta, s katerim želimo komunicirati, nam za analizo ostane še transportna infrastruktura, v kateri lahko sodeluje nepregledna množica operaterjev, vsak s svojimi lastnostmi in omejitvami, za katere lahko predpostavimo, da imajo določen vpliv na kakovost naše internetne povezave. Zanima nas, kako se kaže vpliv teh nevidnih posrednikov pri kakovosti naše internetne povezave.

Kakovost internetne povezave se ne pozna samo pri hitrosti nalaganja spletnih vsebin. Pri uporabi interneta za telefonske govorne klice hitro občutimo, kako pomembni so tudi drugi komunikacijski parametri, kot so zakasnitve na liniji ali nihanje odzivnih časov. (Sportack, 2005)

Problem kakovosti internetne povezave obstaja, vendar ne povsod in vedno. Z razvojem in investicijami operaterjev v omrežja in storitve je vedno manj navzoč. Še največkrat ga zaznamo pri vzpostavljanju internetnih telefonskih in video klicev v druge države.

V članku smo pristopili k raziskovanju razmerij med telekomunikacijskimi operaterji za zagotavljanje storitve interneta. Lokalni in regijski operaterji na svojem geografsko omejenem tržišču vstopajo v ekonomske in tehnične relacije, ki vplivajo na kakovost internetne povezave končnega uporabnika.¹ Ta se vsega ozadja internetne povezave niti ne zaveda. Cilj članka je vsaj deloma pojasniti to ozadje in na praktičnem primeru demonstrirati potek internetnih tokov med uporabniki in poljubno izbranim ciljnim spletnim mestom.

Rezultati meritev zakasnitev povezave do spletnega portala RTV SLO s sondo Ripe Atlas na Hrvaškem niso pokazali večjih težav. Domači operaterji so dobro vpeti v mednarodni internetni promet in na njihovih poteh in prehodih ne prihaja do večjih zakasnitev.

Ključne besede: relacije med operaterji, lokalni in globalni operaterji, ekonomska/tehnično ozadje za globalne internetne prometne tokove, kakovost internetnega priključka končnega uporabnika, Ripe Atlas.

Abstract

Relationships among Telecommunications Carriers and the Quality of the End User's Internet Connection

As internet users we sometimes notice that the connection to specific internet pages works slower than usual. Usually we think this is related to a heavier load of the target server or telecommunication links. If potential bottlenecks on target infrastructure and web site are disregarded, the analysis has to focus on the transport infrastructure, which comprises a multitude of carriers, each with its own characteristics and limitations. We can assume this has a specific influence on the quality of our internet connection. It is interesting to know how this invisible middleman influence manifests on the quality of our internet connection.

The quality of the internet connection does not only influence the speed at which webpages load. When using internet for voice calls, we quickly notice the importance of some other communication parameters such as latency or jitter (Sportack, 2005).

The problem of internet connection quality remains but not everywhere and not all the time. With the development and investment of carriers into the network and services, this comes into effect more and more rarely. We usually notice it when setting up internet voice and video calls to other countries.

In the article we approached the subject of internet quality by researching relationships between telecommunications carriers. On geographically determined markets, local and regional carriers enter into economic and technical relationships that influence the quality of the end users' internet connection. The end users are not even aware of all the background of their internet link. The aim of the article is to describe the basics of this background and to demonstrate the flow of internet traffic between users and a chosen target web site.

¹ Na ameriškem govornem področju za ta pojem uporabljajo izraz QoE – quality of experience.

Measurements of the RTV SLO web portal latency using Ripe Atlas probes from neighboring Croatia did not show any significant problems. Domestic carriers are well integrated into the international internet traffic and there are no significant latencies identified on their routes and crossings.

Keywords: Relations between carriers, Local and global carriers, Economic and technical background for global internet traffic flows, Quality of the end user's internet connection, Ripe Atlas.

1 UVOD

Gospodarstvo in družba sta neposredno odvisna od vsebin in komunikacij, ki so dostopne prek interneta, pa naj bodo te javne ali pa zaščitene s kriptografskimi mehanizmi za zasebna omrežja. Povsod je internet temeljna komunikacijska infrastruktura, prek katere se izmenjujejo vsebine. Posamezne gospodarske panoge so nastale samo zaradi interneta, kot sta online spletno igranje in internetna telefonija.

Področje proučevanja je ozadje oblikovanja podatkovnih tokov v sodobnem »internetnem svetu«. Pokazali bomo, kako je tudi internet gospodarska panoga, v kateri obstajajo dinamične relacije med dobavitelji in kupci, ter da poslovni subjekti ravno tako kot v tradicionalnih ekonomskih panogah iščejo način za optimizacijo svojega tržnega položaja.

Temeljna teza je, da ekonomsko in tehnično ozadje teh odnosov vpliva na kakovost internetnega priključka končnega uporabnika, ki je ta sam običajno ne zna izmeriti in celoviti oceniti, saj ne obstaja njegov enolični uporabniški profil. Za večino uporabnikov zadošča internet kot »priključek« za elektronsko pošto in pregledovanje najbolj popularnih spletnih strani. Bolj zahtevni uporabniki želijo večjo pasovno širino za hitrejšo delo, za večjo kakovost video posnetkov, morda celo video prenosov v živo. Za še bolj zahtevne mora biti internetna povezava stabilna, z majhnimi zakasnitvami do spletnih strežnikov ter brez nihanj v odzivnem času.

Namen preučevanja je razumevanje ekonomskih odnosov med telekomunikacijskimi operaterji ter načina, kako operaterji tehnično usmerjajo internetne prometne tokove na podlagi teh razmerij.

Cilj članka je ugotavljanje značilnosti in kakovosti internetne povezave poljubno izbranega, javnega IP-naslova.

