

## Poglavje 6

# Pridobivanje vrednosti kvantitativnih spremenljivk omrežja

V poglavju o teoriji strežbe smo na matematičen način ponazorili relacije vpliva *kvantitativnih spremenljivk omrežja*, kot sta intenzivnost prihajanja zahtev  $\lambda$  in intenzivnost strežbe  $\mu$ , na ostale kvantitativne metrike, ki ponazarjajo zmogljivost računalniškega omrežja. Tipični tovrstni kvantitativni metriki sta bili npr. povprečni čas strežbe posamezne zahteve in povprečni čas zadrževanja posamezne zahteve v čakalni vrsti. Če hočemo zgraditi verodostojen model opazovanega omrežja, potrebujemo čim natančnejše vrednosti njegovih kvantitativnih spremenljivk. Do teh lahko pridemo na naslednja dva načina:

- *z meritvami*: v primeru, da omrežje že obstaja in imamo v njem možnost izvajati meritve karakteristik prometa, vrednosti kvantitativnih spremenljivk pridobimo s pomočjo izvedbe meritev;
- *s približnimi ocenami*: v primeru, da omrežje še ne obstaja, ali v že obstoječem omrežju ne moremo ali ne smemo opravljati meritev karakteristik prometa in s tem posredno pridobiti vrednosti njegovih kvantitativnih spremenljivk, se zatečemo k približnim ocenam teh vrednosti; tovrstne ocene pridobimo na osnovi našega poznavanja prometa v podobnih omrežjih in na osnovi naših izkušenj;

Besedno zvezo *meritev omrežnega prometa* (angl. *network traffic measurement*) običajno uporabljamo v primeru njihovih enkratnih ali občasnih izvajanj. Takšne meritve izvajamo pred eventualnimi odločitvami o *izgradnji* ali *nadgradnji* omrežja, ciklično - občasno pa zaradi pridobivanja informacij o *količini* in *vsebini* omrežnega prometa.

Večina ponudnikov internetnih in mobilnih storitev (angl. *internet service provider* - ISP, angl. *mobile service provider* - MSP) z vidika zagotavljanja

|                     | Meritve omrežnega prometa | Monitoring omrežnega prometa  |
|---------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Izvajanje           | enkratno ali občasno      | neprestano                    |
| Frekvenca vzorčenja | večja                     | manjša                        |
| Način izvajanja     | samo meritve              | meritve, analiza, upravljanje |

Tabela 6.1: Razlike med meritvami in monitoringom omrežnega prometa.

ustreznega nivoja kvalitete storitev, predpisanega s pogodbenim razmerjem med ponudnikom in naročnikom (angl. *service level agreement* - SLA), meritve prometa v omrežju izvaja neprestano. Če ISP ali MSP ob neprestanem izvajanju *meritev* izvaja hkrati še *analizo meritev* v realnem času in na osnovi nje *upravlja* (angl. *management*) z omrežnim prometom, v tem primeru govorimo o *monitoringu omrežnega prometa* (angl. *network traffic monitoring*) [25].

V računalniških omrežjih meritve in monitoring izvajamo s periodičnim *zajemanjem* ali *vzorčenjem podatkov*. *Frekvenca vzorčenja* je odvisna od namena spremljanja dogajanja v omrežju. V primeru enkratnih ali občasnih meritev so frekvence vzorčenja običajno večje, v primeru monitoringa (vseskoznega spremljanja dogajanja v omrežju) pa manjše. Zavedati se moramo, da se *zahteva* za zajem podatkov (zahteva za posameznim vzorcem) s strani sistema vzorčenja pošilja preko omrežja, pa tudi *odgovor* v obliki vzorca prihaja proti sistemu vzorčenja preko omrežja. Vsled temu moramo biti pazljivi, da s preveliko frekvenco vzorčenja pretirano ne obremenimo omrežja. V slednjem primeru govorimo o *invazivnosti vzorčenja* (invazivnosti meritev ali invazivnosti monitoringa), ki nam količino prometa v omrežju umetno poveča, poveča pa se tudi zasedenost resursov omrežnih naprav (npr. procesorja ali dinamičnega pomnilnika v usmerjevalniku) v omrežju. Izkušnje slovenskih operaterjev in vzdrževalcev omrežij kažejo, da je optimalna frekvenca vzorčenja v primeru monitoringa velikostnega razreda nekaj minut. Frekvenca vzorčenja v primeru meritev je odvisna od namena meritev in je običajno večja, v redkejših primerih pa tudi manjša od tiste, ki se uporablja pri monitoringu. V tabeli 6.1 so predstavljene opisane razlike med meritvami in monitoringom omrežnega prometa.

