

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Ana Kranner

**TESTIRANJE ZMOGLJIVOSTI
OMREŽNIH STIKAL**

DIPLOMSKO DELO NA
UNIVERZITETNEM ŠTUDIJU

Mentor: prof. dr. Nikolaj Zimic

Ljubljana, 2009

Št. naloge: 01527/2008

Datum: 15.11.2008



Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **ANA KRANNER**

Naslov: **TESTIRANJE ZMOGLJIVOSTI OMREŽNIH STIKAL**
ANALYSIS OF THE NETWORK SWITCH PERFORMANCE

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija

Tematika naloge:

Moderna omrežna stikala so sestavljena iz specializiranih integriranih vezij ter procesne enote. Specializirana vezja skrbijo za hitro posredovanje prejetih paketov na ustrezne omrežne priključke. Za pakete, ki na stikalu potrebujejo posebno obravnavo, skrbi centralni procesor. V normalnem delovanju je takšnih paketov malo, vendar se lahko pripetijo dogodki, ko število takšnih paketov naraste, posledično pa lahko zato prihaja do izgube paketov.

V diplomski nalogi opredelite pakete, ki se morajo obdelati na centralnem procesorju ter opredelite njihovo maksimalno pričakovano intenzivnost. S testi preverite propustnosti omenjenih paketov na stikalih podjetja Iskratel. Tako pridobljene meritve ustrezno ovrednotite in opozorite na morebitna ozka grla ter opredelite vpliv ozkega grla na delovanje sistema.

Mentor:

prof. dr. Nikolaj Zimic



Dekan:

prof. dr. Franc Solina

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za računalništvo
in informatiko

Tržaška 25
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon: 01 476 84 11
faks: 01 426 46 47
www.fri.uni-lj.si
e-mail: dekanat@fri.uni-lj.si

Št. naloge: 01527/2008

Datum: 15.11.2008



Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **ANA KRANNER**

Naslov: **TESTIRANJE ZMOGLJIVOSTI OMREŽNIH STIKAL**
ANALYSIS OF THE NETWORK SWITCH PERFORMANCE

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija

Tematika naloge:

Moderna omrežna stikala so sestavljena iz specializiranih integriranih vezij ter procesne enote. Specializirana vezja skrbijo za hitro posredovanje prejetih paketov na ustrezne omrežne priključke. Za pakete, ki na stikalu potrebujejo posebno obravnavo, skrbi centralni procesor. V normalnem delovanju je takšnih paketov malo, vendar se lahko pripetijo dogodki, ko število takšnih paketov naraste, posledično pa lahko zato prihaja do izgube paketov.

V diplomski nalogi opredelite pakete, ki se morajo obdelati na centralnem procesorju ter opredelite njihovo maksimalno pričakovano intenzivnost. S testi preverite propustnosti omenjenih paketov na stikalih podjetja Iskratel. Tako pridobljene meritve ustrezno ovrednotite in opozorite na morebitna ozka grla ter opredelite vpliv ozkega grla na delovanje sistema.

Mentor:

prof. dr. Nikolaj Zimic



Dekan:

prof. dr. Franc Solina

IZJAVA O AVTORSTVU

diplomskega dela

Spodaj podpisani/-a ANA KRANNER,

z vpisno številko 630 30 100,

sem avtor/-ica diplomskega dela z naslovom:

TESTIRANJE ZMOGLJIVOSTI OMREŽNIH STIKAL

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal/-a samostojno pod mentorstvom (naziv, ime in priimek)

PROF. DR. NIKOLAJA ŽINICA

in somentorstvom (naziv, ime in priimek)

- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki »Dela FRI«.

V Ljubljani, dne 15. 2. 2009 Podpis avtorja/-ice: Ana Kranner

Zahvala

Zahvaljujem se svoji družini in prijateljem, ki so mi pomagali in stali ob strani v času celotnega študija.

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Nikolaju Zimicu, ki mi je izdatno svetoval in me usmerjal pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi podjetju Iskratel d.o.o., mentorju Boštjanu Vilfanu in ostalim sodelavcem za posredovanje napotkov, ki so mi pri izdelavi diplomskega dela zelo koristili.

Kazalo vsebine

Povzetek	1
Abstract	3
1 Uvod	5
2 Testiranje zmogljivosti	7
2.1 Tipi in vrste testnih programov za testiranje zmogljivosti sistema.....	7
2.2 Osnovna pravila, ki se jih držimo pri testiranju sistema.....	7
2.2.1 Okolje, kjer bodo testiranja potekala.....	8
2.2.2 Prikaz rezultatov testa.....	8
2.2.2 Tehnike vrednotenja.....	8
2.3 Izzivi pri uporabi testnih programov.....	9
3 Omrežno stikalo	11
3.1 Funkcije omrežnega stikala glede na model ISO/OSI.....	11
3.1.1 Fizični nivo.....	12
3.1.1.1 Topologija.....	13
3.1.1.2 Tipi prometa za pošiljanje podatkov.....	15
3.1.2 Podatkovno povezovalni nivo.....	15
3.1.3 Omrežni nivo.....	16
3.1.4 Ostali nivoji.....	18
3.2 Načini povezovanja omrežnih stikal.....	18
3.2.1 Ethernet.....	19
3.2.1.1 10Base5.....	19
3.2.1.2 10Base2.....	20
3.2.1.3 10BaseT.....	20
3.2.1.4 100BaseT - Fast Ethernet in 1000BaseT - Gigabit Ethernet.....	21
3.2.2 Optika.....	21
3.2.3 Prihodnost.....	23
3.3 Omrežno stikalo v storitvenem omrežju.....	23
3.3.1 Storitveno omrežje.....	23
3.3.2 Postavitev drugonivojskega omrežnega stikala v omrežje.....	25
3.3.3 Postavitev tretjenivojskega omrežnega stikala v omrežje.....	25
3.4 Zmogljivostne zahteve omrežnih stikal.....	26
3.4.1 Potrebna pasovna širina povezovalnega vmesnika.....	27
3.4.2 Prepustnost stikalnega vezja.....	29
3.4.3 Število potrebnih navideznih lokalnih omrežij.....	30
3.4.4 Potrebna velikost tabele MAC.....	31
4 Protokoli uporabljeni pri testiranju zmogljivosti procesne enote	33
4.1 Protokol za upravljanje članstva v multicast skupinah - IGMP.....	33
4.1.1 Prisluškovanje IGMP.....	34
4.1.1.1 IGMP prisluškovanje s hitro odjavo.....	34
4.1.1.2 IGMP prisluškovanje z zadušitvijo.....	35
4.1.2 Zmogljivostne zahteve za procesno enoto pri IGMP protokolu.....	35
4.2 Protokol za dinamično nastavitev odjemalcev - DHCP.....	36
4.2.1 Posredovalni agent DHCP.....	36
4.2.2 Zmogljivostne zahteve za procesno enoto pri posredovalnem agentu DHCP.....	37
4.3 Protokol točka v točko preko Etherneteta - PPPoE.....	37
4.3.1 Protokol točka v točko preko Etherneteta s posredovalnim agentom.....	38
4.3.2 Prednosti in slabosti protokola točka v točko.....	38

4.4 Protokol razpetih dreves - STP	39
4.4.1 Protokol hitrih razpetih dreves - RSTP	39
4.4.2 Zmogljivostne zahteve za procesno enoto pri protokolih STP in RSTP.....	40
5 Testiranje in rezultati obremenjenosti procesne enote omrežnih stikal.....	41
5.1 Okolje za testiranje.....	41
5.1.1 Ixia	41
5.1.2 Ukazi uporabljeni pri testiranju.....	42
5.1.3 Filtriranje paketov	42
5.2 Testiranje in rezultati	43
5.2.1 Testiranje zmogljivosti vhodnih vrat procesne enote (network port)	43
5.2.2 Testiranje zmogljivosti pri protokolu IGMP.....	45
5.2.3 Testiranje zmogljivosti pri posredovalnem agentu DHCP	48
5.2.4 Testiranje zmogljivosti pri PPPoE s posredovalnim agentom.....	50
5.2.5 Testiranje zmogljivosti pri paketih BPDU.....	51
6 Povzetki in ugotovitve.....	55
6.1 Navadni, IGMP in BPDU paketi	55
6.2 DHCP Relay Agent in PPPoE IA	55
6.3 Predlogi za optimizacijo omrežnih stikal.....	56
Dodatek A: Seznam grafov in slik	57
Dodatek B: Seznam tabel	58
Seznam uporabljene literature in virov	59

Seznam uporabljenih kratic

ACS	- Access Control Server
APD	- Avalanche Photo Diode
ARP	- Address Resolution Protocol
ATM	- Asynchronous Transfer Mode
ATP	- AppleTalk Transaction Protocol
ASCII	- American Standard Code for Information Interchange
BRAS	- Broadband Remote Access Server
BNG	- Broadband Network Gateway
BPDU	- Bridge Protocol Data Unit
CLI	- Command Line Interface
CPU	- Central Processing Unit
CRC	- Cyclic Redundancy Check
CSMA/CD	- Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection
CWDM	- Coarse Wavelength Division Multiplexing
DFB	- Distributed Feed Back
DHCP	- Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	- Domain Name Server
DSL	- Digital Subscriber Line
EBCDIC	- Extended Binary Coded Decimal Interchange Code
FTP	- File Transfer Protocol
FTP	- Foiled Twisted Pair
FTTx	- Fiber To The x
GARP	- Generic Attribute Registration Protocol
GBIC	- GigaBit Interface Converter
GVRP	- GARP VLAN Registration Protocol
ICMP	- Internet Control Message Protocol
ID	- IDentification
IGMP	- Internet Group Management Protocol
IP	- Internet Protocol
IPTV	- IP TeleVizija
IPX	- Internetwork Packet eXchange
ISDN	- Integrated Services over Digital Network
ISO	- International Standard Organisation
LACP	- Link Aggregation Control Protocol
LAG	- Link AGgregation
LED	- Light Emitting Diode
MAC	- Media Access Control
MPLS	- Multi Protocol Label Switching
MSTP	- Multiple Spanning Tree Protocol
NAT	- Network Address Translation
NetBIOS	- Network Basic Input/Output System
nPVR	- network Personal Video Recording
OSPF	- Open Shortest Path First
OSI	- Open Systems Interconnection
PADI	- PPPoE Active Discovery Initiation
PADO	- PPPoE Active Discovery Offer
PADR	- PPPoE Active Discovery Request
PADS	- PPPoE Active Discovery Session-confirmation

PADT	- PPPoE Active Discovery Terminate
PAT	- Port Address Translation
PC	- Personal Computer
POTS	- Plain Old Telephone Service
PPP	- Point to Point Protocol
PPPoE	- PPP over Ethernet
PPPoE IA	- PPPoE Intermediate Agent
pps	- packets per second
PPV	- Pay Per View
PSTN	- Public Switched Telephone Network
RARP	- Reverse Address Resolution Protocol
RIP	- Routing Information Protocol
RPC	- Remote Procedure Call
RSTP	- Rapid Spanning Tree Protocol
RTSP	- Real Time Streaming Protocol
SFP	- Small Form-factor Pluggable
SMTP	- Simple Mail Transfer Protocol
SNMP	- Simple Network Management Protocol
SPEC	- Standard Performance Evaluation Corporation
SPX	- Sequenced Packet eXchange
SSH	- Secure SHell
SONET	- Synchronous Optical NETwork standard
STB	- Set Top Box
STP	- Shielded Twisted Pair
STP	- Spanning Tree Protocol
Telnet	- Telecommunication network
TCP	- Transmission Control Protocol
TCA	- Topology Change notification Acknowledgment
TCN	- Topology Change Notification
TDM	- Time-Division Multiplexing
UDP	- User Datagram Protocol
USB	- Universal Serial Bus
UTP	- Unshielded Twisted Pair
VHE	- Video Head End
VID	- VLAN ID
VLAN	- Virtual Local Area Network
VoD	- Video on Demand
VoIP	- Video over IP
PVR	- Personal Video Recording
VPN	- Virtual Private Network
VRRP	- Virtual Router Redundancy Protocol
VSA	- Vendor Specific Attribute

Seznam uporabljenih enot

Bit je osnovna in hkrati najmanjša enota informacije, ki se uporablja v računalništvu in teoriji informacij. Oznaka za bit je b.

Ime	Simbol	Desetiška uporaba	Dvojiška uporaba
kilobit	kb	10^3	2^{10}
Megabit	Mb	10^6	2^{20}
Gigabit	Gb	10^9	2^{30}
Terabit	Tb	10^{12}	2^{40}

Bajt (angl. byte) je manjša enota za količino podatkov oziroma velikost pomnilnika. 1 bajt je 8 bitov. Oznaka za bajt je B.

Ime	Simbol	Desetiška uporaba	Dvojiška uporaba
kilobajt	kB	10^3	2^{10}
Megabajt	MB	10^6	2^{20}
Gigabajt	GB	10^9	2^{30}
Terabajt	TB	10^{12}	2^{40}

Hertz je izpeljana enota za frekvenco. En hertz ustreza enemu dogodku na sekundo, izraženo v osnovnih enotah je to s^{-1} . Oznaka za hertz je Hz.

Ime	Simbol	Desetiška uporaba
kilohertz	kHz	10^3
megahertz	MHz	10^6

Meter je osnovna enota za merjenje dolžine, ki jo svetloba prepotuje v vakuumu v 1/299.792.458 sekunde. Oznaka za meter je m.

Ime	Simbol	Desetiška uporaba
nanometer	nm	10^{-9}
mikrometer / mikron	μm	10^{-6}
milimeter	mm	10^{-3}
kilometer	km	10^3

Sekunda je osnovna enota časa. Oznaka za sekundo je sec, sek ali s.

Ime	Simbol	Desetiška uporaba
nanosekunda	ns	10^{-9}
milisekunda	ms	10^{-3}

Volt je enota za merjenje električnega potenciala in električne napetosti. Oznaka za volt je V.

Primer	Napetost
Baterija za enkratno uporabo	1,5 V
Avtomobilski električni sistem	12 V
Stanovanjska električna napeljava v Evropi	220-230 V

Povzetek

Omrežno stikalo je naprava, ki med seboj povezuje odjemalce in ponudnike omrežnih storitev. Ko odjemalec želi gledati televizijo preko omrežja, mora stikalo posredovati izbrani televizijski program. Ko se odjemalec želi povezati na Internet, mora stikalo posredovati pravičen naslov IP. Vsaka odjemalčeva zahteva potuje po omrežju v obliki paketov. Da stikalo zna te pakete obravnavati, so zapisani v obliki predpisani s protokoli. Vsak paket, v katerem stikalo prepozna ustrezen protokol, se posreduje na procesno enoto stikala. Obdelovanje takšnih paketov lahko procesno enoto obremeni tudi do 100% maksimalne obremenitve, kar privede do izgubljanja prihajajočih paketov.

V diplomskem delu sem predstavila tehnike za testiranje omrežnih stikal, nivoje modela OSI, na katerih stikalo deluje, in načine povezovanja stikal v omrežje. Posebej sem poudarila opis protokolov, ki jih stikalo podpira, in testiranje zmogljivosti omrežnih stikal, čemur sem posvetila največ časa. Poleg izvedenega testiranja sem opozorila tudi na ozka grla pri delovanju stikala in predlagala možne optimizacije omrežnih stikal.

Ključne besede

Omrežno stikalo, protokoli, testiranje, zmogljivost, procesna enota, optimizacija.