2 INTERNETNA STORITEV IN INTERNETNI OPERATER

Končni uporabnik z internetnim operaterjem oz. ponudnikom (ISP – internet service provider) sklene naročniško razmerje za internetno storitev in ga ne zanima način in ozadje, kako podatki prispejo na njegov računalnik. Banalizirano je za končnega

uporabnika internet »Google«, ki mu odgovori na vprašanja in dostavi spletne vsebine, ki so za končnega uporabnika večinoma brezplačne.

Internetni ponudniki, večji ali manjši, sami niso lastniki pomembnega deleža svetovnega interneta, saj je ta za kaj takega prevelik. Kaj je torej internetna storitev, ki smo jo kupili od ponudnika interneta? Je to samo priključek v omrežje ali kaj več?

Internetno storitev bi lahko opredelili kot »poštno« storitev med dvema lokacijama, pri čemer obe izpolnjujeta pogoj, da sta internetno povezani. Ta storitev pobere informacijo (IP-paket) z ene vstopne točke (javni IP-naslov) in ga prenese na drugo stran (javni IP-naslov). Vendar nam naš operater lahko le zagotovi, da bo to poskusil izvesti po »svojih najboljših močeh«. Internetna storitev torej nikoli ne more biti celovita storitev, ker tudi internet ni celovit.

Pri tem naletimo na težavo. Če je opredelitev storitve tako ohlapna in pomeni, da nam naš internetni ponudnik zagotovi le vstopno točko v internet, ne pa tudi celotne povezave, ne vemo, ali je to dovolj dobro za naše potrebe. Če poskusimo in nam storitev ustreza, smo zadovoljni in jo bomo uporabljali. Zvečer, ko bodo internet hoteli uporabljati še vsi drugi uporabniki, bo storitev morda slabša. Če se bo to ponavljalo, bomo morda celo zamenjali internetnega ponudnika; morda bo bolje, morda tudi ne. Storitve je vrste »po najboljših močeh« in ne »zagotovljena medoperaterska telekomunikacijska« storitev, kot je na primer klasična pošta oziroma pošiljanje pisma. Podrobneje pogledajmo zgodovino, ki je pomembna tudi za današnje razumevanje poslovnih relacij med internetnimi operaterji.

3 RAZVOJ POSLOVNEGA MODELA SODELOVANJA TELEKOMUNIKACIJSKIH OPERATERJEV

Današnji poslovni model internetnih operaterjev se je izoblikoval kot nadgradnja poslovnih modelov tradicionalnih komunikacijskih storitev, kot sta pošta in fiksna telefonija. Najosnovnejša storitev je posredovanje pisemske pošiljke, ki bolj ali manj nespremenjena deluje še danes.

Podobno kot v primeru interneta gre tudi v primeru mednarodne poštne pošiljke za udeležbo več poštних organizacij v različnih državah, ki morajo poslovati po splošno sprejetih normah panoge, da pošiljka prispe do končnega naslovnika. Če je naslovnik pisma v isti državi, lahko domača pošta uredi dostavo znotraj svojega omrežja, podobno kot pri internetu. Če pa je naslovnik nekje daleč, mora pismo prepotovati v tranzitu do naslovnikove pošte, ki nato poskrbi za končno dostavo. Izvorna pošta zaračuna pošiljatelju povečane stroške zaradi tranzita z dražjo poštnino, medtem ko med začetno in končno pošto običajno ni zaračunavanja. Pošte ocenjujejo, da se jim zaradi mednarodnih pošilk niso bistveno povečali stroški, saj za lokalno dostavo uporabljajo že obstoječo distribucijsko mrežo. V primeru države, kjer bi večina njenih prebivalcev dobivala pošto iz tujine, sami pa bi je v tujino pošiljali veliko manj, bi nastopila težava, saj pošta ne bi imela več prihodkov od poštne in morala bi posredovati država s financiranjem storitve v splošno korist. Pri poštni pošiljki torej:

- pošiljatelj plača pošiljanje sporočila,
- poštna organizacija pošiljatelja nosi stroške dostave poštne organizaciji naslovnika,
- pošiljanje sporočila v različne države različno stane in ima različen čas dostave,
- pošiljanje večjih ali težjih pisem je dražje.

Razumljivo je, da se je prav na podlagi mednarodnega poslovnega modela sodelovanja poštних operaterjev izoblikoval tudi model poslovnega sodelovanja operaterjev klasične telefonije.

Podobno kot pri pošti tudi pri tem nimamo lastnika celotnega omrežja, temveč medsebojno povezana delna omrežja, zgodovinsko organizirana po ozemljih posameznih držav, ki med sabo izmenjujejo promet. Podobno kot pri poštni storitvi stroške klica plača le klicatelj. Podobno so stroški komunikacije različni glede na to, kam kličemo in kako »težko« je sporočilo, to je koliko časa traja pogovor. Med telefonskimi podjetji velja dogovor (angl. Peering agreement), ki določa, da si podjetji, začetno in končno, medsebojno ne bosta zaračunavali končne dostave tujega sporočila v svojem omrežju oziroma zaključevanja klica, če bo le obseg klicev, ki jih ena stran pošilja drugi in obratno, kolikor toliko enak. Nastale pa so že določene dopolnitve sistema. Glede na to, da gre zdaj za tehnološko naprednejšo storitev in je potrebna investicija v opremo in povezave,

so podjetja začela natančnejše meriti obseg prometa v eno in drugo smer in nastali so kompleksni medoperaterski obračunski modeli. Po deregulaciji in pojavu konkurence nacionalnih operaterjev je nastala množica novih operaterjev, ki imajo minimalne lastne infrastrukture in bi želeli še naprej delovati s čim manjšimi stroški. Seveda želijo svojim kupcem ponuditi enakovredno storitev, to je brezplačno zaključevanje klicev v omrežjih klicanih. Operaterji z veliko lastno infrastrukturo so se temu uprli, saj jim ti klici povzročajo le dodatne stroške, ob tem da so začeli še izgubljati svoje naročnike, ki so prešli na manjše, cenejše operaterje. Zaradi pojava nesorazmerij obsega prometa so se začela oblikovati nova pravila. Zaključevanje oziroma terminiranje klicev v drugem omrežju je postala nova, zaračunljiva medoperaterska storitev.