## 6.1 Vzorčenje vrednosti kvantitativnih spremenljivk

Kvantitativne spremenljivke, katerih vrednosti običajno vzorčimo v omrežjih, delimo na naslednje skupine:

- *vzorčenje količine prometa*: običajno jo vzorčimo na aktivnih napravah z neko vnaprej podano časovno periodo; vrednost vzorčene spremenljivke se ponazarja s številom paketov na časovni interval, ali še pogosteje v obliki kB, MB ali GB na časovni interval (npr. na sekundo, minuto ali uro);

- *vzorčenje vrste in vsebine prometa*: v zadnjem desetletju se je med ponudniki komunikacijskih storitev razširilo pridobivanje podatkov o vrstah in vsebinah prometa, ki poteka preko njihovih omrežij (angl. *deep packet inspection* - DPI); tovrstne podatke pridobivajo predvsem z namenom eventualnega pospeševanja določenih plačanih storitev, kot so npr. trgovalni borzni sistemi, multimedijско predvajanje itd.; pospeševanje ponudniki dosežejo s prioritizacijo izbranega prometa, ki temelji na dodeljevanju višjih prioritet paketom iz naslova prioritetnega prometa, posledično pa slednji ukrep vodi do upočasnjevanja prometa neplačanih storitev; pri tem je lahko plačnik prioritiziranega prometa neposredni naročnik storitve, ali pa ponudnik storitve; takšno politiko je podprla tudi EU, ki je v letu 2015 sprejela zakonodajo, ki tovrstni „internet dveh hitrosti“ legitimizira na nivoju EU [26]; s tem se gre v prihodnosti bati za do sedaj veljavno nevtralnost obravnave omrežnega prometa (angl. *net neutrality*<sup>1</sup>); enostaven primer programa za vzorčenje vrste in vsebine prometa je **wireshark**;
- *vzorčenje zasedenosti sistemskih resursov*: v tem primeru imamo v mislih vzorčenje zasedenosti resursov na aktivnih napravah (npr. usmerjevalnikih), kjer običajno merimo zasedenost dinamičnega pomnilnika in procesorja kot osnovnih nadgradljivih ali skalabilnih resursov v aktivnih napravah; meritve zasedenosti pomnilnika nas vodijo do hipotez o (ne)ustreznosti nastavitve velikosti čakalnih vrst in hipotez o obstoju eventualnih pomnilniških razpok (angl. *memory leaks*); posledično se v nadaljevanju odločamo o eventualnem skaliranju pomnilniških resursov, ponastavitvi dolžin čakalnih vrst, resetiranju aktivnih naprav in iskanju napak, ki predstavljajo vzroke za pomnilniške razpoke na aktivnih napravah ali nadgradnji posameznih resursov;
- *vzorčenje vrednosti ambientalnih podatkov*: v tem primeru imamo v mislih meritve podatkov o ambientalnih razmerah v prostorih, v katerih se nahaja aktivna oprema; eden od osnovnih merjenih podatkov je ambientalna temperatura, ki naj tokom obratovanja ne bi presegala neke gornje meje, ki jo določa proizvajalec aktivne opreme; običajno poleg temperature beležimo tudi delovanje ventilatorjev na aktivnih napravah, ki neposredno omogočajo hlajenje posameznih komponent, posredno pa čimbolj enakomerno ambientalno temperaturo; velja groba ocena, da se predvidena življenska doba elektronskih naprav razpolavlja z vsakim trajnim dvigom 10°C nad predvideno ambientalno temperaturo, ki jo za napravo predpiše proizvajalec;
- *vzorčenje neposrednih performans omrežja*: v tem primeru imamo v mislih pošiljanje paketov na ponorno točko s sprotnim merjenjem časov potovanja paketa; pri tem istočasno ugotovimo, po kateri poti so paketi potovali

<sup>1</sup>Omrežna nevtralnost je obveza omrežnih ponudnikov, ki jim nalaga enakopravno obravnavo omrežnega prometa brez cenovne in vsebinske diskriminacije med posameznimi uporabniki, različnimi vsebinami, izvori in ponori prometa, uporabljanimi aplikacijami in storitvami, ali glede na vrste komunikacij (Vir: Wikipedia).