Abstract

A network switch is a device that connects users and providers of network services. When a user wants to see a program on the television, the switch must send him the specified program. When he wants to connect to the Internet, the switch must send him the correct IP address. Each demand that the user has, travels through the network in the form of packets. These packets are written according to the rules of standard protocols. Each packet, in which the switch recognizes the proper protocol, is sent forward to the central processing unit of the switch. Processing of these packets can lead to 100% usage of the central processing unit, which in turn leads to the loss of incoming packets.

In this paper I presented techniques for analyzing network switches, levels of OSI model on which the switch works, and ways of connecting switches to the network. I put special emphasis on describing the protocols supported by the switch and on the analysis of the performance of a switch, which has taken most of my time. Apart from the analysis, I have listed several bottlenecks in the system, and suggestions to optimize network switches.

Keywords

Network switch, protocols, analysis, performance, central processing unit, optimization.

1 Uvod

Tradicionalna povezava DSL¹ je večinoma namenjena preprosti aplikaciji za dostop do spletnih strani in ostalim podatkovnim aplikacijam, kot so npr. FTP, elektronska pošta ... Te aplikacije ne zahtevajo posebnega zagotavljanja kvalitete storitev, zato je načrtovanje podatkovnih poti in omrežja dokaj preprosto. S ponudbo naprednejše arhitekture omrežja pa ima vsaka izmed aplikacij svoje specifične zahteve, ki vplivajo na način izgradnje širokopasovnega omrežja. Istočasno zagotavljanje vseh storitev zahteva analizo parametrov kvalitete storitev, ki jo prikazuje [Tabela 1](#).

Aplikacija (vrsta prometa)	Pasovna širina	Koncentracija, pričakovan promet	Simetrija	Časovna občutljivost (zakasnitev)	Stalnost pretoka	Občutljivost na izgubo paketov
Podatkovne storitve, hitri Internet (www, e-pošta ...)	1 Mb/s (odvisna od paketa)	1:200	Visoka asimetričnost	Nizka	Rafalni pretok	Neobčutljiv
Podatkovne storitve, hitri Internet (FTP)	Poljubno (odvisna od paketa)	1:10	Enosmerni pretok (obe smeri možni)	Nizka	Srednje dolg pretok	Neobčutljiv
Telefonija (TDM ² omrežja)	120 Kb/s	0,1 Erlang ³	Simetričnost	Visoka	Kratkotrajni pretok	Srednje občutljiv
Videotelefonija / Videokonferenca	1 Mb/s	0,02 - 0,05 Erlang	Simetričnost	Visoka	Srednje dolg pretok	Srednje občutljiv
IPTV, PPV ⁴	5 Mb/s		Enosmerni pretok	Nizka	Dolgotrajni pretok	Zelo občutljiv
IP Radio ⁵	200 Kb/s		Enosmerni pretok	Nizka	Dolgotrajni pretok	Zelo občutljiv
VoD, nPVR	4 Mb/s	0,2 Erlang	Visoka asimetričnost	Nizka	Dolgotrajni pretok	Zelo občutljiv
IGMP ⁶ sporočila (query)	Zelo majhna		Enosmerni pretok (proti odjemalcem)	Nizka	Občasno sporočilo	Malo občutljiv
IGMP sporočila (join, leave)	Zelo majhna		Enosmerni pretok (proti omrežju)	Visoka	Občasno sporočilo	Zelo občutljiv
RTSP kontrolni promet	Zelo majhna		Pretok v obe smeri	Visoka	Občasno sporočilo	Zelo občutljiv

Tabela 1: Analiza parametrov kvalitete storitev, ki pomaga pri izgradnji omrežja.

Posamezne aplikacije podatke pošiljajo v paketih. Da ne bi prihajalo do zakasnitev in izgub teh paketov je potrebno najti ozka grla sistema, kjer bi do tega lahko prišlo. Ozka grla se odkriva s testiranjem omrežnih naprav, ki pošiljajo aplikacijski promet.

¹ **DSL** - Digital Subscriber Line: tehnologija digitalnega prenosa podatkov preko paric obstoječega telefonskega omrežja.

² **TDM** - Time-Division Multiplexing: digitalno multipleksiranje dveh signalov, ki se izmenjujeta na kanalu, da izgleda kot da se prenašata hkrati.

³ **Erlang**: osnovna enota intenzivnosti prometa v telekomunikacijah; 1 Erlang predstavlja 60 minut prometa; če sprejmemo 300 dvominutnih klicev v eni uri, sprejmemo 600 minut, torej 10 Erlangov prometa v tej uri.

⁴ **IPTV**: video storitev vsebin predvajanih v živo. **PPV** - Pay Per View: plačljiva televizija.

⁵ **IP radio**: digitalni prenos radijskega programa preko multicast protokola.

⁶ **IGMP** - Internet Group Management Protocol: protokol za upravljanje članstva v multicast skupinah.

2 Testiranje zmogljivosti

Sledeča podpoglavja so povzeta iz [1, 7].

Benchmarking - podvreči sistem verigi testov, da dobimo vnaprej pripravljene rezultate, ki jih na konkurenčnem sistemu ni mogoče dobiti. – S. Kelly-Bottle

V računalništvu se z besedama testni program (angl. benchmark) označi zagon računalniškega programa, skupine programov ali drugih operacij, s katerimi se oceni ustrezno delovanje objekta.

Testni programi predpisujejo metode za primerjanje različnih podsistemov v različnih čipih, sistemskih arhitekturah ... So v pomoč pri razumevanju dela podatkovnega upravitelja pod različnimi pogoji. Ustvarjene aplikacije lahko testirajo obravnavanje smrtnih objemov (angl. deadlock), različne metode nalaganja podatkov, posledice posodobitve aplikacije ... Rezultat je navadno seznam možnih optimizacij za izboljšanje sistema.

2.1 Tipi in vrste testnih programov za testiranje zmogljivosti sistema

Obstajata dva tipa testnih programov, aplikacijski in sintetični. Z aplikacijskimi se dobi dobre rezultate na sistemih v resničnem svetu, ker se testne aplikacije poganjajo na pravih računalniških sistemih. Sintetični testni programi so uporabni pri testiranju posameznih komponent, kot sta npr. trdi disk ali omrežna naprava, saj se breme naloži neposredno na komponento.

Obstaja več vrst testnih programov, ki se ločijo glede na objekt testiranja, npr. testni programi:

- za primerjavo različnih arhitektur (procesor Pentium 4 deluje na višji frekvenci kot Athlon XP, vendar to ne pomeni večje procesorske moči);
- za testiranje delovanja računalnikovih komponent (samodejno zaznavanje računalniških parametrov strojne opreme, kot so število registrov, velikost medpomnilnika ...);
- za testiranje hitrosti prenašanja podatkov na vhodnih in izhodnih vratih;
- za testiranje večprocesorskih sistemov.

V računalniški in mikroprocesorski arhitekturi se velikokrat uporablja standardizirane benchmarke organizacije SPEC, čeprav so ti testni programi precej dolgi in zato nerodni za uporabo. Nekateri izmed njih so: GCC, Espresso, Spice 2g6, Doduc, NASA7, LI, Eqntott ...

2.2 Osnovna pravila, ki se jih držimo pri testiranju sistema

Proizvajalci računalnikov svoje sisteme nastavijo tako, da so ocene na testih neverjetno visoke in jih je nemogoče ponoviti pri resničnih pogojih uporabe. Temu se pravi bench-marketing.

Za pravilno testiranje sistema je potrebno:

- določiti pravilno okolje, kjer bodo testiranja potekala;
- pravilno prikazati rezultate testa;
- določiti pravilne tehnike vrednotenja.

2.2.1 Okolje, kjer bodo testiranja potekala

Napravo je potrebno opazovati v takem okolju, da:

- je naprava med testiranjem stabilna;
- je temperatura okolja v mejah delovne temperature naprave;
- testiranje lahko ponovimo.

2.2.2 Prikaz rezultatov testa

Rezultate delovanja se lahko priredi na več načinov, kar je prikazano s sledečim primerom.

Primer: Prehod skozi sistema A in B merjen v prenosih na sekundo.

Sistem	Breme 1	Breme 2
A	20	10
B	10	20

Zmogljivost sistemov A in B se lahko predstavi na 3 načine:

- povprečje bremen → sistema sta enako dobra;

Sistem	Breme 1	Breme 2	Povprečje
A	20	10	15
B	10	20	15

- sistem B vzamemo za bazo → sistem A je boljši od sistema B;

Sistem	Breme 1	Breme 2	Povprečje
A	2	0,5	1,25
B	1	1	1

- sistem A vzamemo za bazo → sistem B je boljši od sistema A.

Sistem	Breme 1	Breme 2	Povprečje
A	1	1	1
B	0,5	2	1,25

Ta tehnika se imenuje igra razmerij (angl. ratio game). Uporablja se pri izbiri bremen, merjenju hitrosti sistemov ... S tem se na lahek način nepravilno dokaže, da je sistem superioren nekemu drugemu sistemu. Za pravilno dokazano superiornost pa se je treba držati pravilne metodologije, ki ne zavaja potrošnikov.

2.2.2 Tehnike vrednotenja

Obstajajo 3 tehnike vrednotenja:

- analitično modeliranje;
- simulacija;
- meritve.

Izbira tehnike je odvisna od kriterijev, ki jih podaja [Tabela 2](#).

Kriterij	Analitično modeliranje	Simulacija	Meritve
Obdobje v katerem je sistem	Kadarkoli	Kadarkoli	Če je že narejen model na katerem lahko delamo meritve za izboljšavo (poprototipno obdobje)
Čas, ki ga potrebujemo za pridobitev rezultatov	Majhen	Srednji	Različno, ker gre ponavadi pri testiranju narobe vse, kar se da (Murphy-jev zakon)
Orodja, ki so na razpolago	Oblikovalske sposobnosti (večina analitikov)	Računalniški programi in jeziki	Inštrumenti
Točnost rezultatov in pravilnost zaključkov	Majhna	Srednja	Odvisno od izbire parametrov in bremen
Ocenjevanje izvlečkov	Lahko	Srednje	Težko
Stroški	Majhni	Srednji	Visoki
Vpliv na prodajo	Majhen	Srednji	Visok

Tabela 2: Kriteriji za izbiro tehnike vrednotenja.

2.3 Izzivi pri uporabi testnih programov

Testiranje sistema ni enostavna naloga in pogosto vsebuje več iteracij, da se pride do uporabnih zaključkov. Tudi interpretacija podatkov zna biti nadpovprečno težka. Prodajalci težijo k temu, da so njihovi produkti uglašeni za industrijske standarde benchmarkov. Ko se interpretira take podatke je potrebno biti zelo previden.

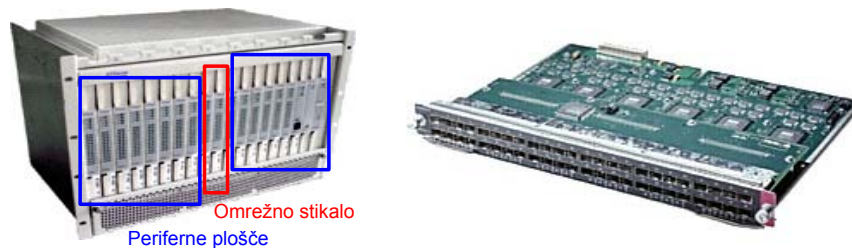
Veliko testnih programov je osredotočenih samo na hitrost računskih nalog, pozabljajo pa na ostale pomembne značilnosti računalniškega sistema, kot so:

- kvaliteta delovanja;
- varnost;
- dosegljivost;
- poraba elektrike;
- poraba spomina.

3 Omrežno stikalo

Sledeča podpoglavja so povzeta iz [2 - 6, 8 - 11].

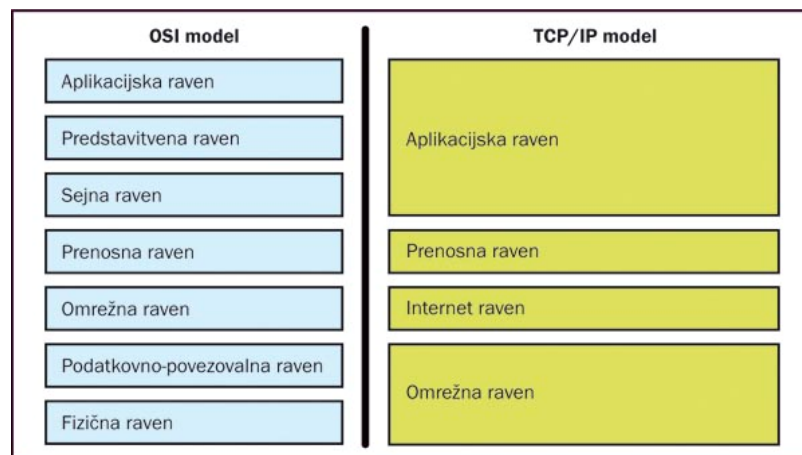
Omrežno stikalo je naprava, ki povezuje omrežne segmente. Obdeluje in posreduje podatke na drugem in tretjem nivoju modela OSI. Na hrbtni strani ima povezave tipa Ethernet za povezovanje preko UTP ali optičnih kablov. Naloga omrežnih stikal je preko takih povezav medsebojno in v zunanje omrežje povezati periferne plošče kot so npr. naročniške plošče DSL, naročniške plošče POTS, naročniške plošče optičnega dosega FTTx, plošča prehoda VoIP za priključitev naročnikov VoIP ... Omrežno stikalo prikazuje [Slika 1](#).



Slika 1: Omrežno stikalo.

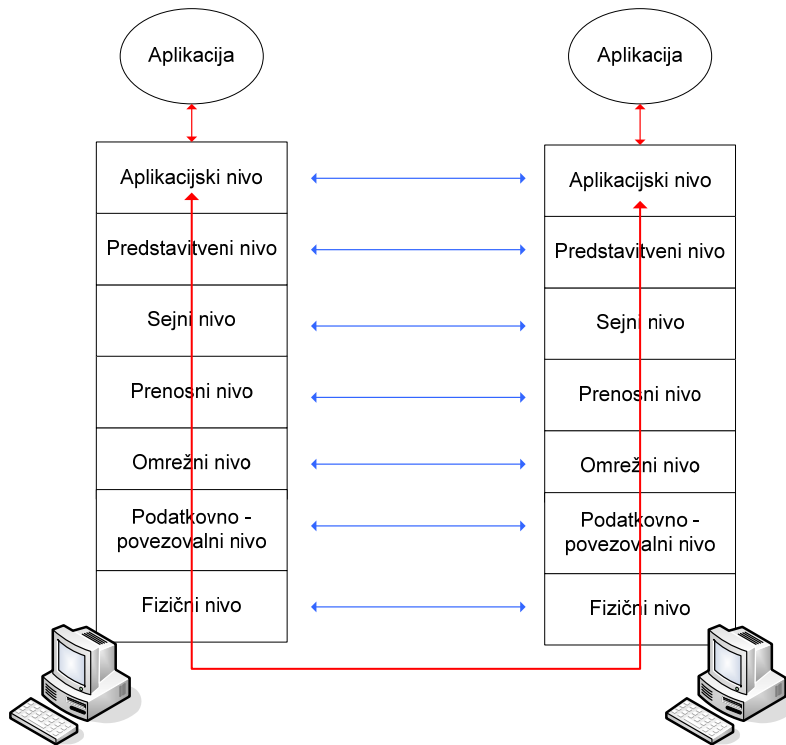
3.1 Funkcije omrežnega stikala glede na model ISO/OSI

Najbolj poznana reprezentativna modela izmenjave podatkov v omrežju sta ISO/OSI in TCP/IP. Arhitekturo ISO/OSI sestavlja sedem nivojev (TCP/IP ima le štiri), ki skrbijo za učinkovito in nemoteno komunikacijo. Primerjavo nivojev teh dveh modelov prikazuje [Slika 2](#). Konkretno so gornji nivoji modela odgovorni za prenos podatkov k uporabniku, spodnji pa za povezovanje med omrežnimi elementi.