Kakovost telefonskega klica je odvisna od kakovosti omrežja enega in drugega operaterja in kakovosti njune medsebojne povezave. Če je povezava prešibka, telefonskega klica morda sploh ne bo mogoče vzpostaviti, odvisno od obremenjenosti linij v tistem trenutku. Morda bo slaba tudi slišnost klica. S pojavom telefonije postane pomemben element telekomunikacij kakovost.

Pri klasični telefoniji torej velja:

- stroške klica plača le klicatelj (tako kot pri pošti),
- vsak operater nosi svoj strošek vzpostavitve medomrežne povezave, to je tranzita do vhoda v omrežje klicanega,
- klic v različne države različno stane,
- za daljše klice se obračuna višja cena,
- medoperaterske pogodbe določajo obračun terminacije klicev glede na sorazmernost izmenjanega prometa,
- kakovost klica je odvisna od kakovosti medoperaterske povezave, tj. kako dobro se je naš operater povezal na drugega.

4 SODELOVANJE OPERATERJEV ZA INTERNETNO STORITEV

V primeru komunikacije znotraj omrežja domačega operaterja podobno kot pri pošti ali telefoniji celotno storitev izvede operater samostojno. Prek usmerjevalnikov se prenašajo IP-paketi po vnaprej določeni poti, ki je določena z usmerjevalnim protokolom, ki ga uporablja operater (običajno OSPF). Operater je odgovoren, da se na nobenem delu omrežja ne pojavi zastoj prometa (angl. Congestion) in da so dostavljene

ni vsi IP-paketi. Za to storitev bi lahko dal operater jamstvo (SLA – service level agreement), saj jo nadzoruje v celoti in lahko poskrbi za dostavo sporočila.

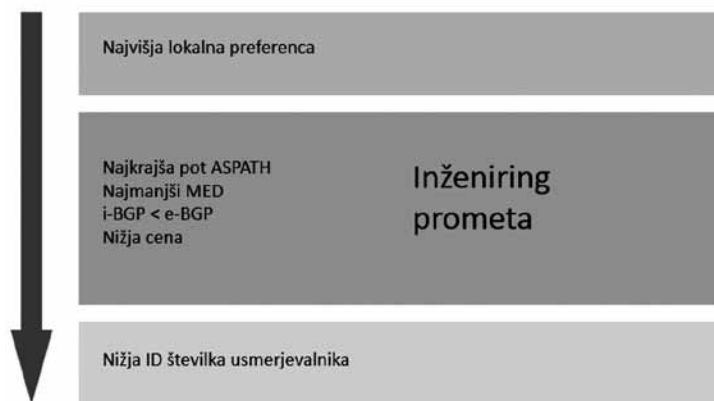
V primeru, da je računalnik, s katerim se želimo povezati prek interneta, zunaj tega »malega omrežja«, pa ne gre brez posredovanja IP-paketov prek več avtonomnih omrežij. Organizacija, ki skrbi za osnovno organizacijo v internetu oziroma medmrežju (za Evropo Ripe, za Ameriko ARIN itd.), jih identificira prek dodeljene enolične numerične šifre, ki jo imenujemo AS-številka (angl. Autonomous System Number).

4.1 Medoperaterski usmerjevalni protokol BGP

Ker ni internet nič drugega kot omrežje omrežij, se je podobno kot pri pošti ali telefoniji moral izoblikovati tehnični in poslovni model sodelovanja. Tehnični protokol za povezavo med avtonomnimi omrežji operaterjev, s katerim se sporazumeta robna usmerjevalnika sosednjih internetnih operaterjev, se imenuje BGP (angl. Border Gateway Protocol) (Tanenbaum, 2003). Trenutno uporabljani standard povezovanja vseh svetovnih omrežij je BGP-4. BGP je vektorski smerni protokol, ki usmerjevalniku, ki mora poslati IP-paket na neki ciljni naslov, pove, po kateri poti oz.

po kakšnem sosledju avtonomnih omrežij bo paket potoval do cilja. Vsak BGP-usmerjevalnik stalno sporoča BGP-usmerjevalnikom v sosesčini posamezne poti za doseg posameznih ciljev, to je ciljnih IP-naslovov. Ti so združeni v skupine in so celotni naslovni bloki IP-naslovov, ki pripadajo drugemu operaterju. Primer oglaševanja poti: »Omrežje 171.64/16 je dosegljivo po poti {AS1, AS5, AS13}«.

Običajno obstaja do končnega naslova več poti. BGP-usmerjevalnik domačega operaterja je zabeležil vse oglaševane možnosti poti za doseg cilja z operaterji, s katerimi ima naš domači operater vzpostavljeno povezavo. Poslovna odločitev domačega internetnega operaterja je, ali bo res izbral najkrajšo pot, ki je običajno tudi najhitrejša, ali pa mogoče tisto, ki je cenejša. V protokolu BGP se parameter, s katerim povemo, da dajemo prednost določeni poti pred drugo, čeprav je druga krajša, imenuje lokalna preferenca (LOCALPREF) in je hkrati najvišja prioriteta, po kateri se usmerjevalnik odloči za smer pošiljanja paketa (McKeown, 2014). S tem parametrom lahko uveljavimo določeno pot pred morebitnimi drugimi krajšimi, ker je to pot prek naše BGP-stranke, od katere za promet prejemamo plačilo.