in ali je ponorna naprava sploh dosegljiva; tipični enostavni računalniški programi za tovrstne meritve, ki so običajno integrirani v operacijske sisteme naprav, ki podatke vzorčijo, so sledeči:

- **ping, traceroute**: identifikacija dosegljivosti ponora in poti paketov;
- **ping**: meritve latence paketa na poti (časa potovanja paketa);
- **iperf**: meritve prepustnosti poti;
- **netstat**: meritve napak, ki se porajajo na poti;
- *vzorčenje števila uporabnikov na neki napravi*: v tem primeru vzorčimo podatke na lokalnih aktivnih napravah z vidika števila različnih uporabnikov in njihovega bremena, ki ga generirajo proti omrežnemu sistemu;

Na podoben način lahko vzorčimo tudi vrednosti spremenljivk na perifernih napravah, kot so tiskalniki, RAID diskovna polja, končne delovne točke (npr. osebni računalniki) itd.

## 6.2 Vplivnostni faktorji na izide meritev

Na prvi pogled z meritvami prihajamo do najmerodajnejših ocen o dogajanju v omrežju in do najmerodajnejših ocen vrednosti njegovih kvantitativnih spremenljivk. Slednja predpostavka drži, če se kot načrtovalec in izvajalec meritev zavedamo nevarnosti, ki na nas prežijo na tem področju. Ključne nevarnosti pri izvajanju meritev so sledeče:

- porajanje *sistemske napake*;
- porajanje *šuma*;
- izmera *nereprezentativnih vrednosti* kvantitativnih spremenljivk;

Več o navedenih nevarnostih povemo v razdelkih v nadaljevanju.

### 6.2.1 Sistemska napaka in šum meritev

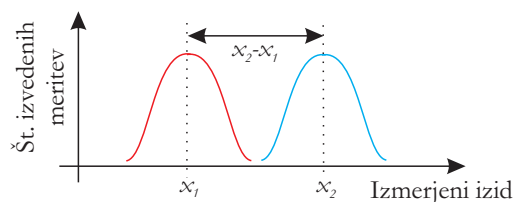
Pri vseh vrstah izvajanja meritev se moramo zavedati nevarnosti prisotnosti *sistemske napake* in *šuma* meritev.

Oba primera nevarnosti najlažje razložimo na zgledu meritev, kjer z ročno merilno uro (štoparico) merimo čase „idealnih“ tekov atleta na 100 metrov. Pod pojmom idealnega teka smatramo tek, pri katerem atlet venomer doseže enak čas. Razlagi sistemske napake in šuma v podanem zgledu sta sledeči:

- *porajanje sistemske napake*: v primeru, da je naša ročna merilna ura prepočasna, bodo vsi izmerjeni izidi tekov sicer enaki, a prekratki; v rezultate meritev se nam je zaradi neustrezne zasnove merilnega postopka (izbire prepočasne ure) tako prikradla *sistemska napaka*; praviloma se takšne napake običajno ne zavedamo, moramo pa v vsaki postavitvi meritve nanjo računati;

- *porajanje šuma*: merilec na ročni merilni uri ob vsakem merjenju idealnega teka ročno sproži začetek in konec merjenja; pri sprožitvi začetka ali konca meritve lahko merilec s sprožitvijo prehitveva ali zamuja, kar vodi do tega, da so časi meritev idealnih tekov v praksi različni (nekateri prekratki, nekateri pa predolgi); v tem primeru govorimo o prisotnosti šuma v rezultatu meritve;

Na sliki 6.1 je grafično ponazorjen primer sistemske napake in šumnosti meritev. Pri tem je na levem delu slike z rdečo barvo ponazorjeno število izmer posameznega izida upoštevajoč sistemsko napako, na desnem delu slike pa z modro barvo število izmerjenih izidov z njihovimi pravimi vrednostmi. Velikost sistemske napake je pogojena z vrednostjo  $|x_2 - x_1|$ , šumnost meritve pa z standardnim odklonom krivulje obarvane z rdečo.



Slika 6.1: Sistemska napaka in šum pri izvajanju meritev.