Slika 2: Primerjava nivojev omrežnih modelov ISO/OSI in TCP/IP. (vir: [5])

[Slika 3](#) prikazuje komunikacijo med dvema računalnikoma. Vsaka komunikacija se začne v aplikacijskem nivoju naprave, ki pošlje podatek. Ko podatek potuje navzdol po protokolarnem skladu, ga vsak nivo uokviruje s krmilnimi podatki oz. glavo (angl. header), kar imenujemo enkapsulacija. V končni fazi je podatek tako ovit v sedem okvirov, kar prikazuje [Slika 4](#). Na prejemnikovi strani se postopek ponovi v nasprotnem vrstnem redu. Na vsakem nivoju se v procesu deenkapsulacije odstrani eden izmed okvirov. Prejemnikova aplikacija tako na sedmem nivoju prejme izvirne podatke, ki mu jih je poslala prva naprava.



Slika 3: Potek komunikacije med dvema računalnikoma.



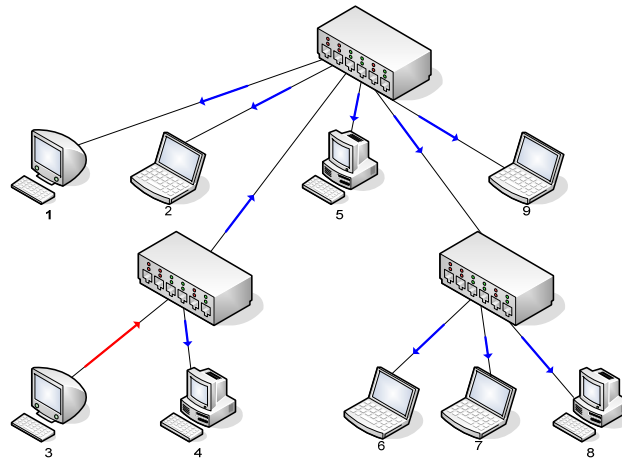
Slika 4: Vsak nivo podatkovnemu okviru pripne še svoje zaglavje. (vir: [5])

3.1.1 Fizični nivo

Fizični nivo skrbi za prenos bitov po elementarnih omrežnih gradnikih kot so omrežna oprema, kabli Biti se po omrežju prenašajo v obliki signalov: električnih, optičnih, mikrovalovnih, radijskih ... Pomembno vlogo na tem nivoju ima topologija omrežja, ki določa ureditev in obliko omrežja, ter način fizičnega povezovanja omrežnih členov.

Na fizičnem nivoju delujejo t.i. ponavljalniki (angl. repeater), ki pa ne znajo usmerjati prometa. Tako se na vodilu pojavlja promet, ki ni zanimiv za uporabnika in ga obremenjuje. Primer delovanja ponavljalnika prikazuje Slika 5.

Če število uporabnikov naraste preko neke meje, lahko močno oteži uporabnikov dostop do omrežja. Ob povečevanju števila uporabnikov na enem vodilu se večja tudi delež trkov podatkov, do katerih pride če dve napravi hkrati pošiljata podatke.

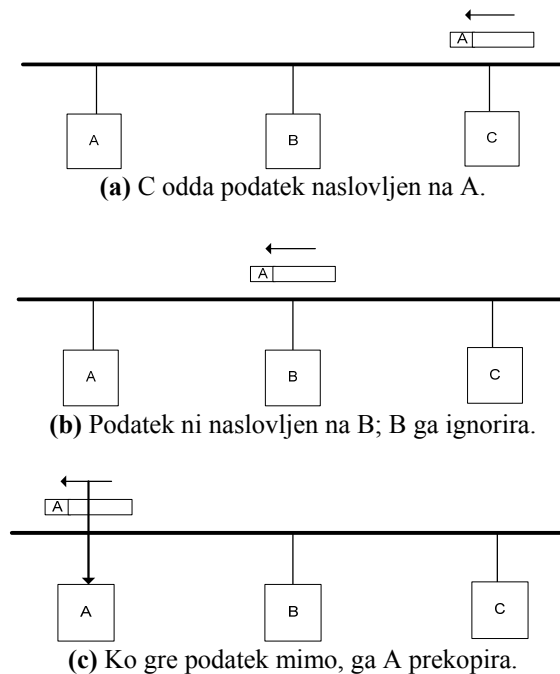


Slika 5: Delovanje ponavljalnika - naprava 3 pošlje podatek napravi 5.

3.1.1.1 Topologija

Naprave se v omrežje povezuje na tri načine, ki jih med seboj lahko kombiniramo: vodilo, obroč in zvezda.

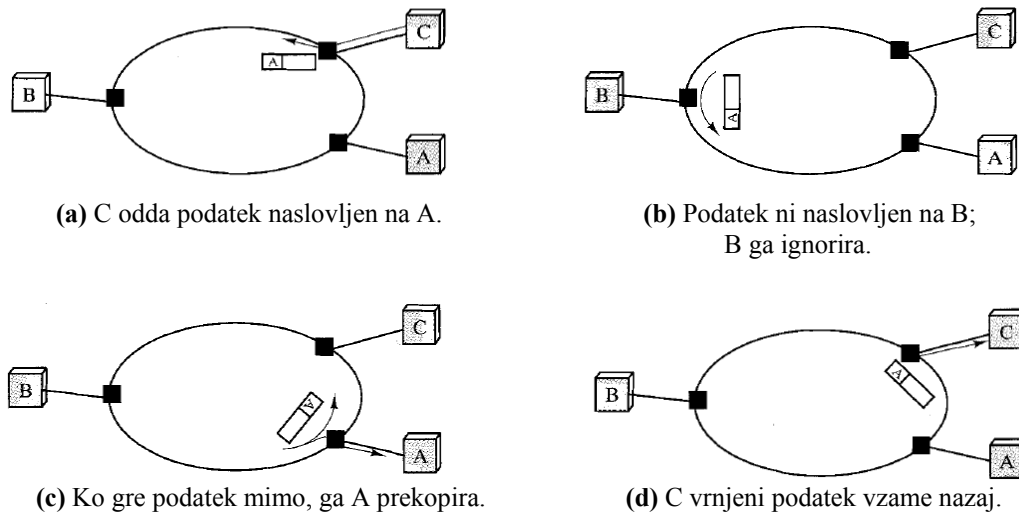
Prvotna omrežja so bila med seboj povezana z uporabo topologije vodila. Omrežje sestavlja neka osrednja povezava, ki se jo lahko ponazori z verigo na katero so priključene posamezne naprave. Podatki od posamezne naprave potujejo po verigi do ciljne naprave, kar prikazuje Slika 6. Na obeh koncih verige mora biti nameščen končni člen (t.i. terminator), ki skrbi za to, da se signali v omrežju odbijejo nazaj proti drugemu koncu omrežja.



Slika 6: Pošiljanje podatka po vodilu.

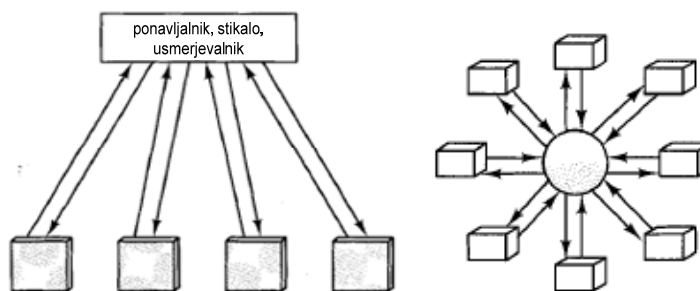
S tem, ko so vsi računalniki na istem mediju, si delijo tudi območje trkov (t.i. kolizijsko domeno) in pasovno širino. Če je npr. na mediju s hitrostjo prenosa podatkov 10 Mb/s priključenih 10 računalnikov, lahko vsak od njih sočasno uporablja le 1 Mb/s.

Drug način povezovanja naprav v omrežje je z uporabo topologije obroča. Pri taki povezavi sta dve sosednji napravi med seboj povezani neposredno, s čimer se spet dobi nekakšno vodilo. Ob tem pa je zadnja naprava v omrežju povezana s prvo, tako da se tvori obroč. V tem obroču lahko naprave pošiljajo oz. sprejemajo podatke ob pomoči navideznega žetona. Naprava, ki prva pošlje podatke, jih pošlje skupaj z žetonom sosednji napravi. Ta sprejme podatke, namenjene njej, doda morebitne svoje podatke, namenjene kateri izmed drugih naprav v omrežju, in vse skupaj z žetonom vred pošlje naprej. Žeton tako s podatki potuje v krogu po omrežju, kot to prikazuje [Slika 7](#). Podatke lahko pošilja samo naprava, ki ima žeton, medtem ko morajo vse druge naprave počakati, da žeton pride do njih. Topologijo obroča uporablja omrežni standard Token Ring, eden izmed poglavitnih konkurentov standardu Ethernet, ki pa je dandanes zelo redko v rabi.



Slika 7: Pošiljanje podatka po obroču.

Danes najobičajnejši način priklapljanja naprav v krajevno omrežje je s topologijo zvezde. Posamezne naprave so neodvisno povezane na omrežno napravo, kar prikazuje [Slika 8](#).



Slika 8: Pošiljanje podatka v zvezdi. (vir: [2])

Topologija zvezde ima v primerjavi s prej omenjenima topologijama pomembno prednost: če se prekine povezava med ponavljalnikom in eno izmed naprav, omrežje normalno deluje naprej, le naprave s prekinjeno povezavo ni več v omrežju. Če pa se povezava prekine pri omrežju z verigo ali obročem, pa je omrežje nedostopno za vse naprave priključene vanj.

Današnja omrežja imajo omrežne naprave med seboj povezane na enega izmed prej omenjenih načinov, navadno gre za zvezdasta omrežja, ki so med seboj povezana s topologijo vodila.

3.1.1.2 Tipi prometa za pošiljanje podatkov

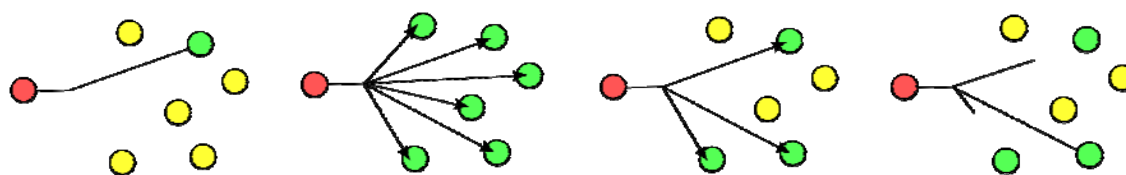
V omrežjih promet prenosa podatkov ni vedno enak. Promet je definiran glede na pošiljatelja in glede na naslovnika oz. sprejemnika. Podatki za prenos vedno izhajajo od enega samega pošiljatelja. Glede na tip prejemnika pa se ločuje 4 tipe prometa, ki jih prikazuje [Slika 9](#).

Promet tipa unicast označuje promet, ki izhaja od enega pošiljatelja in je namenjen točno enemu prejemniku.

Promet tipa broadcast izhaja od enega pošiljatelja in je namenjen vsem prejemnikom. Prejemniki so omejeni s krajevnim fizičnim omrežjem. To pomeni, da se promet širi le po krajevnem omrežju, ne pa tudi preko tretjenivojske naprave (npr. usmerjevalnika) v druga omrežja.

Pri prometu tipa multicast gre za promet, kjer pošiljatelj naslavlja skupino prejemnikov. Uporablja se pri multimedijskih podatkih. Namesto da bi strežnik pošiljal 100 enakih kopij istega televizijskega programa stotim uporabnikom, pošilja le eno kopijo, naslovljeno na 100 prejemnikov, omrežna naprava pa poskrbi za ustrezen prenos in podvajanje na ustreznih križiščih.

Pri prometu tipa anycast se promet, glede na posredovalno tabelo, posreduje najbližjemu oz. najboljšemu prejemniku.



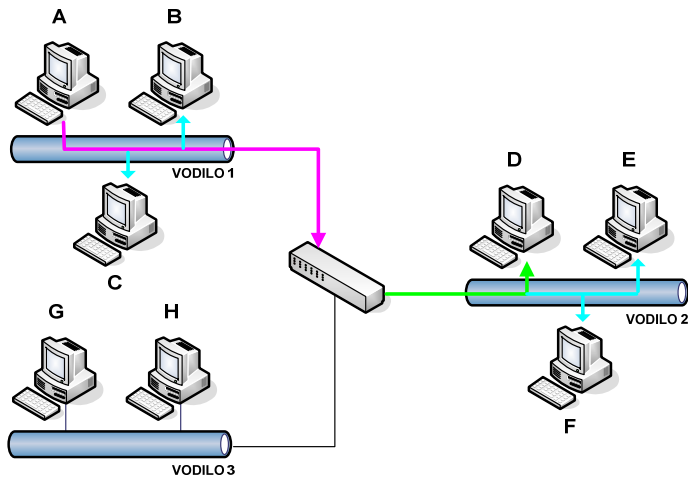
(a) Promet tipa unicast. (b) Promet tipa broadcast. (c) Promet tipa multicast. (d) Promet tipa anycast.

Slika 9: Tipi prometa.

3.1.2 Podatkovno povezovalni nivo

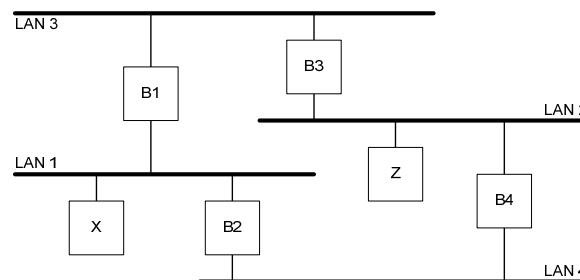
Podatkovno povezovalni nivo določa način prenosa podatkov v omrežju, izvaja fizično naslavljanje ter skrbi za odkrivanje in odpravljanje napak med samim prenosom. Podatki se pošiljajo v obliki t.i. okvirov (angl. frames), ki urejajo tok bitov. Okvir vsebuje prejemnikov in pošiljateljev unikatni strojni naslov MAC, ki je 48-bitno šestnajstiško število, vpisano v strojno opremo omrežne naprave, npr. 06:c4:59:2b:83:ad. Z uporabo naslovov MAC na tem nivoju omrežja poteka tudi usmerjanje podatkov.

Na podatkovno povezovalnem nivoju delujejo stikala (angl. switch). Opravljajo delo ponavljalnikov, imajo pa pomembno prednost: stikalo poskrbi, da je podatek, ki ga neka naprava pošilja, poslan točno tistemu segmentu v omrežju, na katerem je ciljna naprava. Povezave do drugih segmentov so proste in se po njih lahko prenašajo drugi podatki, kar prikazuje [Slika 10](#). Vsako stikalo hrani naslove uporabnikov, ki so nanj priključeni, in informacijo na katerih vratih se nahajajo. Vsaka posamezna naprava lahko s takim načinom priklopa izkoristi celotno pasovno širino, ki ji je na voljo, medtem ko si jo pri priklopu s ponavljalnikom deli z ostalimi napravami.

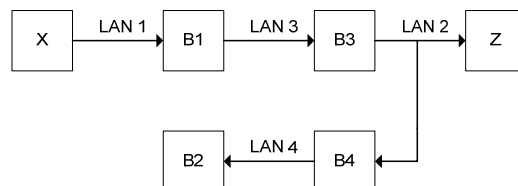


Slika 10: Stikalo posreduje podatke iz vodila 1 na vodilo 2.