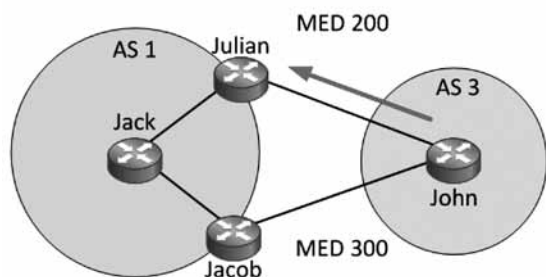


Slika 1: Parametri v BGP-usmerjevalniku, ki vplivajo na izbor poti pošiljanja IP-paketa (McKeown, 2014)

Naslednji BGP-parameter je dolžina poti do ciljnega IP-naslova (ASPATH). BGP-protokol bo sam predlagal najkrajšo pot. Vendar lahko operater s parametrom ASPATH namesto za uporabnike najkrajše poti do cilja odloči, da bo usmerjal promet za določeno ciljno omrežja po drugi poti. Predvsem za morda manj popularne destinacije, na katerih je malo upo-

rabnikov in tržno ne pomeni veliko, če internetna povezava ne bo najbolj optimalna.

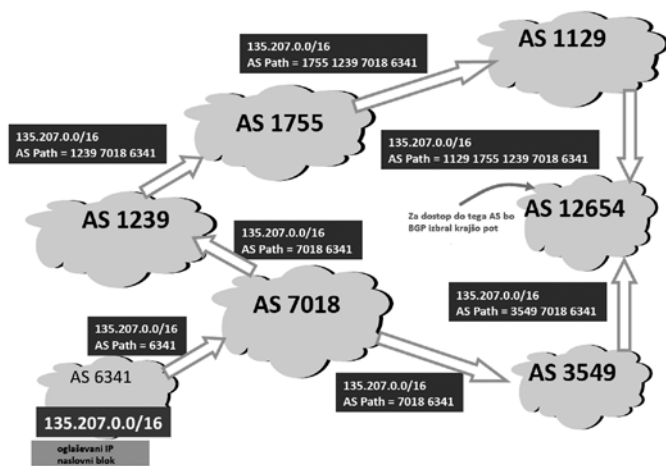
Parameter MED (Multi Exit Discriminator) pride v poštev, ko imamo svoj robni BGP-usmerjevalnik povezan na več BGP-usmerjevalnikov sosednjega AS-omrežja (Molenaar, 2013).



Slika 2: BGP-parameter MED (Networklessons.com, 2015)

V primeru na sliki 2 bo usmerjevalnik v omrežju AS3 proti omrežju AS1 vedno nastopil po poti, ki je označena z manjšim parametrom MED.

V primeru na sliki 3 bo BGP protokol z upoštevanjem parametra ASPATH izbral pot, ki poteka od izvirnega omrežja AS 6341 najprej do AS 7018 in nato do AS 3549 ter AS 12654, ker pride po tej poti le v treh skokih, kar je po podani shemi najmanjše mogoče število skokov.

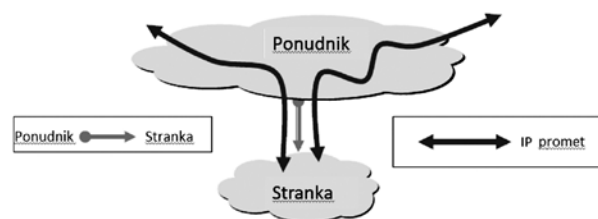


Slika 3: Dve možni poti iz omrežja AS 6341 do ciljnega IP-naslava v omrežju AS 12654 (McKeown, 2014)

4.2 IP-tranzit in točke izmenjave internetnega prometa

Kako se torej oblikujejo stroški posameznih prometnih poti? Operaterji morajo stalno vlagati v širitev svojih kapacitet in pokritosti in razvil se je obširen ekosistem operaterjev in njihovih medsebojnih poslovnih relacij.

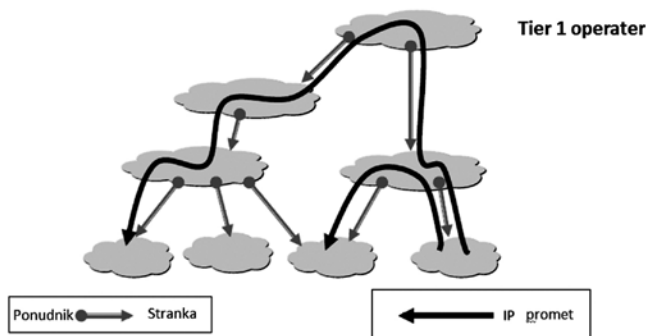
Poglejmo, kako se torej domači operater z omejenim teritorialnim dosegom poveže z drugimi, da doseže globalno pokritost možnih ciljnih destinacij. Ciljni IP-naslov lahko pripada neznanemu operaterju, s katerim naš operater nima vzpostavljene povezave.



Slika 4: Odnos med operaterji ponudniki in strankami (McKeown, 2014)

Lokalni operater se lahko v internet poveže različno. Običajno operaterji uporabljajo vsakega od teh načinov v različnih razmerjih glede na specifični položaj oziroma možnosti in stroške. Lahko se poveže na večjega operaterja in mu plača za tranzit do drugih omrežij. Lahko se poveže na ravni proste izmenjave prometa (angl. peering) na javni izmenjevalni točki (public peering exchange point), ki povezuje več operaterjev hkrati, ali pa s posamičnim sosednjim operaterjem vzpostavi zasebno vzajemno povezovanje. Seveda tudi vzajemno povezovanje ni brez stroškov, saj je treba do povezave transportirati svoj promet ter plačati za namestitve svoje omrežne opreme in priključek.