V kontekstu meritev v računalniških omrežjih sistemska napaka mnogokrat izvira iz *invazivnosti meritev* (npr. zaradi zasedenosti pomnilnika s strani merilnega programa na vzorčni napravi), šumnost meritev pa iz variabilnosti merjenih količin (npr. iz spremenljivosti količine naključno porajane prometa) ali splošneje iz *neponovljivosti realnega bremena* v omrežjih.

### 6.2.2 Naključnost rezultatov meritev

Pri meritvah v računalniških omrežjih se moramo zavedati, da je dogajanje v njih do neke mere naključno pogojeno, kar pomeni, da pri ponavljanju meritev skozi čas običajno ne pridemo do enakih kvantitativnih rezultatov. Slednje velja predvsem za meritve količine prometa v omrežjih. Glede na povedano moramo za doseganje objektivnejše slike o izmerjenih vrednostih kvantitativnih spremenljivk izvesti večje število ponovitev posamezne meritve in nato rezultate ustrezno ovrednotiti (izračunati njihovo povprečje, upoštevati odklone, analizirati največje in najmanjše obremenitve v omrežju itd.).

### 6.2.3 Časovne karakteristike meritev

Pri meritvah v omrežjih se soočamo s spremenljivostjo izmerjenih vrednosti kvantitativnih spremenljivk. Slednja je lahko v celoti stohastično ali naključno

pogojena, lahko pa je omenjena spremenljivost tudi odraz nekih *časovnih trendov*, pogojenih s časom izvajanja meritev. Časovne trende lahko razvrstimo na naslednje skupine:

- *dnevni trendi*: po izkušnjah ponudnikov komunikacijskih storitev dnevna krivulja izmerjenih vrednosti kvantitativnih spremenljivk niha od nekih maksimalnih do nekih minimalnih vrednosti in je skozi čas (npr. zaporedje večih dni) tipična;
- *tedenski trendi*: po izkušnjah ponudnikov tedenska krivulja izmerjenih vrednosti kvantitativnih spremenljivk skozi delovne dni niha približno enakomerno (je tipična), njene amplitude pa se v času prostih dni (npr. vikenda) zmanjšajo;
- *sezonski trendi*: po izkušnjah ponudnikov je količina prometa poleti manjša, kot v ostalih mesecih;

Poleg predhodno naštetih časovno pogojenih trendov ne smemo pozabiti na *vremensko pogojene trende* (v primeru slabega vremena se običajno promet po omrežju poveča, propustnost omrežja pa se zaradi vremenskih vplivov predvsem v bakrenih ali brezžičnih optičnih omrežjih (angl. *free space optics* - FSO) zmanjša) in na *dogodkovno pogojene trende*. Slednje lahko pričakujemo ob porajanju izrednih dogodkov (globalne nesreče, prenosi svetovnih športnih dogodkov itd.).

### 6.3 Izvajanje monitoringa v omrežjih

Običajno ISP ponudniki za monitoring širokopasovnih omrežij in mobilnega prenosa podatkov uporabljajo specifična programska orodja. Primer tovrstnega brezplačnega orodja, ki ga za monitoring in analizo uporablja večina slovenskih ponudnikov internetnih storitev in upraviteljev omrežij, je razvojno okolje Cacti [27]. Slednje je temeljiteje opisano v delu [28]. Izdajanje zahtev po vzorcih in njihova dostava temelji na SNMP protokolu (angl. *simple network management protocol*), ki je opisan v dokumentu RFC 1157 in se nahaja z vidika TCP/IP protokola na aplikacijskem sloju. SNMP temelji na UDP protokolu, ki mora biti nameščen na vsaki opazovani (vzorčeni) aktivni napravi.

Izvajanje monitoringa lahko z vidika upravljanja z omrežjem izvajamo na dva načina. Le ta sta sledeča:

- *pragovni monitoring*: v tem primeru nas zanimajo zgolj vzorčene vrednosti, ki presegajo nek vnaprej določen prag (npr. preseganje neke meje zasedenosti pomnilnika, preseganje neke meje procesne zasedenosti itd.);
- *monitoring trendov*: v tem primeru nas zanimajo trendi vzorčenih vrednosti (npr. padanje kapacitete prostega pomnilnika, rast prenešene količine podatkov po nekem prenosnem mediju itd.);

Pragovni monitoring običajno izvajamo v večjih slabo preglednih omrežjih nad večino naprav, monitoring trendov pa zgolj na določenih kritičnih točkah omrežja.