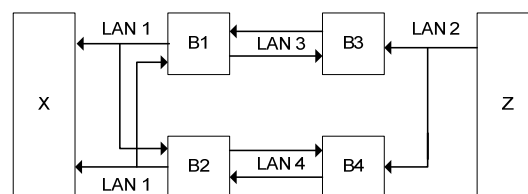
Stikala se lahko povezujejo s protokolom STP, ki izbere najprimernejšo pot ob omejitvi, da je ta pot drevo. Drevo prikazuje [Slika 11](#). Stikala morajo imeti topologije s točno eno aktivno potjo med dvema točkama.



(a) Začetne povezave.



(b) Najdeno drevo od X do Z.



(c) Vse poti od Z do X.

Slika 11: Primer iskanja drevesa.

3.1.3 Omrežni nivo

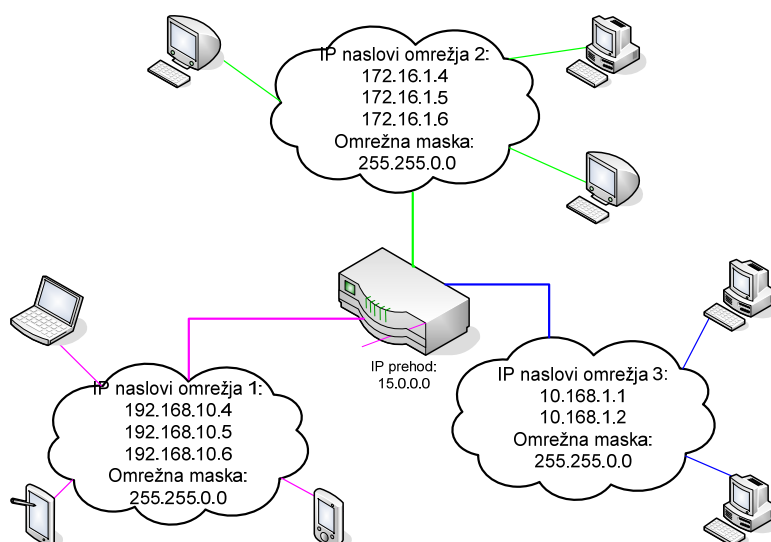
Omrežni nivo izvaja usmerjevalne algoritme in skrbi za logično naslavljanje podatkov. Na tem nivoju je osnovna enota protokola že paket ali datagram. Pomemben omrežni element, ki

operira na tem nivoju, je usmerjevalnik. Tipični protokoli tega nivoja so IP, ARP, RARP, ICMP, IGMP ...

Usmerjevalniki (angl. router) so naprave, ki med seboj povezujejo omrežja. Medtem ko stikalo in ponavljalnik navadno v omrežju skrbita za povezovanje naprav med seboj, usmerjevalnik skrbi za uspešno povezovanje več omrežij med seboj. Usmerjevalnik skrbi za prenašanje podatkov med dvema ali več omrežji, obenem pa onemogoča dostop do računalnikov v drugih omrežjih.

Protokol IP izvaja logično naslavljanje, usmerjanje, razbijanje (t.i. fragmentacijo) in vnovično sestavljanje paketov. Najpomembnejša podatka v zaglavju IP (angl. IP header) sta prejemnikov in pošiljateljev logični naslov. IP namreč določa kam paket potuje in od kod prihaja.

Vsaka v omrežje priklopljena naprava ima unikaten omrežni naslov. Ta naslov se deli na omrežni del in del naprave. Kje je meja, določa omrežna maska (angl. netmask). Naslov IP je sestavljen iz 32 bitov, te pa se decimalno zapiše v skupek štirih števil od 0 do 255. Enako je z omrežno masko. Če je omrežna maska 255.255.0.0, to ob naslovu IP 193.243.12.55 pomeni, da prvi del naslova 193.243 označuje omrežje, zadnji del 12.55 pa napravo v tem omrežju. Naprave v istem omrežju lahko med seboj komunicirajo neposredno, za komuniciranje z napravami v drugih omrežjih pa potrebujejo naslov prehoda IP (angl. gateway), torej naslov usmerjevalnika. Naprave priključene na zasebna omrežja imajo lahko zasebne naslove IP (10.x.x.x, od 172.16.x.x. do 172.32.x.x in 192.168.x.x), ki jih pri povezavi preko usmerjevalnika prevajalnik z NAT ali PAT⁷ prevede v javni naslov IP. Primer ločenih omrežij prikazuje [Slika 12](#).



Slika 12: Primer ločenih zasebnih omrežij, ki so povezana preko usmerjevalnika.

Protokol ARP skrbi za preslikavo (logičnih) naslovov IP v (fizične) naslove MAC. Nasprotno nalogo opravlja protokol RARP.

Protokol ICMP pa se uporablja za pošiljanje nadzornih sporočil in sporočil o stanju omrežja.

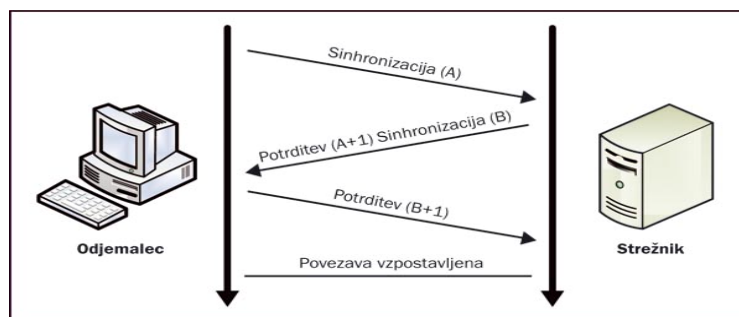
⁷ **NAT** - Network Address Translation: naslovi IP vseh računalnikov v omrežju se prevedejo v eno samo številko IP, ki jo pri povezovanju v Internet načeloma dodeli ponudnik dostopa. **PAT** - Port Address Translation: prevajanje vhodnih povezav na več različnih naslovov IP, tako da imamo npr. v omrežju postavljenih več spletnih strežnikov, vsak pa ima, gledano iz zunanega omrežja, lastno številko IP.

3.1.4 Ostali nivoji

Transportni nivo izvaja prenos podatkov med dvema končnima členoma ter zagotavlja podatkovno celovitost. Osnovna enota protokola je segment, najbolj znani protokoli pa so TCP, UDP, SPX, IPX, ATP ...

Protokol UDP je nepovezovalni protokol transportnega nivoja. To pomeni, da odjemalec in strežnik ne vzpostavita zanesljive povezave. Strežnik ne preverja, ali je odjemalec poslane segmente dejansko tudi prejel. Zaradi možnih izgub podatkov med samim transportom se UDP najpogosteje uporablja za prenos pretočnih (angl. streaming) vsebin.

V nasprotju z UDP pa protokol za krmiljenje prenosa TCP zagotavlja zanesljivo povezovanje in izmenjavo podatkov. Skrbi, da so vsi segmenti v pravilnem vrstnem redu in potrjeni, ter da sta oba člena komunikacijskega kanala pred dejansko izmenjavo podatkov časovno usklajena. Proces časovne uskladitve oz. ustvarjanja povezave se imenuje tristransko rokovanje (angl. three way handshake), ki ga prikazuje [Slika 13](#). Celoten proces temelji na izmenjavi kontrolnih bitov TCP.



Slika 13: Proces časovne uskladitve ali tristransko rokovanje. (vir: [5])

Sejni nivo omogoča medprocesno komunikacijo na daljavo (protokoli NetBIOS, RPC ...), predstaviteni nivo skrbi za združljivost med različnimi okolji (protokoli ASCII, EBCDIC, Unicode ...), aplikacijski nivo pa omogoča izvajanje različnih uporabniških aplikacij (protokoli SMTP, SNMP, FTP ...).

3.2 Načini povezovanja omrežnih stikal

Obstaja več standardov, s katerimi se omrežne naprave fizično povezujejo z omrežjem: Ethernet, Frame Relay, Token Ring, ATM, optika ... Med temi sta najbolj razširjena Ethernet in optika. Omrežne naprave se med seboj in z omrežjem povezuje z različnimi kabli: koaksialnimi, UTP, optičnimi ... Prikazuje jih [Slika 14](#). Lahko se jih povezuje tudi brezžično.

Pri povezavah do 100 Mb/s se še uporablja topologija zvezde, kar pa je nad to mejo (1.000 Mb/s, 10.000 Mb/s ...) pa se povezuje s protokolom točka v točko (angl. point to point protocol).



Slika 14: Koaksialni, UTP in optični kabel. (vir: Google slike)

3.2.1 Ethernet

Skupek standardov IEEE 802.3, ki se imenuje Ethernet, določa, kako se podatki fizično prenašajo po žici. Idejna zasnova Etherneta sega v leto 1975, standard pa je bil sprejet leta 1980. K velikemu razmahu Etherneta so po eni strani pripomogli proizvajalci, ki so se precej dobro držali standarda, po drugi strani pa preprostost postavitve in ugodna cena glede na druge oblike računalniških omrežij.

Ethernet je ne glede na podzvrst (Fast Ethernet - 100 Mb/s, Gigabit Ethernet - 1.000 Mb/s) tehnologija, ki temelji na skupnem deljenem vodilu oz. mediju, ki ga obvlada s tehniko CSMA/CD⁸. To pomeni, da si več naprav priključenih na skupno vodilo deli nazivno pasovno širino.

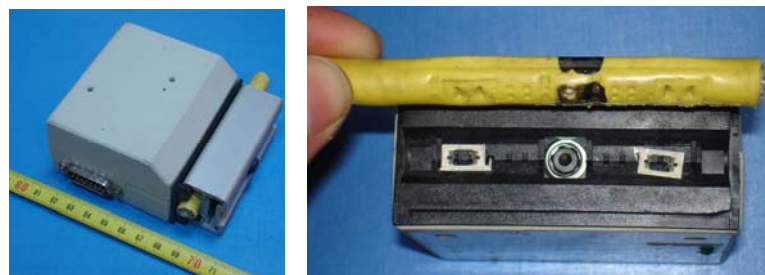
V svetu Etherneta je pravilo, da lahko sočasno oddaja podatke (govori) le ena sama naprava, vse druge pa tačas te podatke sprejemajo (poslušajo).

3.2.1.1 10Base5

Prva izvedba standarda Ethernet je bila Thick Ethernet ali 10Base5, pri kateri so se podatki prenašali s hitrostjo 10 Mb/s po debelem koaksialnem kablu. Za priklop na koaksialen kabel se potrebuje oddajnik-sprejemnik (angl. transceiver) in ustrezen N-člen (prikazuje ga [Slika 15](#)) ali pa vampirsko napravo (angl. vampire tap, prikazuje jo [Slika 16](#)), ki dovoljuje priključevanje novih naprav brez prekinitve drugih. Po koaksialnih kabljih lahko podatke vedno pošilja le ena postaja, ostale pa ta čas poslušajo (angl. half duplex), kar omrežju precej zmanjša kapaciteto. Oddaljenost segmenta od oddajnika-sprejemnika je lahko največ 500 metrov.



Slika 15: N-člen. (vir: Google slike)



Slika 16: Vampirsko naprava. (vir: Google slike)

⁸ **CSMA/CD** - Carrier Sense Multiple Access, Collision Detection: množica omrežnih protokolov uporabljenih za kontrolo pretoka; vse naprave na mediju prisluškujejo mediju in če ta ni zaseden in ima določena naprava pripravljen podatek za pošiljanje, se podatek pošlje; problem nastane, ko v istem trenutku to storita dve napravi in pride do trka podatkov; vse naprave, ki so oddajale, takoj prenehajo oddajati podatke ter naslednji poizkus oddaje podatkov prestavijo za naključen čas; območje, na katerem sodelujoče naprave ob sočasnem oddajanju ustvarijo trk, se imenuje domena trkov (angl. collision domain).

3.2.1.2 10Base2

Thick Ethernet je nato nasledil nov standard, thin Ethernet ali 10Base2, ki se je prvi začel množično razširjati. Podatki po standardu thin Ethernet še vedno potujejo po 50 ohmskem koaksialnem kablu, le da je ta relativno tanek (pol centimetra) in še vedno s hitrostjo 10 Mb/s. Cena takega kabla je bila dovolj nizka za množice. Za priklop na kabel se potrebuje oddajnik-sprejemnik in ustrezen T-člen ali pa BCN-priključek. Prikazuje ju [Slika 17](#). Oddaljenost segmenta od oddajnika-sprejemnika je lahko največ 185 metrov.



Slika 17: T-člen in BCN-priključek. (vir: Google slike)

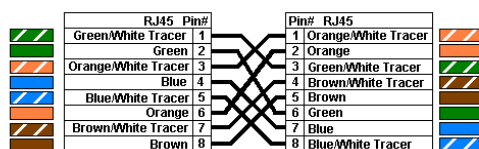
3.2.1.3 10BaseT

Nato je prišel standard 10BaseT in zamenjava koaksialnega kabla s kablom UTP. Kabel UTP vsebuje znotraj sebe štiri prepletene parice, ki omogočajo hkratno prejetje in pošiljanje podatkov (angl. full duplex). Uporablja se lahko tudi kable FTP oz. STP, ki imajo okoli paric tudi zaščitno folijo za zmanjševanje vplivov elektromagnetnih sevanj iz okolice. Koaksialnih in UTP kablov se ravno zaradi elektromagnetnih sevanj ne sme polagati vzporedno z 230 V napeljavo, ali pa v neposredni bližini halogenskih svetil. Hitrost prenašanja podatkov je še vedno 10 Mb/s, razdalja segmenta od oddajnika-sprejemnika pa je lahko največ 100 metrov.

Kabel UTP, ki vsebuje žičke na obeh straneh zvezane v istem vrstnem redu, se imenuje ravni kabel (angl. straight through). Prikazuje ga [Slika 18.a](#). Namenjen je povezavi aktivnih naprav s pasivnimi. Kabel UTP, ki ima nekaj žičk medsebojno obrnjenih, pa se imenuje prekrižani kabel (angl. crossover) in je namenjen povezovanju dveh aktivnih oz. dveh pasivnih naprav – povezava mimo razdelilnika. Prikazuje ga [Slika 18.b](#). Novejše omrežne naprave same zaznajo priključen tip kabla in znajo delati z obema.



(a) Ravni Ethernet kabel.



(b) Prekrižani Ethernet kabel.

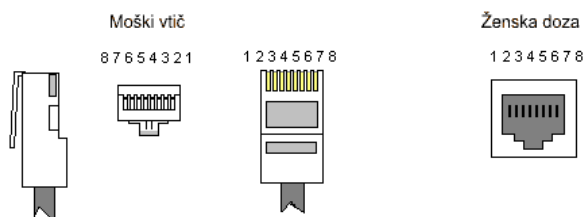
Slika 18: Ožičenje UTP. (vir: Google slike)

Vmesnik za priklop na kabel UTP ima ploščat priključek, ki je podoben, a malce širši od klasičnega euro telefonskega – RJ-11, in identičen kot pri ISDN – RJ-45. [Slika 19](#) prikazuje primerjavo med RJ-11 in RJ-45.



Slika 19: RJ-45 v primerjavi z RJ-11. (vir: Google slike)

Vmesnik RJ-45 je sestavljen iz dveh komponent, ki sta v paru: moški vtič in ženska doza. Na obeh je osem prevodnikov. Ko je vtič združen z dozo se prevodniki dotaknejo in ustvarijo električno povezavo. Komponente RJ-45 prikazuje [Slika 20](#).