Razmerje imenujemo ponudnik – stranka (slika 4), ko stranka kupi od ponudnika storitev IP-tranzit s čim večjo pokritostjo, tj. z dostopom do čim večjega števila drugih omrežij. Svetlejša puščica na sliki 4 prikazuje smer zaračunavanja storitve. Specializirani operaterji za IP-tranzit pripadajo t. i. kategoriji Tier 1, ki jih označuje kot operaterje na vrhnji ravni, ki niso več v kupoprodajnem odnosu z nikomer nad njimi. Leta 1995 je skrb za osrednji del omrežja prevzelo dvanajst največjih telekomunikacijskih operaterjev, ki so razglasili neomejeno in brezplačno izmenjavo podatkov med svojimi infrastrukturami. Zaračunavanje prometa znotraj njihovih omrežij ni več odvisno od razdalj, saj kupcem zaračunajo samo vstop v svoja omrežja.

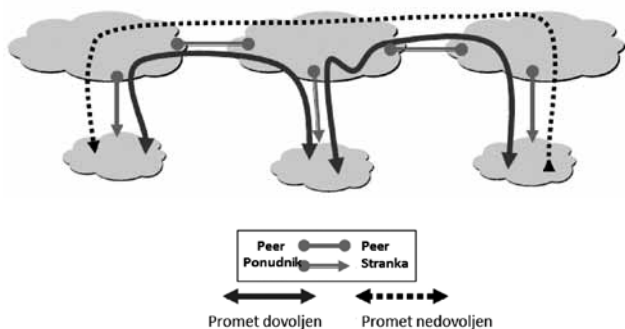


Slika 5: Hierarhija odnosov med operaterji v IP-tranzitu (McKeown, 2014)

V primeru na sliki 5 imamo večnivojsko razmerje, ki ni v poslovnem svetu telekomunikacij nič neobičajnega. Čeprav je posamezni operater lahko ponudnik svojim strankam, je v razmerju do operaterja večje velikosti še vedno tudi stranka in plačuje za tranzit prek omrežja svojega ponudnika za dostop v omrežje tretjega operaterja.

Tudi operaterji Tier 1 tekmujejo s kakovostjo ponudbe IP-tranzita. Tega merimo:

- z velikostjo oz. številom IP-naslovov, za katere lahko zagotovijo povezavo oz. jih oglašujejo kot naslove, s katerimi so povezani (slika 5); največji svetovni operater Tier 1 je ameriški Level 3, ki oglašuje, da lahko zagotovi povezavo do katerega koli IP-naslava v povprečno 1,75 skoka med AS-omrežji;
- s kakovostjo, ki pomeni čim krajšo razdaljo do cilja ter dejansko kapaciteto prodane pasovne širine (npr. priključek 10 Gbps mora imeti zmožnost 10 Gbps tudi v konicah). To pomeni, da ni prodane več kapacitete, kot jo je mogoče zagotoviti. Lokalni operaterji si v odnosu do končnih uporabnikov lahko privoščijo, da prodajo več kapacitet, kot jih imajo na voljo, nekateri si upajo nekajkrat »naviti svoja omrežja«, saj lahko pričakujejo, da vsi njihovi uporabniki ne bodo uporabljali internetne povezave v istem trenutku.



Slika 6: Peering med dvema omrežjema (levi in srednji, srednji in desni) (McKeown, 2014)

Običajno tudi velja, da omrežja operaterja, s katerim smo vzajemno povezani, ne uporabimo za tranzit do tretjega omrežja (slika 6).

Če ima operater vzpostavljeno vzajemno sodelovanje s ciljnim omrežjem, ga bo skušal uporabiti in zato zanj v BGP-konfiguracijo postaviti ustrezno prioriteto pred plačljivim IP-tranzitom. Čeprav tudi to ni brez stroškov, so pri velikih količinah ti relativno

manjši. Mednarodni peering postane v primerjavi proti enostavnemu nakupu IP-tranzita ekonomsko bolj upravičen šele pri kapacitetah, večjih od 10 Gbps (Gasmi, 2015).

Cena vzajemnega povezovanja



Slika 7: Internetna izmenjevalna točka (Norton, 2010)

Če imata operaterja primerljiv obseg izmenjave prometa, se običajno povežeta brez medsebojnega zaračunavanja tega. Običajno se operaterji povezujejo na nevtralnem terenu, ki se imenuje internetna izmenjevalna točka (Internet exchange point) (slika 7).

V Sloveniji imamo tako SIX (Slovenian Internet Exchange), sicer pa so med domačimi operaterji najbolj popularni Frankfurt (DE-CIX), Amsterdam (AMS-IX), London (LINX) in Dunaj (VIX).

Ekonomsko usmerjeni operater bo posamezne poti (ASPATHS) v BGP-usmerjevalniku označil tako, da bodo imele prednost poti, ki mu jih ponujajo kupci (te poti so plačane), nato poti, ki jih ima vzpostavljene prek vzajemne izmenjave prometa (te poti so zanj brezplačne), ter šele na koncu poti, ki mu jih omogoča ponudnik v razmerju ponudnik – kupec, to je IP-tranzit (te poti mora plačati).

Relacije operaterja do drugih operaterjev se oblikujejo glede na njegovo velikost, velikost omrežja in število uporabnikov, obseg prometa, vrsto prometa oz. smer (ali ima svoje vsebine, ki jih želi posredovati uporabnikom drugih omrežij, ali je samo posredovalec prometa in ima več vhodnega kot izhodnega prometa) ter kapitalsko moč oz. zmožnosti sklepanja dolgoročnejših pogodb. Glede na to se operater sam odloča, koliko sredstev bo namenil vzpostavitvi vzajemnega povezovanja ter kje, koliko in s katerimi tranzitnimi operaterji se bo povezoval za »splošno internetno povezljivost«, s katero bo omogočil še vse druge mednarodne povezave, ki jih sam neposredno ne more doseči ali pa bi bili stroški zanje previsoki.