### 6.3.1 Koncept uporabe razvojnega okolja Cacti

Razvojno okolje Cacti temelji na konceptu konfiguriranja, pri čemer v fazi konfiguracije najprej vnesemo vse opazovane naprave v omrežju (npr. usmerjevalnike, periferne enote itd.), nato pa v sistem vnesemo mejne vrednosti, ki jih na napravaj ne bi radi presegli (npr. zasedenost dinamičnega pomnilnika, količino prometa na časovno enoto, ambientalno temperaturo prostora nahajanja itd.), sistem pa nam potem izrisuje v grafični obliki tok vzorčenih podatkov, v primeru preseženih vrednosti ali neželenih dogodkov pa sistem uporabnika monitoringa alarmira vizuelno in v drugih oblikah (s pošiljanjem e-pošte, SMS sporočil itd.). Primere grafičnih predstavitev monitoriranja si bralec lahko ogleda v delu [28].

### 6.3.2 Strategija hrambe vzorčenih podatkov

Z rednim vzorčenjem v namene monitoriranja se soočamo s kopičenjem časovnih serij podatkov<sup>2</sup>, ki jih za potrebe analiz (npr. napovedovanje trendov, iskanje vzročnih povezav med dogodki) običajno ponudniki in vzdževalci hranijo v podatkovnih bazah (PB). Osnovna značilnost tovrstnih podatkovnih baz je v tem, da so organizirane po konceptu *Round Robin Database* (RRDtool), kar pomeni, da je PB ciklična in ko se zapolni (je predhodno torej časovno ali prostorsko omejena), se novi vzorčeni podatki začnejo zapisovati čez najstarejše predhodno shranjene podatke. *Omejenost* običajno ne glasi na količino podatkov, temveč na njihovo starost. Tako večina omrežnih monitoring sistemov hrani vzorčene podatke stare do enega leta, starejše podatke pa nadomešča z novo pridobljenimi. S tem razrešimo problem kopičenja podatkov, delno pa smo na ta način soočeni z izgubljanjem podatkov za morebitne analize dogajanj na daljša časovna obdobja. Na tem mestu bi bilo smiselno vsaj del starejših vzorčenih podatkov prenašati v *arhivske podatkovne baze*, nenazadnje tudi zaradi tega, ker se s tem ruši koncept hierarhične hrambe podatkov po principu *aktiva - arhiva - varnostna kopija*, vpeljevanju katerega smo danes priča na vseh področjih dela.

## 6.4 Določanje kvantitativnih vrednosti opazovanih spremenljivk brez možnosti meritev

V primeru, da meritev v omrežju ne moremo ali ne smemo izvajati, ali pa omrežje še ne obstaja, se pri oceni vrednosti kvantitativnih sistemskih spremenljivk lahko zatečemo k *metodi določanja sistemskih spremenljivk na osnovi podobnih omrežij*, ali pa k *metodi analize profila množice uporabnikov*, ki jih bo omrežje pokrivalo. V slednjem primeru moramo geografsko področje, ki naj bi ga omrežje pokrivalo, identificirati v kontekstu sledečih parametrov:

- *določitev števila naročniških komunikacijskih priključkov;*

---

<sup>2</sup>Časovna serija podatkov predstavlja urejeno časovno zaporedje podatkov (Vir: Wikipedia).

- *določitev vrst priključkov*: na tem mestu imamo v mislih identifikacijo vrst kot so družinski priključki, priključki javnih ustanov, priključki gospodarskih subjektov itd.;
- *določitev dnevnih, tedenskih in sezonskih trendov za posamezne vrste priključkov*;
- *določitev storitev po posameznih vrstah priključkov* itd.;

Na osnovi vseh pridobljenih ocen zgradimo predvidevano omrežno breme, na osnovi katerega lahko izvajamo simulacije nad takšnim omrežjem. Večinoma so predhodno naštetih podatki s strani ponudnikov storitev nedostopni, ker predstavljajo njihovo poslovno skrivnost. Več o določanju kvantitativnih vrednosti spremenljivk brez možnosti izvajanja meritev si bralec lahko prebere v viru [29].