Slika 20: Komponente RJ-45.

3.2.1.4 100BaseT - Fast Ethernet in 1000BaseT - Gigabit Ethernet

Kasneje sta prišla še 100BaseT in 1000BaseT. Tukaj se po običajnih kablji UTP lahko prenaša podatke s hitrostjo 100 oz. 1.000 Mb/s.

Topologija in vse ostale lastnosti so zelo podobne 10BaseT, le da je zanesljivost omrežja precej bolj odvisna od kvalitete kablov. 100BaseT in 1000BaseT sta tudi bolj občutljiva na elektromagnetne motnje.

3.2.2 Optika

Druge tehnologije, kot so še pred nekaj leti priljubljeni Frame Relay, Token Ring in ATM, so že bistveno izgubile svoj tržni delež, edina prava nadgradnja Ethernetu pa je optika – 100BaseX, 1000BaseX ...

Optični kabli so steklena, izredno prozorna, tanka vlakna nepretrgane dolžine. Steklena vlakna prikazuje [Slika 21](#). So neobčutljivi na elektromagnetne motnje in imajo veliko manjšo izgubo signala kot bakreni vodniki, zato so primerni tudi za večje razdalje. Signalov tu ne prenašajo elektroni, temveč fotoni (svetloba). Svetlobni signali imajo višjo nosilno frekvenco in zato lahko nosijo večjo količino informacij kot električni signali. Kot las tanko optično vlakno lahko prenaša enako količino podatkov kot več sto telefonskih kablov.



Slika 21: Steklena vlakna. (vir: Google slike)

Optični kabli so sestavljeni iz enorodovnih (angl. single-mode fiber - SMF) ali pa večrodovnih optičnih vlaken (angl. multi-mode fiber - MMF).

Enorodovna optična vlakna imajo premer med 8 in 10 mikronov in prenašajo svetlobo z valovno dolžino 1310 ali 1550 nm. Uporabljajo se pri znanstvenih raziskavah z visoko natančnostjo, ker prepuščajo le eno svetlobo in jo je zato lažje izostriti. Z uporabo optičnih ojačevalnikov in naprav za kompenzacijo sipanja svetlobe lahko dolžina linij z enorodovnimi vlakni doseže nekaj tisoč kilometrov pri hitrosti 10 Gb/s.

Večrodovna optična vlakna imajo večji premer (50 ali 62,5 mikrona) in prenašajo svetlobo z valovno dolžino 850 nm. Komunikacijska oprema je tehnično enostavnejša in s tem cenejša od enorodovne tehnologije. Uporabljajo se za povezave na krajše razdalje, npr. v podjetjih ali fakultetah, z razdaljami do 2 km pri hitrosti 100 Mb/s, do 600 m pri hitrosti 1 Gb/s in do 300 m pri hitrosti 10 Gb/s.

Novejši vmesnik za priklop na UTP in optične kable se imenuje SFP. Gigabitni vmesniški pretvornik SFP je naslednik večjega modula GBIC. Razlikuje se predvsem v velikosti, s čimer je na isti čelni plošči z moduli SFP možno doseči večjo gostoto. Razliko v velikosti prikazuje [Slika 22](#).



Slika 22: SFP v primerjavi z modulom GBIC. (vir: Google slike)

Pri izbiri modulov SFP se poleg klasičnih, ki delujejo na valovni dolžini 850 nm (za dolžine do 550 m), 1310 nm (za dolžine do 10 km) in 1550nm (za dolžine do 40 km), lahko izbira tudi med moduli CWDM SFP, ki omogočajo hkratni prenos več optičnih signalov po enem optičnem vlaknu z uporabo različnih valovnih dolžin svetlobe in sicer:

- optični CWDM SFP, ki uporablja Pin (polprevodniška fotodioda) sprejemnik za dolžine do 80 km,
- optični CWDM SFP, ki uporablja APD sprejemnik za dolžine do 120 km.

Poleg vseh teh pa je možna tudi uporaba dvosmernih (angl. bidirectional) vmesnikov SFP, ki omogočajo dvosmerni prenos (oddajo in sprejem) preko enega vlakna.

Oddajno-sprejemne enote SFP uporabljajo priključne vmesnike FC, SC, ST, LC in MTRJ, ter laserje DFB, ki omogočajo oddajo v ozkem spektru nazivne valovne dolžine. Primer priključnega vmesnika in laserjev DFB prikazujeta [Slika 23](#) in [Slika 24](#).



Slika 23: LC vmesnik. (vir: Google slike)



Slika 24: DFB laserji. (vir: Google slike)

3.2.3 Prihodnost

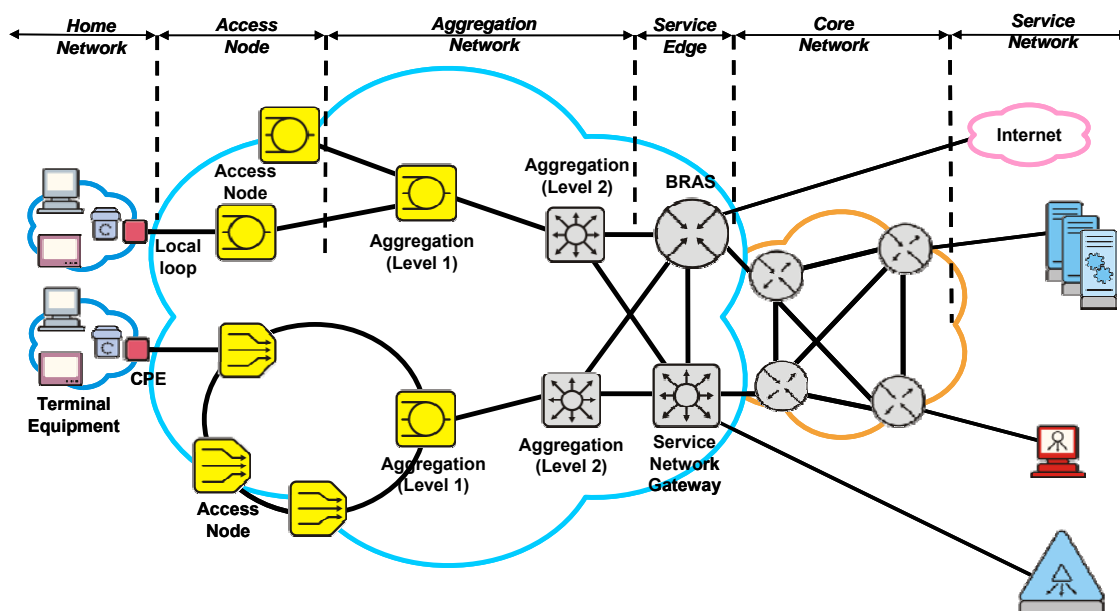
Inženirji, ki razvijajo varčne svetilke naslednje generacije temelječe na diodah LED, eksperimentirajo z visokofrekvenčnim utripanjem svetilk, prek česar bi lahko prenašali tudi podatke. Utripanje je namreč prehitro, da bi ga človek lahko kadarkoli zaznal, medtem ko za ustrezen svetlobni sprejemnik to ni težava.

Intelovi raziskovalci že raziskujejo to tehnologijo z imenom silicijeva fotonika. Za pošiljanje in sprejemanje optičnih informacij med računalniki uporabljajo standardni silicij. Tehnologija je usmerjena v reševanje prihodnjih potreb po pasovni širini v podatkovno zahtevnih računalniških aplikacijah, kot so medicina na daljavo in resnični 3D-virtualni svetovi. Skupina, ki jo vodijo Intelovi raziskovalci, je na temelju silicija že razvila svetlobno tipalo APD, ki dosega izredno občutljivost pri zaznavanju svetlobe in krepitvi šibkih signalov pri usmerjanju svetlobe na silicij. Najboljši rezultat, ki je bil doslej izmerjen pri napravah APD je 340 MHz. To odpira vrata nižjim stroškom optičnih povezav, ki podatke prenašajo pri hitrosti 40 Gb/s ali hitreje, in dokazuje, da lahko naprave silicijeve fotonike presežejo zmogljivost naprav iz tradicionalnih in dražjih optičnih materialov, kot je indij-fosfid.

3.3 Omrežno stikalo v storitvenem omrežju

3.3.1 Storitveno omrežje

Celotno storitveno dostopno omrežje obsega vsa vozlišča (t.i. gradniki) in dele omrežja (t.i. segmenti) med razpršenimi naročniki in centralnimi vstopnimi točkami storitev. Storitveno omrežje se lahko razdeli v več delov omrežja s tipičnimi vozlišči, med katerimi vsak predstavlja določeno vlogo v arhitekturi celotnega storitvenega dostopnega omrežja. Tako razdeljeno omrežje prikazuje [Slika 25](#).



Slika 25: Omrežje s tipičnimi vozlišči.

Gradniki in segmenti, ki sestavljajo celotno storitveno omrežje so:

- domače omrežje (angl. home network):
 - o večje število naprav, ki so potrebne za zagotavljanje različnih govornih, podatkovnih in video storitev (naprave STB⁹, modemi DSL, usmerjevalniki, stikala ...);
 - o naprave povezujejo domače omrežje z omrežjem ponudnika storitev oz. dostopovnim vozliščem;
- dostopovno vozlišče (angl. access node):
 - o naprava, ki zagotavlja združevanje podatkovnega, govornega in video prometa večjega števila naročnikov, ki so na omrežje priključeni z različnimi DSL ali optičnimi vmesniki;
 - o zagotavlja povezljivost med napravo domačega omrežja in omrežjem;
 - o topologija: vodilo in zvezda (odvisno od topologije agregacijskega omrežja);
- agregacijsko omrežje (angl. aggregation network):
 - o vozlišča, ki omogočajo koncentracijo prometa z enega ali več dostopovnih vozlišč;
 - o tipične funkcije, ki jih lahko omogočajo agregacijska vozlišča so: IGMP proxy¹⁰, MPLS ...;
 - o dva nivoja agregacije:
 1. nivo - priključevanje naprav iz dostopovnega vozlišča v obroč, zvezdo...;
 2. nivo - vpenjanje različne topologije prvega nivoja v storitveni rob;
 - o topologija: največkrat obroč in dvojne zvezde;
- storitveni rob (angl. core edge):
 - o centralna točka v širokopasovnem omrežju preko katere se končnim naročnikom zagotavlja različne govorne, video in podatkovne storitve (medijski prehod za govorne storitve, zmožljivo tretjenivojsko stikalo, BRAS¹¹ ...);
 - o robna točka dostopovnega storitvenega omrežja, običajno predstavlja razmejitveno točko med drugonivojskim in tretjenivojskim omrežjem;
- jedro omrežja (angl. core network):
 - o hrbtenica omrežja, ponavadi z zvezdno topologijo, ki omogoča povezave med različnimi napravami v omrežju;
 - o upoštevano pri večjih omrežjih, pri majhnih lokacijah se ne potrebuje;
- storitveno omrežje (angl. service network):
 - o naprave, ki ponujajo storitev končnim naročnikom (dostop do podatkovnih storitev, strežniki za telefonske in video storitve ...).

⁹ **STB** - Set Top Box: televizijski komunikator.

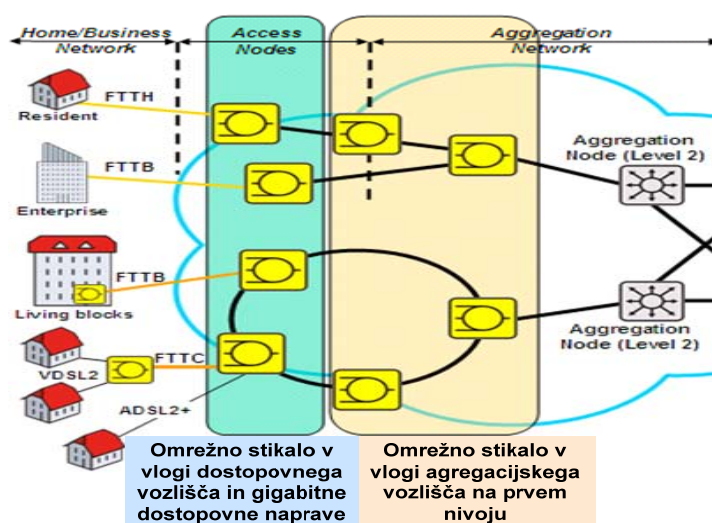
¹⁰ **IGMP proxy**: sistem lahko pošilja sporočila IGMP v imenu gostiteljev, ki jih je odkril s standardnimi vmesniki IGMP.

¹¹ **BRAS** - Broadband Remote Access Server: strežnik širokopasovnega oddaljenega dostopa za zaključevanje VPN; vrši overovitev posameznega uporabnika, mu preko avtorizacije omogoči dostop v Internet in v času priklopa obračunava morebitne storitve; video in VoIP storitvi izvajata komunikacijo preko širokopasovnega mrežnega vmesnika BNG.

3.3.2 Postavitev drugonivojskega omrežnega stikala v omrežje

Slika 26 prikazuje priklop širokopasovnih naročnikov Triple play¹². Omrežno stikalo je tu v vlogi:

- dostopovnega vozlišča:
 - o omrežno stikalo je tu zadnja točka v verigi priključevanja končnih naročnikov, saj priključuje periferne plošče in preko njih končne naročnike;
- agregacijskega vozlišča na prvem nivoju, kjer je lahko priključen:
 - o v vrsto, kjer preko sebe v omrežje povezuje eno dostopovno vozlišče;
 - o v centru zvezdne topologije, kjer preko enih vrat priključuje dostopovna vozlišča, preko drugih vrat pa se priključuje na drugi agregacijski nivo;
 - o v centru obroča kjer združuje levi in desni krak dostopovnega obroča in se preko vrat priključuje na drugi agregacijski nivo;
 - o kot element obroča z dvema priključkoma.



Slika 26: Postavitev omrežnega stikala v omrežje pri storitvah Triple play.

3.3.3 Postavitev tretjenivojskega omrežnega stikala v omrežje

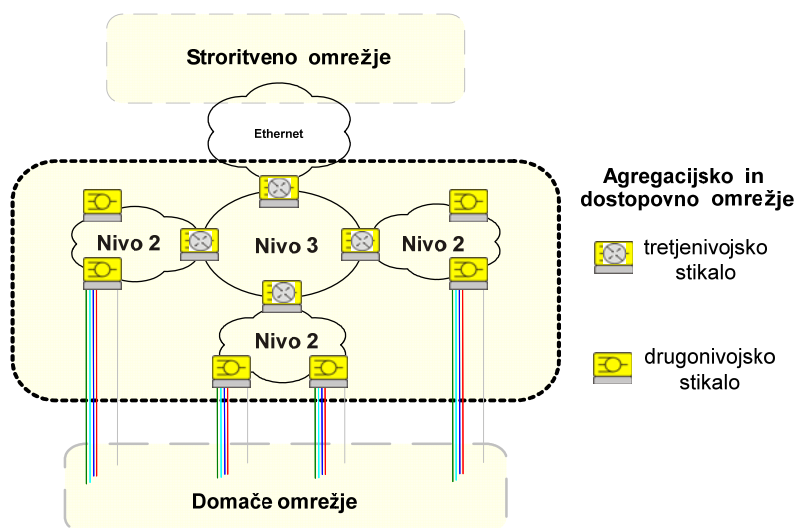
Tretjenivojska stikala so v agregacijskem omrežju običajno narejena tako, da se poleg drugonivojskega usmerjanja izvaja na posebej namenskem čipu tudi tretjenivojsko usmerjanje. To pomeni, da sama procesna enota ni obremenjena z usmerjanjem IP, je pa tu promet, ki ga mora ta enota obravnavati.