Če razširimo našo perspektivo od pošte prek klasične telefonije do interneta, lahko povzamemo:

- Stroškov internetnega priključka ne nosi le pošiljatelj ali klicatelj, temveč oba, to je vsak, ki se naroči na internetni priključek pri operaterju. Običajno ta strošek ni obračunan po količini prenesenih informacij, temveč kot mesečni pavšal, odvisen od kapacitete priključka.
- Vsak operater ima poleg stroškov vzdrževanja domačega omrežja še stroške zunanjih povezav.
- Kakovost internetne povezave zunaj omrežja domačega operaterja je odvisna od kakovosti njegovih medoperaterskih povezav vseh vrst, od vzajemnega povezovanja do IP-tranzita.

5 REALNA MERITEV KAKOVOSTI INTERNETNE POVEZAVE KONČNEGA IP-NASLOVA

5.1 Sintetični test

Najbolj poznana značilnost internetnega priključka je pasovna širina oziroma hitrost priključka. Za takšno meritev po navadi izberemo enega od številnih testnih strežnikov, npr. Speedtest.net, ki nam na zahtevo s pošiljanjem in sprejemanjem testnih podatkov izmeri

hitrost nalaganja in pošiljanja in po navadi še zakašnitev linije, merjeno z mrežnim ICMP-ukazom ping.

5.2 Projekt SamKnows

Malo bolj celovito sliko o delovanju svojega priključka lahko dobimo, če se priključimo kateremu od merilnih projektov, ki nato samodejno nekajkrat dnevno meri osnovne parametre priključka. Primer evropskega sponzoriranega projekta, pri katerem dobimo sondo brezplačno domov, v zameno pa širši skupnosti delimo parametre svoje povezave, se imenuje SamKnows (<https://www.samknows.eu/>). S sodelovanjem v projektu dobimo nazorne in grafično obdelane podatke za nastavljivi interval preteklega obdobja, kot so hitrost, odzivni čas in število zavrnjenih zahtevkov DNS-strežnika, stabilnost linije in stopnja izgube IP-paketov.

Iz teh podatkov lahko že bolj nazorno identificiramo delovanje internetnega priključka in sledimo ter odkrijemo morebitne težave. V primeru na sliki 8 smo tako konec marca in v začetku avgusta identificirali težave nekje na omrežju med domačim priključkom in testnim strežnikom SamKnows. Ugibamo lahko, ali je to posledica zgostitve prometa in kje na poti je nastopila izguba IP-paketov.

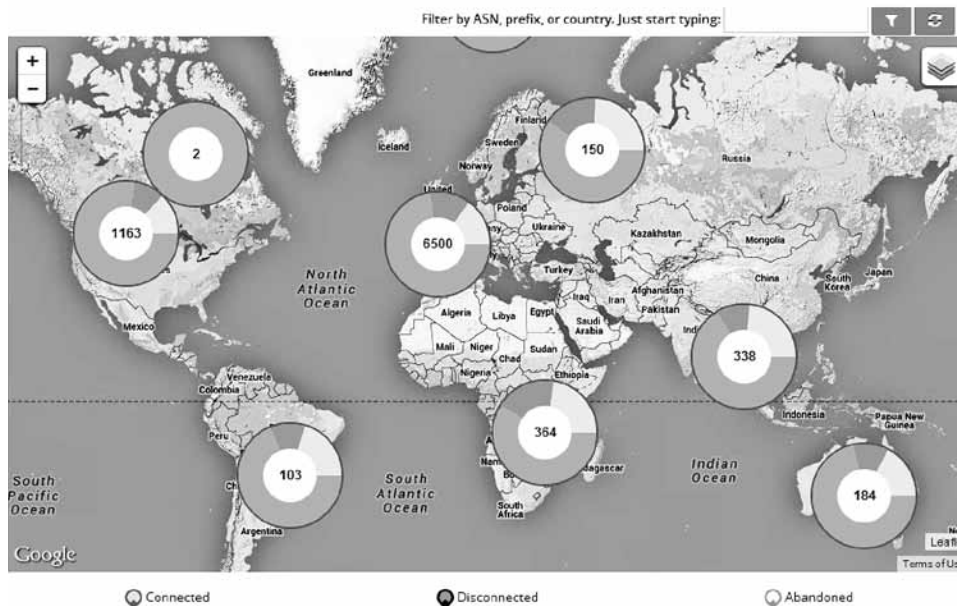


Slika 8: Dinamika dveh omrežnih parametrov (Jitter in PacketLoss) za domačo sondo SamKnows v preteklih šestih mesecih

5.3 Ripe Atlas

Ripe Atlas je projekt organizacije RIPE, evropske članice ene od petih svetovnih organizacij RIR (Regional Internet Registries), ki skrbi za koordinacijo internetnih aktivnosti (Gasmi, 2015). Projekt teče že od leta 2010 in omogoča vsakomur, ki pri sebi gosti sondo Atlas, izvajanje naprednejših omrežnih meritev. Pri

tem lahko uporabi svojo ali katero koli drugo sondo ali skupino drugih javnih sond. Za izvajanje meritve mora uporabnik predhodno zbrati določeno število točk, ki jih prisluži z razpoložljivostjo svoje sonde v družini sond RIPE. Za obsežnejšo meritev je cena oziroma poraba zbranih točk relativno večja. Na svetu trenutno deluje več kot osem tisoč sond (slika 9).



Slika 9: Sonde Ripe Atlas po svetu (Ripe Atlas, 2015)

Poleg meritve ping lahko izvajamo še meritve traceroute, DNS in SSL. Z meritvijo ping do svojega IP-naslova, na katerem je na primer priključen naš spletni strežnik, identificiramo odstopanje odziva z določene lokacije. Tega lahko podrobneje preučimo s sledenjem poteka prometa od sonde prek tranzitnih usmerjevalnikov do domačega priključka. Ker zgojitve prometa in ozka grla običajno nastanejo na prehodih omrežja med operaterji, lahko s časovnim opazovanjem prehodov in ustreznim filtriranjem iz zbranih podatkov razberemo, med katerimi operaterji ni vzpostavljena povezava ustrezne kakovosti. Razlog je lahko kapaciteta ali pa že omenjeni protokol BGP, po katerem operater izbira pot, ki ni najboljša, iz drugih, morda stroškovnih razlogov.