# Literatura

- [1] N. C. Hock, *Queuing Modelling Fundamentals*. John Wiley & Sons, Chichester, Anglija, 1996.
- [2] M. Anu, "Introduction to modeling and simulation," in *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation* (S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson, eds.), pp. 7–13, 1997.
- [3] L. Kleinrock and R. Gail, *Queuing systems, problems and solutions*. John Wiley & Sons, New York, ZDA, 1996.
- [4] N. Zimic and M. Mraz, *Temelji zmogljivosti računalniških sistemov*. Založba FE in FRI, Ljubljana, Slovenija, 2006.
- [5] R. Jamnik, *Verjetnostni račun in statistika*. Društvo matematikov, fizikov in astronomov socialistične republike Slovenije, Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije, Ljubljana, Slovenija, 1986.
- [6] K. S. Trivedi, *Probability and Statistics with Reliability, Queuing and Computer Science Applications*. John Wiley & Sons Inc., New York, ZDA, 2002.
- [7] H. Stöcker, *Matematični priročnik z osnovami računalništva*. Tehnična založba Slovenije, Ljubljana, Slovenija, 2006.
- [8] J. Virant, *Modeliranje in simuliranje računalniških sistemov*. Didakta, Radovljica, Slovenija, 1991.
- [9] J. F. Shortle, J. M. Thompson, D. Gross, and C. M. Harris, *Fundamentals of queueing theory*. John Wiley & Sons, Hoboken, ZDA, 2018.
- [10] J. L. Peterson, *Petri Net Theory and the Modeling of Systems*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, ZDA, 1981.
- [11] J. Bordon, M. Moškon, N. Zimic, and M. Mraz, "Semi-quantitative Modeling of Gene Regulatory Processes with Unknown Parameter Values Using Fuzzy Logic and Petri Nets," *Fundamenta Informaticae*, vol. 160, no. 1–2, pp. 81–100, 2018.

- [12] J. Virant, *Logične osnove odločanja in pomnjenja v računalniških sistemih*. Založba FE in FRI, Ljubljana, Slovenija, 1996.
- [13] T. Murata, "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications," *Proceedings of The IEEE*, vol. 77, no. 4, pp. 541–580, 1989.
- [14] W. G. Schneeweiss, *Petri Nets for Reliability Modeling*. LiLoLe Verlag, 1999.
- [15] A. S. Tanenbaum and D. J. Wetherall, *Computer Networks*. Prentice Hall Inc., Boston, ZDA, 2011.
- [16] N. Jensen and L. Kristensen, *Coloured Petri Nets*. Springer,, 1998.
- [17] K. Jensen, "A Brief Introduction to Coloured Petri Nets," in *Proceedings of the Third International Workshop on Tools and Algorithms for Construction and Analysis of Systems (TACAS '97)*, 1997.
- [18] K. Jensen, *Coloured Petri Nets Basic concepts*. Springer, 1997.
- [19] D. Božić, *Analiza in zgled uporabe programskega orodja CPNTools za postavljanje modelov dinamičnih sistemov*. Diplomsko delo FRI-UL, 2012.
- [20] M. Dolenc, *Verifikacija komunikacijskih protokolov na osnovi barvnih Petrijevih mrež*. Diplomsko delo FRI-UL, 2015.
- [21] "Matematična ocena latence proizvajalca Rugged." <https://w3.siemens.com/mcms/industrial-communication/en/rugged-communication/Documents/AN8.pdf/>, 2015.
- [22] "Matematična ocena latence proizvajalca O3b Networks." [http://www.o3bnetworks.com/media/40980/white%20paper\\_latency%20matters.pdf/](http://www.o3bnetworks.com/media/40980/white%20paper_latency%20matters.pdf/), 2015.
- [23] "Primer on Latency and Bandwidth." <https://www.oreilly.com/library/view/high-performance-browser/9781449344757/ch01.html>, 2018.
- [24] "Hop Count Definition." <https://www.techopedia.com/definition/26127/hop-count>, 2019.
- [25] "Network traffic monitoring." <https://www.techopedia.com/definition/29977/network-traffic-monitoring>, 2018.
- [26] "Internet dveh hitrosti." <http://webfoundation.org/2015/10/net-neutrality-fails-to-load-web-foundation-response-to-todays-eu-vote/>, 2016.
- [27] "About Cacti." <http://www.cacti.net/>, 2016.
- [28] P. Antončič, *Monitoriranje računalniških omrežij*. Diplomsko delo FRI-UL, 2012.

- 
- [29] N. Bricman, *Zasnova fizičnega omrežja za potrebe novega ponudnika internetnih storitev*. Diplomsko delo FRI-UL, 2018.