Tretjenivojske funkcionalnosti je smotno vključevati na agregacijskih točkah oz. na višje ležečih dostopovnih vozliščih, kjer je koncentriran promet posameznih lokacij. Na tej točki se tudi zaključujejo navidezna lokalna omrežja (angl. VLAN¹³) in se začne usmerjanje na tretjem nivoju. S tem se odpravi učenje naslovov MAC. Vsaka naprava s tretjenivojskim stikalom potrebuje samo naslove MAC nanj priključenih naprav. Agregacija dostopovnega vozlišča s tretjenivojskim stikalom omogoča omejitev drugonivojskega broadcast prometa na

¹² **Triple play**: ponujanje podatkovnih storitev, telefonije in video storitev istočasno.

¹³ **VLAN** - Virtual Local Area Network: s funkcionalnostjo navideznih lokalnih omrežij omogočamo povezljivost napravam, ki morajo biti med seboj dosegljive in jih z vključitvijo v drug VLAN ločujemo od ostalih naprav v omrežju do katerih ne smemo omogočiti dostopa.

eno lokacijo in s tem razbremenitev ostalega omrežja. [Slika 27](#) prikazuje možnost postavitve stikal na drugem in tretjem nivoju.



Slika 27: Postavitev stikal na drugem in tretjem nivoju v omrežje.

3.4 Zmogljivostne zahteve omrežnih stikal

Zmogljivostne zahteve za omrežno stikalo izhajajo iz največje možne obremenitve Ethernet vrat, ko so na omrežno stikalo priključene najbolj prometno potratne periferne enote. Stikalo je najbolj obremenjeno v vlogi agregatorja prometa za storitve Triple play, zmogljivost pa se določa glede na pasovno širino, prepustnost, velikost naslovnega prostora ...

Stikalo se v omrežje priključuje preko več vrat, ki so lahko namenjena priključevanju navzgor v omrežje ali povezovanju drugih stikal.

Od stikala v vlogi dostopnega vozlišča se zahteva manjše kapacitete in zmogljivost kot pa od stikala v vlogi agregatorja podrejenih naprav. Zahteve za stikala izhajajo iz naslednjih povprečnih podatkov, ki predstavljajo izhodišče za vse nadaljnje izračune:

- 500 naročnikov na stikalo v vlogi dostopnega vozlišča;
- 2.000 naročnikov na stikalo v vlogi na prvem nivoju agregacije (povezovanje še treh stikal);
- 2 napravi (PC) za naročnika Internet dostopa;
- 2 napravi (STB) na video naročnika (IPTV in VoD);
- 1 naprava na telefonskega naročnika (VoIP).

3.4.1 Potrebna pasovna širina povezovalnega vmesnika

Pri izračunu pasovne širine se obravnava naslednje storitve:

- Internet;
- televizija IP;
- VoD (VoD PVR, VoD naročnina, VoD plačljivo na film¹⁴);
- telefonija IP (govorna telefonija, video telefonija).

Za izračun potrebne pasovne širine v omrežjih Triple play se potrebuje delež naročnikov na posamezno storitev in porabo pasovne širine za posamezno storitev. Oboje podajata [Tabela 3](#) in [Tabela 4](#).

Storitev	Delež naročnikov
Internet	100%
IPTV	50%
VoD PVR	20%
VoD naročnina	10%
VoD plačljivo na film	10%
IP govorna telefonija	5%
IP video telefonija	5%

Tabela 3: Delež naročnikov na storitve.

Internet	
Internet pasovna širina na naročnika	0,1 Mb/s
Video na zahtevo (unicast)	
VoD pasovna širina	4 Mb/s
Maks. število VoD sej (PVR)	40%
Maks. število VoD sej (naročnina)	20%
Maks. število VoD sej (plačljivo na film)	10%
IP televizija (multicast)	
IPTV kanal	5 Mb/s
Število IPTV kanalov	100
Maks. število aktivnih IPTV kanalov	60%
Govorna in video IP telefonija	
Govorna telefonija kanal	0,100 Mb/s
Video telefonija kanal	0,800 Mb/s
Dovoljen % blokiranih klicev	0,1%
Erlang / naročnika govorna telefonija	0,15
Erlang / naročnika video telefonija	0,05

Tabela 4: Poraba pasovne širine za storitve.

Glede na podatke je za stikalo v vlogi dostopovnega vozlišča za 500 naročnikov potrebna pasovna širina, ki jo podaja [Tabela 5](#).

¹⁴ **VoD PVR** - Personal Video Recording: promet generira storitev omrežnega videorekorderja; uporabnik si vsebine iz živih televizijskih kanalov snema na omrežni strežnik in ko zahteva posneto vsebino, se ta promet k njemu pošlje v obliki unicast; prometno najbolj potratna je storitev časovno premaknjena živa televizija, ki je izvedenka te storitve.

VoD naročnina: promet generira storitev VoD, kjer uporabnik mesečno plača naročnino za dostop do določenih vsebin VoD; ker uporabnika cenovno ne skrbi koliko vsebin si bo ogledal, generira več prometa kot storitev VoD.

VoD plačljivo na film: plačljive vsebine, kjer uporabnik plača za vsako vsebino (film), ki si jo pogleda.

Storitve	Število naročnikov	Pasovna širina [Mb/s]
Internet	500	50
IPTV	250	300
VoD (PVR)	100	40
VoD (naročnina, zastoj arhiv)	50	10
VoD (plačilo na film)	50	5
IP telefonija	25	0,9
Video telefonija	25	3,6
Skupaj promet		409,5

Tabela 5: Izračun potrebne pasovne širine za stikalo v vlogi dostopnega vozlišča s 500 naročniki.

Na prvem nivoju agregacije se predvideva agregacijske sposobnosti za 2.000 naročnikov Triple play, potrebno pasovno širino pa podaja [Tabela 6](#).

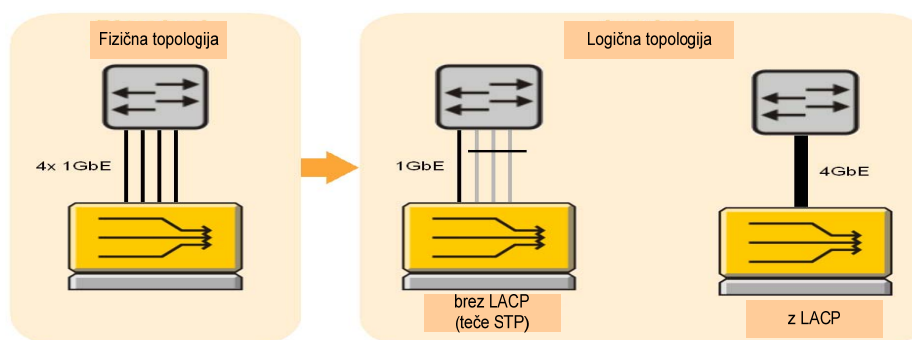
Storitve	Število naročnikov	Pasovna širina [Mb/s]
Internet	2000	200
IPTV	1000	300
VoD (PVR)	400	160
VoD (naročnina, zastoj arhiv)	200	40
VoD (plačilo na film)	200	20
IP telefonija	100	0,9
Video telefonija	100	3,6
Skupaj promet		724,5

Tabela 6: Izračun potrebne pasovne širine za stikalo v vlogi agregacijskega vozlišča z 2.000 naročniki.

Tako v vlogi dostopnega, kot tudi agregacijskega vozlišča na prvem nivoju se izkaže, da je pasovna širina povezovalnega vmesnika 1Gb/s zadostna.

V primeru agregiranja več kot treh priključenih stikal se izkoristi več povezav Gigabit Ethernet v transportno omrežje, in sicer:

- z ločenimi navideznimi lokalnimi omrežji za različne storitve (npr. polovica povezav je VLAN za IPTV in druga polovica je VLAN za VoD);
- z uporabo protokola LAG oz. LACP¹⁵ s katerim se ustvari logično povezavo večje kapacitete; protokol LACP prikazuje [Slika 28](#).



Slika 28: LACP protokol.

¹⁵ **LACP** - Link Aggregation Control Protocol: združevanje povezav Ethernet v eno logično povezavo; v primeru neuporabe LACP bi protokol STP vse, razen ene povezave v isti smeri, izklopil; združena vrata (kanali) delujejo kot ena sama povezava, kar doprinese k večji kapaciteti povezave in večji razpoložljivosti, saj v primeru izgube posameznih vrat, to še ne pomeni odpoved celotne komunikacije.

3.4.2 Prepustnost stikalnega vezja

Standardni Ethernet okvir ima največjo velikost uporabniških podatkov v velikosti 1.500 bajtov. Če se temu doda še Ethernet glavo in CRC, ki sta skupaj dolga 18 bajtov, potem je celotna skupna dolžina Ethernet okvira 1.518 bajtov. S temi podatki se lahko izračuna največjo prepustnost paketov na sekundo (pps) pri Fast in Gigabit Ethernetu, kar prikazujeta [Tabela 7](#) in [Tabela 8](#).

Velikost Ethernet okvira [bajt]	Velikost Ethernet okvira [bit]	Velikost paketa [bit]	Prepustnost (pps)
64	512	672	148.810
128	1.024	1.184	84.459
256	2.048	2.208	45.290
512	4.096	4.256	23.496
768	6.144	6.304	15.863
1.024	8.192	8.352	11.973
1.280	10.240	10.400	9.615
1.518	12.144	12.304	8.127

Tabela 7: Prepustnost paketov pri Fast Ethernetu (100 Mb/s).

Velikost Ethernet okvira [bajt]	Velikost Ethernet okvira [bit]	Velikost paketa [bit]	Prepustnost (pps)
64	512	672	1.488.095
128	1.024	1.184	844.595
256	2.048	2.208	452.899
512	4.096	4.256	234.962
768	6.144	6.304	158.629
1.024	8.192	8.352	119.732
1.280	10.240	10.400	96.154
1.518	12.144	12.304	81.274

Tabela 8: Prepustnost paketov pri Gigabit Ethernetu (1.000 Mb/s).

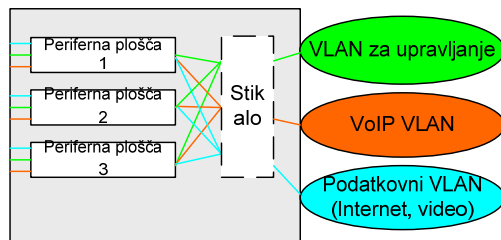
Omrežno stikalo ima 24 oz. 48 vrat. Če se upošteva polno opremljenost vseh vrat in vzame najslabši primer, kjer so paketi najmanjši možni (64 bajtov), se lahko izračuna potrebno prepustnost celotnega stikala:

- 24-vratno stikalo: $24 \times 1.488.095 \text{ pps} = 35.714.280 \text{ pps}$
- 48-vratno stikalo: $48 \times 1.488.095 \text{ pps} = 71.428.560 \text{ pps}$

Pri priključitvi preko Gigabit Ethernet vrat in upoštevanju polnega izkoristka povezave bo strojna zasnova zdržala, saj eno stikalno vezje pokriva 24 vrat in prepušča 35 milijonov paketov v sekundi. Poleg dobrih rezultatov se v resničnosti izkaže, da primera, ko bi imeli povprečno velikost paketa enako njegovi najmanjši vrednosti, praktično ni. To torej pomeni, da so izračunane vrednosti po največjih potrebnih kapacitetah zgolj teoretične in se v resničnosti predvideva prepustnost manjša od izračunane.

3.4.3 Število potrebnih navideznih lokalnih omrežij

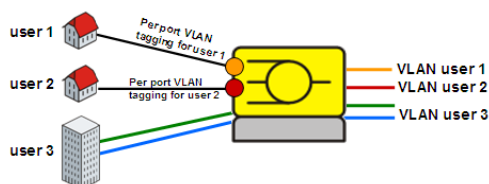
Stikalo s pomočjo funkcij navideznih lokalnih omrežij ločuje komunikacijo med napravami za isto storitev (angl. VLAN per service) ali med napravami za istega uporabnika (angl. VLAN per user). S pomočjo funkcij navideznih lokalnih omrežij se lahko zagotovi tudi varno pot upravljalnemu prometu. Primer ločevanja prometa prikazuje [Slika 29](#).



Slika 29: Ločevanje prometa z navideznimi lokalnimi omrežji.

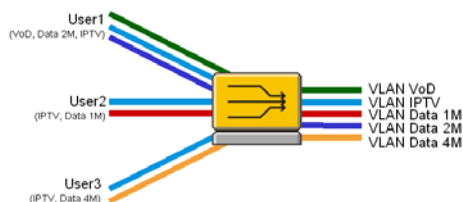
Naslovni prostor za hranjenje sočasno aktivnih navideznih lokalnih omrežij je omejen. Zgornja omejitev nastavljanja števila navideznih lokalnih omrežij je po protokolu 802.1Q definirana z dolžino polja VID ($2^{12} = 4096$). Na stikalu je možno nastaviti 4094 navideznih lokalnih omrežij (od 1 do 4094), saj sta vrednosti 0 in 4095 rezervirani. Ob vključenem protokolu GVRP¹⁶ je omejitev sposobnost stikalnega vezja in procesne enote.

Model naslavljanja VLAN per user predvideva rezervacijo lastnega VLAN ID za vsakega uporabnika. V tem primeru se na stikalu zahteva sočasna podpora za toliko navideznih lokalnih omrežij kot je uporabnikov, ki komunicirajo preko njega. Torej mora biti stikalo v vlogi agregatorja za 4094 uporabnikov. Model VLAN per user prikazuje [Slika 30](#).



Slika 30: Model VLAN per user.

Model VLAN per service predvideva rezervacijo VLAN ID za posamezno storitev. V tem primeru je za zagotavljanje večje varnosti običajno v uporabi še ločevanje na lokacijo, tako da bi lahko govorili o modelu VLAN per service per location. Tipično je na eni lokaciji na voljo okrog 10 storitev, zato največjo zahtevo za ta primer arhitekture predstavlja agregacijsko stikalo, ki mora podpirati okoli 50 navideznih lokalnih omrežij. Model VLAN per service prikazuje [Slika 31](#).



Slika 31: Model VLAN per service.

¹⁶ **GVRP** - GARP VLAN Registration Protocol: mehanizem za dinamično ustvarjanje in odstranjevanje VLAN-ov na napravi; ko je GVRP vključen in stikalo sprejme zahtevo za VLAN, ki na vratih ne obstaja, GVRP dinamično ustvari ta VLAN in vanj postavi vrata, ki so zahtevo sprejela.

3.4.4 Potrebna velikost tabele MAC

Naslovni prostor za hranjenje naslovov MAC na stikalu je omejen. Glede na osnovne podatke, ki jih podajata [Tabela 9](#) in [Tabela 10](#), se lahko izračuna največje število naslovov MAC za stikalo v vlogi dostopovnega in agregacijskega vozlišča.

		Število naslovov MAC
Internet - število naročnikov	Število aktivnih MAC na naročnika	
500	5	2500
Število prodanih STB (1,5 na TV naročnika)	Maksimalni delež aktivnih STB	
375	70%	262,5
Število upravljanjanih CPU	Maksimalni delež CPU, kjer je sočasni poseg (nadgradnja ipd.)	
500	30%	150
Telefonija IP - število naročnikov	3 x Erlang / naročnika	
25	0,45	11,25
Video telefonija - število naročnikov	3 x Erlang / naročnika	
25	0,15	3,75
Maksimalno število aktivnih naslovov MAC		2.928

Tabela 9: Izračun potrebne velikosti tabele MAC za stikalo v vlogi dostopovnega vozlišča za 500 naročnikov.