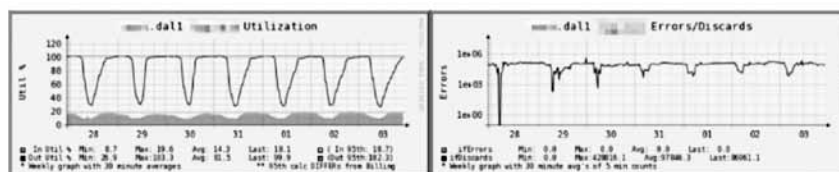
5.4 Praktični prikaz meritve z Ripe Atlas

Za ponazoritev si pogledjmo opravljeni test kakovosti internetnih poti do spletnega portala RTV Slovenija (<http://www.rtv slo.si/>) iz vseh aktivnih sond Ripe

Atlas na Hrvaškem² (vseh sond na Hrvaškem je 54, od tega jih je bilo v času testa aktivnih 35). Kot je razvidno s slike 10, je promet v zadnjem koraku do ciljnega strežnika prišel prek dveh domačih operaterjev, T-2 in Amis (Si-Medinet), pri čemer je T-2 svoj mednarodni delež dobil prek tranzitnega operaterja Telia, Amis prek tranzitnega operaterja Cogent, pa tudi od internetne izmenjave v Zagrebu (CIX) in Dujanju (VIX).

Diagram nam pokaže, kako različno poteka promet glede na domačega operaterja posamezne sonde Ripe. Tako gre v primeru hrvaškega operaterja Metronet Telekomunikacije najprej do njegovega tranzitnega operaterja Interoute, od Interoute preskoči na operaterja Telia, nato do T-2 in do ciljnega naslova. Skupaj v tem primeru promet prepotuje tri avtonomne sisteme. Na vsakem od prehodov med

² Test je zanimiv, ker poleti na Hrvaškem letuje veliko Slovencev, ki jih portal RTV Slovenija zanima zaradi dnevnih novic.



Slika 11: Leva slika kaže rast promet in njegovo omejitev, ki jo določa maksimalna kapaciteta povezave. Na desni sliki je prikaz števila zavrnjenih paketov, ki jih usmerjevalnik ni mogel obdelati (Taylor, 2014).

sistemi je povečana verjetnost zgostitve prometa in s tem povečanih zakasnitev in izgub paketov.

Če pogledamo primer poti od sonde, ki pripada podjetju Altus, ki je podatkovni center v Zagrebu, vidimo, da gre promet najprej do hrvaškega operaterja Iskon, nato do T-HT (Hrvatski Telekom) in do mednarodnega vozlišča VIX na Dunaju, kjer preskoči v omrežje slovenskega operaterja Amis, ki pripelje paket do ciljnega naslova v Ljubljani.

Preden nadaljujemo, pogledajmo še, kako BGP oglašuje izbrani ciljni naslov. Javni zavod RTV Slovenija je registriran kot samostojno AS-omrežje (AS 47917). Kot vidimo na sliki 11, RTV oglašuje svoj naslovni prostor neposredno dvema domačima operaterjema, to sta T-2 (AS 34779) in Amis (AS 8591). Več naslovov oglašuje v T-2. T-2 je naprej povezan z dvema operaterjema Tier 1, to sta Level 3 (AS 3356) in Telia (AS 1299), Amis pa z operaterji Cogent (AS 174), Hurricane Electric (AS 6939) ter NTT America (AS 2914).

AS47917 IPv4 razširjanje poti



Slika 10: Oglaševanje avtonomnega sistema RTV SLO prek usmerjevalnikov BGP (Hurricane Electric BGP toolkit, 2015)

S pomočjo meritev Ripe Atlas lahko dobimo mnogo širšo sliko o poteku internetnega prometa do naše lokacije. Nismo pa še identificirali morebitnih težav,

če kje na tej poti nastajajo zgostitve, ki so posledica dinamičnega dogajanja med operaterji, njihovimi dobavitelji ter politiko usmerjanja.

Ripe Atlas nam vrača rezultat meritve v obliki zapisa JSON. Iz podatkov lahko izluščimo, med katerima avtonomnima sistemoma verjetno obstaja zgostitev prometa, kar se kaže v večjem skoku zakasnitve na poti. To lahko pomeni, da operaterja navzven sicer nastopata kot povezana, morda prek njiju vodi celo najcenejša tranzitna pot, vendar zmogljivosti te povezave iz – najverjetneje spet – ekonomskih razlogov niso ustrezne. Tranzitni IP-operater take vrste zlahka ponuja priključek v svoje omrežje tudi za polovico ceneje kot vsi drugi, saj ima mnogo nižje stroške vlaganja v omrežje in šibka razmerja z drugimi operaterji, ki bi mu lahko ponudili kakovosten, a verjetno dražji tranzit.

Do povečanih zakasnitev običajno prihaja ob povečanem internetnem prometu v večernih urah, ko kapacitete vzajemnega povezovanja niso več zadostne za obseg prometa (Mooney, 2014) in usmerjevalniki ne zmorejo pravočasno obdelati vseh prispelih IP-paketov (slika 11).

Z analizo podatkov Ripe Atlas lahko pridemo do informacij, na katerih prehodih med operaterji prihaja do povečanih zakasnitev, ki so lahko posledica premajhnih zmogljivosti enega ali drugega operaterja oziroma pomanjkljivega načrtovanja omrežja.