		Število naslovov MAC
Internet - število naročnikov	Število aktivnih MAC na naročnika	
2000	5	10000
Število prodanih STB (1,5 na TV naročnika)	Maksimalni delež aktivnih STB	
1500	70%	1050
Število upravljanjanih CPE	Maksimalni delež CPE, kjer je sočasni poseg (nadgradnja ipd.)	
2000	30%	600
Telefonija IP - število naročnikov	3 x Erlang / naročnika	
100	0,45	45
Video telefonija - število naročnikov	3 x Erlang / naročnika	
100	0,15	15
Maksimalno število aktivnih naslovov MAC		11.710

Tabela 10: Izračun potrebne velikosti tabele MAC za stikalo v vlogi agregacijskega vozlišča za 2.000 naročnikov.

4 Protokoli uporabljeni pri testiranju zmogljivosti procesne enote

Sledeča podpoglavja so povzeta iz [12].

Procesno enoto običajno obremenjujejo:

- paketi namensko usmerjeni proti stikalu:
 - o kontrolni paketi protokolov: STP, RSTP, MSTP, LACP, GARP, VRRP;
 - o obnovitveni paketi tretjenivojskih usmerjevalnih protokolov: RIP, OSPF;
 - o upravljalni promet: SNMP, Telnet, SSH;
 - o odgovori ARP;
- paketi in pogoji, ki zahtevajo posredovanje procesne enote:
 - o fragmentacija IP;
 - o paketi, ki zahtevajo generiranje sporočil ICMP;
 - o nepravilnosti na paketu IP (nepravilen "checksum" ali dolžina);
 - o novi izvorni naslovi MAC zahtevajo osveževanje kopije drugonivojske usmerjevalne tabele na procesni enoti;
- promet zajet z filtri:
 - o prisluškovanje DHCP;
 - o prisluškovanje IGMP;
- broadcast promet:
 - o zahteve ARP.

Od vseh zgoraj naštetih primerov, ki vplivajo na zasedenost procesne enote, je še najbolj problematičen broadcast promet, katerega je lahko v določenih primerih zelo veliko (napadi, problemi v omrežju, virusi). V osnovi se stikala in omrežja za njimi ščiti z vklopom funkcionalnosti "traffic storm control". S to funkcionalnostjo se nastavi največje dovoljene količine (pps) prometa broadcast, multicast in unicast, na podlagi česar stikalo zavrača ves promet, ki presega te vrednosti.

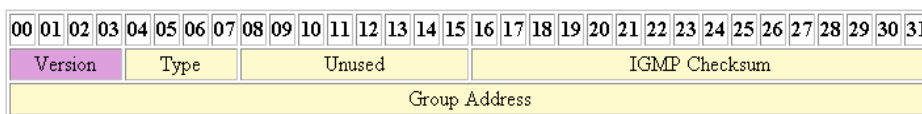
4.1 Protokol za upravljanje članstva v multicast skupinah - IGMP

Kadar se preko omrežnih povezav omejene kapacitete prenaša relativno velika količina podatkov, lahko pride do prezasedenosti in posledično počasnega delovanja vseh storitev, ki se prenašajo preko skupnih vodov. Z namenom zmanjšanja potrebne pasovne širine v primerih, ko več odjemalcev zahteva isto vsebino, se je uveljavil način posredovanja IP multicast (glej podpoglavje 3.1.1.2). Ta omogoča, da vsebino dobijo le tisti prejemniki, ki so jo zahtevali, oz. jo ne dobijo tisti, ki so jo ob povpraševanju zavrnil. Komunikacijski protokol, ki skrbi za upravljanje članstva v teh skupinah je IGMP.

Tipičen primer storitve, ki uporablja posredovanje preko IP multicasta, je IPTV, kjer se na ta način posredujejo televizijski programi iz centralnega strežniškega sistema VHE do uporabnikov. Uporabnik, ki želi gledati določen televizijski program se prijavi na IP multicast skupino, ki nosi zeleno vsebino. Ob priklopu na drug televizijski program (druga IP multicast skupina) se uporabnik iz prve skupine odjavi, s čimer se za ogled samo enega programa v istem času zahteva prenos vedno samo enega programa. To velja za povezavo enega odjemalca in za vse odjemalce, ki si delijo skupno povezavo v omrežje. Potrebna pasovna širina za prenos programov IPTV je torej odvisna le od števila zahtevanih programov in je lahko enaka le vsoti ponujenih programov (običajno manj kot 200), kar je v praksi dosti manj kot je na enem vozlišču odjemalcev (običajno okrog 1.000).

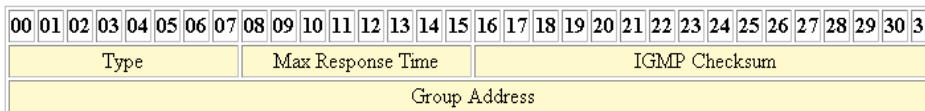
Obstajajo 3 verzije sporočil IGMP:

- IGMPv1 prikazuje [Slika 32](#):
 - o stikala pošljejo povpraševanje o članstvu v skupinah (angl. query), da odkrijejo katere skupine imajo člane; povpraševanja so naslovljena na skupino vseh odjemalcev (ciljni naslov je 224.0.0.1); odjemalci odgovorijo tako, da proizvedejo sporočilo o članstvu (angl. join), ki ga pošljejo na vsa vrata od koder so povpraševanje prejeli;
 - o stikala periodično pošiljajo povpraševanja (največ enkrat na minuto), da osvežujejo članstva določenih omrežij; če iz neke skupine ne sprejmejo nobenih sporočil, sklepajo, da skupina nima lokalnih članov in ji zato ni potrebno pošiljati multicast prometa;
 - o če je odjemalec prvi član skupine, v katero se je prijavil, na omrežje nemudoma pošlje sporočilo za to skupino, brez čakanja na povpraševanje;



Slika 32: IGMP verzija 1.

- IGMPv2 prikazuje [Slika 33](#):
 - o dodana so odjavna (angl. leave) sporočila, ki dovoljujejo, da je končanje skupine hitro sporočeno usmerjevalnemu protokolu, kar je pomembno za multicast skupine večjih pasovnih širin in podomrežja s hitro spreminjajočimi člani;



Slika 33: IGMP verzija 2.

- IGMPv3:
 - o odjemalcem dovoljuje izdelavo liste programov, ki jih želijo prejemati; ostali promet je znotraj omrežja blokiran.

4.1.1 Prisluskovanje IGMP

Prisluskovanje protokolu IGMP (angl. IGMP snooping) je relativno preprosta zadeva: omrežna naprava prestreza sporočila IGMP, ki si jih izmenjujeta odjemalec in strežnik. Iz prestreženih sporočil naprava razbere, kateri skupini je sporočilo namenjeno in ali gre za prijavo/odjavo v/iz skupine. Na podlagi omenjenih podatkov si gradi ločeno posredovalno tabelo, namenjeno izključno multicast prometu.

4.1.1.1 IGMP prisluskovanje s hitro odjavo

Običajen postopek prisluskovalca ob sprejemu odjavnega sporočila je sledeč: stikalo pošlje sporočilo naprej v omrežje in počaka na strežnik, ki reagira s sporočilom povpraševanja.

Stikalo iz sporočila povpraševanja razbere, v kolikem času morajo še aktivni člani te skupine odgovoriti. Če v tem času ne prejme nobenega odgovora na opazovanih vratih, lahko ta vrata izloči iz posredovalne tabele za to multicast skupino.

S funkcijo hitre odjave (angl. fast leave) se scenarij spremeni v toliko, da stikalo pobriše vrata iz posredovalne multicast tabele takoj po prejetju odjavnega sporočila.

Na ta način se takoj neha posredovati multicast do končnega odjemalca, kar je zaželeno, saj bi se v primeru delovanja prisluškovanja IGMP brez te funkcije lahko zgodilo, da bi ob hitrem preklopu med zahtevami za nove kanale IPTV in počasnem sproščanju (brez hitre odjave to traja približno 5 sekund) prišlo do dveh ali več istočasnih multicastov na preozki naročniški liniji. V takem primeru bi prihajalo do izgub vsebine (angl. packet loss) in posledično nekvalitetnega delovanja storitve IPTV.

4.1.1.2 IGMP prisluškovanje z zadušitvijo

Pri IGMP prisluškovanju z zadušitvijo (angl. IGMP snooping with suppression) gre za posredovanje prijavnih in odjavnih sporočil, ko se prijavlja prvi oz. odjavlja zadnji STB na določeno multicast skupino. S tem se bistveno zmanjša število prenesenih sporočil IGMP po transportnem omrežju, ki je ključnega pomena za preobremenitev procesnih naprav, na katere je priključeno stikalo.

Paketi IGMP so pri zadušitveni metodi posredovani do centralnega usmerjevalnika z izvornim naslovom MAC/IP končne naprave, ki prva zahteva prijavo ali zadnja zahteva odjavo.

4.1.2 Zmogljivostne zahteve za procesno enoto pri IGMP protokolu

Pri 48 DSL Triple play naročnikih se pričakuje, da bodo nekateri imeli tri STB, le redki pa bodo brez storitve IPTV. Predvideva se povprečno 2 IPTV odjemalca na naročnika. Če približno polovica od teh v času reklam sproži preklon IGMP, je to približno 48 ($48 \times 2 \times 0,5$) preklonov na sekundo na ploščo DSL (en preklon IGMP pomeni poslano sporočilo za priklon na novi kanal IPTV in en odklop za stari kanal IPTV). Upoštevati je potrebno še to, da ne bodo vsi takoj začeli s preklopi med kanali, tisti ki pa bodo, pa bodo preklapljali s hitrostjo 2 preklona na sekundo. Na eno ploščo DSL se torej predvideva obdelava 96 IGMP paketov v sekundi.

Če je na stikalo priključenih 19 plošč DSL in se predvideva približno polovična razpršenost zahtev, se zahtevo 96 IGMP paketov na sekundo množi z 9,5 (19/2). Tako se dobi zahtevo za storitev IGMP na stikalu z 19 ploščami DSL, ki je 456 IGMP preklonov na sekundo (912 IGMP pps).

Ob upoštevanju da se stikalo priključuje v obroč, v katerem je npr. 7 stikal, mora skrajno stikalo v obroču obdelati promet IGMP od štirih (predvideva se blokirana vrata STP na sredi obroča, glej podpoglavje 3.3) in tako se dobi zahtevo za 1.824 preklonov na sekundo.

Ker je na stikalu mogoče vključiti funkcijo IGMP prisluškovanja z zadušitvijo se iz enega stikala lahko posreduje dosti manj sporočil IGMP. Pričakuje se, da število zahtev IGMP v sekundi ne bo večje od števila ponujenih kanalov IPTV. Ob vključitvi te funkcije se namreč posreduje le prva prijavna in zadnja odjavna zahteva za kanal IPTV. Tudi ob zelo veliki

koncentraciji odjemalcev (več kot 1.000 IPTV odjemalcev na stikalo) se pričakuje manj kot polovico posredovanih sporočil IGMP, saj bo vsaj polovica vseh kanalov stalno prisotnih in zato zahteve IGMP za njih ni potrebno pošiljati. Če je pričakovano tipično število ponujenih televizijskih kanalov okrog 200, potem se lahko iz enega stikala tako pričakuje največ 100 IGMP zahtev v sekundi. Skrajno stikalo v obroču mora poleg lokalne zahteve upoštevati še promet treh posredno priključenih stikal, kar v končni vsoti poveča zahtevo na (456+300) 756 IGMP preklpov na sekundo (1.530 pps).

4.2 Protokol za dinamično nastavitvev odjemalcev - DHCP

Strežnik DHCP dodeljuje nastavitve IP odjemalcem DHCP v omrežju, ki to zahtevajo. Katere nastavitve IP bo dodelil določenemu odjemalcu, je odvisno od izvornega podatka, na podlagi česar se strežnik odloča. To je lahko izvorni naslov MAC, vrednost opcije ali kakšen drug parameter, ki ga strežnik za odločitev strežbe podpira.

Seja DHCP deluje v 4 korakih, ki jih prikazuje [Slika 34](#): povpraševanje (angl. discovery), ponudba (angl. offer), zahteva (angl. request), in potrditev (angl. acknowledge). Najprej odjemalec pošlje povpraševanje za strežnik in strežnik mu odgovori, da je prisoten na vodilu in mu rezervira naslov IP. Nato odjemalec pošlje zahtevo za dodelitev naslova IP in strežnik mu pošlje podatke o trajanju naslova IP... S tem je seja DHCP zaključena. Med sejo poteka izmenjava parametrov IP, kot so: naslov IP, omrežna maska, privzeti prehod IP, strežnik DNS, strežnik ACS.

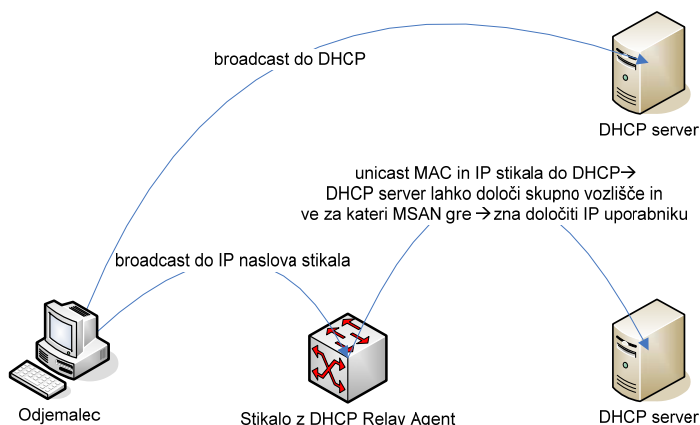


Slika 34: DHCP seja.

4.2.1 Posredovalni agent DHCP

Vsa sporočila DHCP so od odjemalca poslana v načinu broadcast (ciljni naslov je 255.255.255.255). Tako lahko vse naprave na istem omrežju poslušajo in če je ena od teh naprav strežnik DHCP, se temu sporočilu odzove. Če pa ima stikalo funkcijo posredovalnega agenta (angl. relay agent) pa sta lahko strežnik in uporabnik DHCP tudi na različnih omrežjih. Posredovalni agent DHCP namreč pregleda sporočilo DHCP, ga ustrezno spremeni in nato posreduje naprej v načinu unicast na strežnik DHCP.

Ob vpeljavi funkcije posredovalnega agenta DHCP na stikalo je paketom DHCP mogoča tudi identifikacija skupnega vozlišča, saj so vse zahteve DHCP od stikala dalje posredovane na strežnik DHCP z izvornim MAC in IP naslovom stikala. Strežnik DHCP na osnovi tega izvornega naslova ve za katero stikalo gre in tako zna odjemalcu določiti pravi naslov IP. Zaradi unicast načina pošiljanja sporočil DHCP je tudi bistveno zmanjšano število posredovanih zahtev DHCP v omrežje. Pošiljanje sporočil z DHCP in s posredovalnim agentom DHCP prikazuje [Slika 35](#).



Slika 35: Primerjava med DHCP in posredovalnim agentu DHCP.