6 SKLEP

Internet še zdaleč ni samo povezava v omrežje vseh omrežij, ki že nekako najde pot do cilja. Med operaterji, ki danes zagotavljajo zmogljive širokopasovne povezave, je vzpostavljen visoko dinamičen ekonomski model. Ekonomska razmerja med operaterji določajo tudi kakovost internetne povezave končnega uporabnika.

Cilj članka je analiza internetne povezave na izbranem primeru s pomočjo kratkega programa PHP in orodja Ripe Atlas. Aktualna tema v ZDA in Evropi

je internetna nevtralnost.³ Tako v ZDA kot v Evropi so sprejeti nekateri zakoni, ki naj bi uredili področje nediskriminatorne obravnave posameznih vrst prometa znotraj omrežij posameznih operaterjev. Principi internetne nevtralnosti določajo, da operater znotraj svojega omrežja ne sme dajati prednosti eni vrsti prometa pred drugo. Vendar tudi če operaterji spoštujejo to določilo v svojem avtonomnem sistemu, še vedno obstaja možnost za diskriminirano obravnavo, preden pride do vstopa za njih preveč obremenjujočih vsebin v njihovo omrežje. Najbolj aktualno je neovirano sprejemanje spletnih video vsebin,⁴ pri čemer lahko posamezni operater omeji neželene vsebine s postavitvijo omejene kapacitete na povezavah z operaterji, ki v njegovo omrežje prinašajo te vsebine (Hastings, 2014). Da se to v resnici dogaja, dokazujejo dogodki čez lužo. Netflix, največji svetovni ponudnik pretočnih videov Ameriki, je pristal na poravnavo (Briel, 2014) in soinvestiral v nadgraditev povezave velikega operaterja Comcast – poleg svojega je torej nadgradil tudi njegovo omrežje.⁵

7 LITERATURA

- [1] AS Rank: Org Ranking. (2015). [online]. San Diego, California: Caida, Center For Applied Internet Data Analysis. Dostopno na <http://as-rank.caida.org/?mode0=org-ranking> (27. 3. 2015).
- [2] Briel, R. (2014). Netflix-inks-peering-deal-with-time-warner-cable. V: Broadband TV news [online]. Dostopno na <http://www.broadbandtvnews.com/2014/08/21/netflix-inks-peering-deal-with-time-warner-cable/> (27. 3. 2015).
- [3] Gasmi, S. (2015). Visualising RIPE Atlas Anchor Measurements. V: RIPE Network Coordination Centre. Dostopno na https://labs.ripe.net/Members/salim_gasmi/visualising-ripe-atlas-anchor-measurements (27. 3. 2015).
- [4] Hastings, R. (2014). Internet Tolls And The Case For Strong Net Neutrality. V: BlogNetflix [online]. Dostopno na <http://blog.netflix.com/2014/03/internet-tolls-and-case-for-strong-net.html> (27. 3. 2015).
- [5] Hurricane Electric BGP toolkit. [2015]. [online]. Fremont, California: Hurricane Electric Internet Services, 2015-. Dostopno na <http://bgp.he.net/> (27. 3. 2015).
- [6] Karenberg, D. (2014). Labske RIPE Atlas Analyser. V: LARA [online]. Dostopno na <http://labske.org:8765/lara-traceroute/> (27. 3. 2015).
- [7] McKeown, N. (2014). An Introduction to Computer Networks. V: Stanford Online [online]. Dostopno na <http://online.stanford.edu/course/intro-computer-networking-winter-2014> (27. 3. 2015).
- [8] Molenaar, R. (2013). How to configure BGP MED attribute. V: Networklessons [online]. Dostopno na <http://networklessons.com/bgp/how-to-configure-bgp-med-attribute/> (31. 3. 2015).
- [9] Mooney, M. (2014). »Chicken«, A Game Played as a Child and by some ISPs with the Internet. V: Level3-blog [online]. Dostopno na <http://blog.level3.com/global-connectivity/chicken-game-played-child-isps-internet/> (27. 3. 2015).
- [10] Norton, W. (2010). Internet Service Providers and Peering v3.0. V: DrPeering International. Dostopno na <http://drpeering.net/white-papers/Internet-Service-Providers-And-Pee-ring.html> (27. 3. 2015).
- [11] Sportack, M. (2005) TCP/IP first-step. 2. natis. Indianapolis. US : Cisco Press.
- [12] Tanenbaum, A. (2003) Computer Networks. 4. natis. New Jersey, US: Prentice Hall.
- [13] Taylor, M. (2014). Observations of an Internet Middleman. V: Level3-blog [online]. Dostopno na <http://blog.level3.com/global-connectivity/observations-internet-middleman/> (27. 3. 2015).

Matjaž Savnik je vodja prodaje pri mednarodnem telekomunikacijskem operaterju Level 3 za regijo Adriatic in Madžarska. Pred tem je bil zaposlen pri proizvajalcu telekomunikacijske opreme Cisco Systems, proizvajalcu programske opreme Oracle ter domačem sistemskem integratorju Intertrade ITS.

Tilen Savnik je študent prvega letnika Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Pred tem je končal Gimnazijo Bežigrad v Ljubljani; bil je Zoisov štipendist.

³ Članek Ofcom's approach to net neutrality je dostopen na <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/net-neutrality/statement/statement.pdf>.

⁴ OTT – over the top

⁵ Članek »Monitoring quality of Internet access services in the context of net neutrality«, dostopen na [http://berec.europa.eu/files/document_register_store/2014/3/BoR%20\(14\)%2024%20Draft%20BEREC%20Report%20on%20NN%20QoS%20Monitoring%20Report.pdf](http://berec.europa.eu/files/document_register_store/2014/3/BoR%20(14)%2024%20Draft%20BEREC%20Report%20on%20NN%20QoS%20Monitoring%20Report.pdf).