4.2.2 Zmogljivostne zahteve za procesno enoto pri posredovalnem agentu DHCP

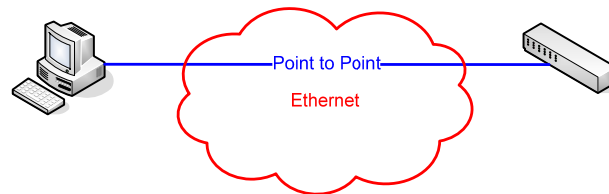
Največjo zmogljivostno zahtevo (angl. worst case) za funkcijo posredovalni agent DHCP predstavlja dogodek, ko se vse naprave vključijo naenkrat. To se zgodi ob priklopu električnega toka na celotni regiji v primeru izpada. Takrat se pričakuje, da je največje število končnih naprav enako vsoti vseh končnih naprav priključenih preko nekaj stikal v obroču. Če se torej v povprečju pričakuje 3 naprave (2 x STB, VoIP telefon) na naročnika, ki uporabljajo DHCP in je teh naročnikov povprečno 500 na stikalo, bo iz enega posredovanih 1.500 sporočil DHCP, iz štirih pa bo v času 10 sekund proizvedenih 6.000 DHCP REQ in 6.000 povratnih DHCP ACK sporočil. To je v povprečju 1.200 DHCP sporočil v sekundi, kar tudi predstavlja zmogljivostno zahtevo za funkcijo posredovalni agent DHCP na stikalu.

4.3 Protokol točka v točko preko Etherneta - PPPoE

Protokol točka v točko preko Etherneta (angl. point to point over Ethernet) je specifikacija za povezovanje uporabnikov v omrežju Ethernet z Internetom s širokopasovno povezavo, npr. eno linijo DSL, brezžično napravo ali kabelskim modemom. S tem protokolom in širokopasovnim modemom lahko uporabniki lokalnih omrežij dobijo samostojen pristen dostop do podatkovnih omrežij visokih hitrosti.

Protokol točka v točko je bil razvit za prenos datagramov IP prek povezav točka v točko. Na začetku se je uveljavil kot protokol za podporo klicnemu dostopu v omrežjih PSTN in ISDN. PPP predstavlja terminalna oprema na uporabniški strani (osebni računalnik, terminal VoIP, televizijski komunikator STB) in naprava BRAS na strani ponudnika storitev. Ethernet omrežja slonijo na paketih in nimajo predstave za povezave ali vezja, manjkajo pa jim tudi osnovni varnostni mehanizmi za zaščito pred IP in MAC konflikti in sleparskimi strežniki DHCP.

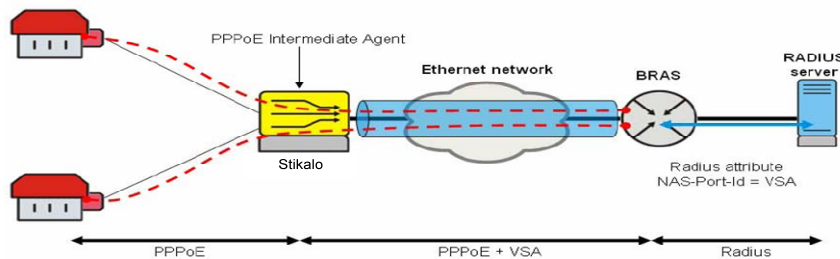
Uporabniki z uporabo PPPoE kličejo iz ene naprave na drugo preko omrežja Ethernet, vzpostavijo povezave točka v točko med njima in varno prenašajo podatkovne pakete preko povezave, kar prikazuje Slika 36.



Slika 36: Protokol točka v točko preko Etherneta.

4.3.1 Protokol točka v točko preko Etherneta s posredovalnim agentom

V primeru uporabe uporabniškega dostopa PPPoE je potrebna identifikacija, ki na dostopovnem vozlišču uvaja funkcijo protokola PPPoE s posredovalnim agentom (angl. PPPoE Intermediate Agent - PPPoE IA), ki jo prikazuje Slika 37.



Slika 37: PPPoE s posredovalnim agentom.

Funkcija omogoča prenos informacije o priključku oz. naročniku k storitvenemu vozlišču. V modelu VLAN je namreč dostopovno vozlišče edino, ki lahko identificira naročnika. PPPoE IA v dostopovnem vozlišču doda linijsko identifikacijo v vsa iskalna sporočila PPPoE kot dodaten atribut, imenovan VSA.

Naloga PPPoE IA je, da:

- prestreza vsa PPPoE iskalna sporočila uporabnika (sporočila odjemalca PPPoE: PADI, PADR in PADT) in jim dodaja atribut VSA z identifikacijo linije;
- prestreza vsa PPPoE iskalna sporočila storitvenega vozlišča (sporočila strežnika PPPoE: PADO in PADS) in jim odvzema atribut VSA z identifikacijo linije; ta akcija je nujna v primeru, ko strežnik v svojih sporočilih ohranja atribut VSA, ki ga je prejel od posredovalnega agenta; uporabnik ne sme sprejeti atributa VSA, sicer bi ga lahko zlorabil.

Dodani atributi VSA z identifikacijo linije v odjemalčevih sporočilih se v strežniku PPP (BRAS-u) uporabijo za generiranje ustreznega atributa RADIUS (npr. NAS-Port-Id ali Calling-Station-Id). Ta atribut je poslan v pristopnem sporočilu (Radius-Access-Request) strežniku Radius kot dodaten parameter pri postopku avtentikacije.

4.3.2 Prednosti in slabosti protokola točka v točko

Ključni prednosti protokola PPP predstavljata avtentikacijski mehanizem ter možnost zaračunavanja storitev na osnovi časovnih parametrov.

Z uvajanjem novih multimedijško podprtih storitev in terminalov se je izkazalo, da mehanizem PPP ni najbolj ustrezen. V primeru uporabe na terminalih VoIP je potrebno

zagotoviti neprekinjeno vzdrževanje seje PPP. V implementacijah na napravah STB pa se kot ključna pomanjkljivost pokaže nezmožnost izvajanja multicast prenosnega načina.

4.4 Protokol razpetih dreves - STP

Protokol razpetih dreves je v osnovi namenjen preprečevanju zank (angl. bridging loop, glej podpoglavje 3.1.2) vendar deluje kot usmerjevalni protokol na drugem nivoju, zato mora biti nujno podprt kadar je v omrežju več stikal z redundantnimi povezavami. STP omogoča aktivnost samo ene povezave med dvema vozliščema v danem trenutku. Takoj ko zazna, da katera izmed aktivnih povezav ni več aktivna, se aktivira redundantna pot preko katere se tedaj usmeri ves podatkovni promet.

Protokol STP je v stikalu podprt zaradi možnosti vključevanja v stikalno omrežje, kjer ni mogoče uporabiti protokola RSTP, drugače pa se njegova uporaba zaradi predolgega konvergentnega časa (v najslabšem primeru 50 sekund) ne priporoča.

Da v omrežju ne prihaja do zank, morajo stikala med seboj izmenjevat informacije o svojih stanjih, cenah poti ... Za izmenjavo informacij uporabljajo posebne podatkovne okvirje imenovane BPDU. Stikalo pošlje okvir BPDU z uporabo MAC naslova vrat kot izvorni naslov in STP multicast naslov 01:80:C2:00:00:00 kot ciljni naslov.

Poznamo 3 vrste BPDU-jev:

- konfiguracijski BPDU za računanje STP,
- BPDU objava za spremembo omrežne topologije – TCN,
- BPDU za potrditev objave za spremembo topologije – TCA.

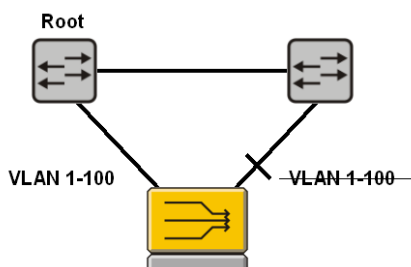
STP stanja stikal:

- blokiran – angl. blocking (v primeru, ko bi nastali cikli),
- poslušanje – angl. listening (stikalo obdeluje BPDU-je in čaka na nove informacije, ki bi ga postavile nazaj v stanje blokiran),
- učenje – angl. learning (stikalo še ne posreduje, ampak se uči o izvornih naslovih in jih dodaja v stikalno bazo),
- posredovanje – angl. forwarding (stikalo posreduje in sprejema podatke),
- onemogočen – angl. disabled (administrator omrežja ročno onemogoči stikalo).

4.4.1 Protokol hitrih razpetih dreves - RSTP

Protokol STP je bil namenjen omrežjem za prenos računalniških podatkov v podjetjih in v takem okolju je bil sprejemljiv tudi konvergentni čas do 50 sekund. S pojavom novih storitev kot sta govor in video, pa je ta čas postal mnogo predolg. Zato je s standardom IEEE 802.1w nastal protokol hitrih razpetih dreves (RSTP), ki omogoča hitrejšo obnovo napake v stikalnem omrežju. To mu uspeva s pomočjo aktivnega stikalnega pogajanja, ki je uporabljen namesto časovnikov (stalno pošiljanje drevesnih "hello" sporočil). Čas vzpostavitve poti se je zmanjšal na 1 do 5 sekund.

Glavna razlika med STP in RSTP je v načinu komuniciranja med vozlišči v omrežju. Stikalo, ki deluje preko protokola RSTP že vnaprej ve preko katerih vrat bo potekal promet v primeru odpovedi primarne povezave. [Slika 38](#) prikazuje delovanje protokola RSTP.



Slika 38: Pri uporabi protokola RSTP redundantna povezava ni aktivna.

Za hitrejši prehod preko stanj pa je RSTP zmanjšal tudi možno število stanj iz predhodnih 5 v samo 3 možna stanja. Stanja onemogočen, blokiran in poslušanje so se združila v zavržen (angl. discarding), kot prikazuje [Tabela 11](#).

STP (802.1D)	RSTP (802.1w)	Je stikalo vključeno v aktivno topologijo?	Se stikalo uči MAC naslove?
Onemogočen	Zavržen	Ne	Ne
Blokiran	Zavržen	Ne	Ne
Poslušanje	Zavržen	Da	Ne
Učenje	Učenje	Da	Da
Posredovanje	Posredovanje	Da	Da

Tabela 11: Lastnosti STP in RSTP stanj stikala.

4.4.2 Zmogljivostne zahteve za procesno enoto pri protokolih STP in RSTP

BPDU-ji se redno zamenjujejo (vsako sekundo) in s tem omogočajo stikalom, da sledijo spremembam omrežja in da odvisno od zahtev, pričnejo ali pa prenehajo s posredovanjem na vratih.

Pri 24-vratnem stikalu se pričakuje obdelavo 24 BPDU-jev na sekundo. Ob upoštevanju da se stikalo priključuje v obroč, v katerem je npr. 7 stikal, mora skrajno stikalo v obroču obdelati pakete BPDU od štirih (predvideva se STP blokirana vrata na sredi obroča, glej podpoglavje 3.3), kar pomeni obdelavo (24x4) 96 BPDU-jev na sekundo.

Pri 48-vratnem stikalu se z istim razlogom pričakuje prihod in obdelavo 192 BPDU-jev na sekundo.

5 Testiranje in rezultati obremenjenosti procesne enote omrežnih stikal

Stikalo ustvarja tekstovne datoteke z zapisom pomembnih dogodkov, kot so:

- spremljanje obremenitve na posameznih Ethernet vratih pri obdelavi posameznih in vseh tipov paketov (broadcast, multicast, unicast) v obeh smereh – sprejeti/oddani;
- prehod STP in RSTP stanja vrat;
- število izmenjenih paketov IGMP in DHCP na posameznih in na vseh vratih na sistemu.

Zaradi omejene velikosti diskovnega prostora se ohranijo le najnovejši zapisi. Sistem tako zagotavlja, da novejši dogodki zavzamejo diskovni prostor starejših dogodkov in jih s tem brišejo. S povečevanjem pasovne širine na vmesnikih prihaja do pojava preliva števecv sprejetega in oddanega paketnega prometa. Zato za spremljanje paketov uporabljamo števecv naprave Ixia.

5.1 Okolje za testiranje

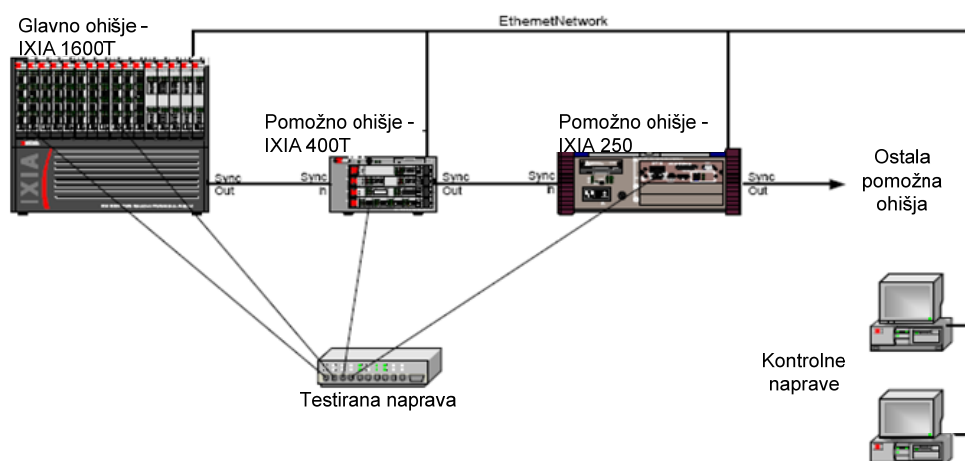
5.1.1 Ixia

Naprava Ixia je vsestransko orodje za testiranje 10 Mb/s Ethernet, Fast, Gigabit ali 10 Gigabit Ethernet, USB, ATM in SONET stikal, usmerjevalnikov in omrežij.

Obstaja več modelov naprav z različnim številom kartic:

- Optixia - omogoča veliko gostoto vrat, do 480;
- Ixia 1600 - podpora za do 16 kartic;
- Ixia 400 - podpora za do 4 kartice;
- Ixia 100 - podpora za 1 kartico.

Preprosta arhitektura omogoča povezavo do 256 podrejenih naprav v marjetično verigo¹⁷ (angl. daisy chain), ki se lokalno sinhronizirajo v 10 ns. Tako se lahko zelo kompleksne sisteme testira hitro, učinkovito in poceni. Marjetično vezavo naprav Ixia prikazuje [Slika 39](#).



Slika 39: Vezava naprav Ixia v marjetično verigo.

¹⁷ **Marjetična veriga:** naprave niso povezane direktno z vozliščem (zvezdasta vezava), ampak so v verigi ena za drugo; če naprava ni naslovljena, potem vhodne podatke pošlje naprej.

Programska oprema Ixia Explorer omogoča konfiguracijo, kontroliranje in opazovanje vseh virov v testiranem omrežju, skripte pa omogočajo uporabniku hitro nastavitve industrijsko določenih testnih programov.

Uporabnik lahko z napravo upravlja preko povezav za tipkovnico, miško, monitor in tiskalnik. Nanjo se lahko poveže tudi preko Ethernet vrat in jo oddaljeno kontrolira preko programa IxExplorer. Na sprednji strani je prikazano trenutno stanje povezave, oddaja in sprejem paketov in okoliščine napak.

Več o napravi Ixia se nahaja na [13].

5.1.2 Ukazi uporabljeni pri testiranju

Obremenitev procesne enote sem spremljala preko CLI ukazov "show resource cpu" (podprto na stikalih OS2 in OS3) in "show hardware" (podprto na vseh stikalih). Ta dva ukaza izpišeta trenutno procesno obremenitev. Med testiranjem je bilo potrebno obremenitev ves čas spremljati, saj se le-ta nikamor ne zapisuje. Primer izpisa je podan spodaj.

Primer izpisa:

(Switching) #show resource cpu

```
Current CPU Load..... 10%

CPU Statistics (Auto-Refresh every 5 Seconds)
Maximum CPU Load..... 48%
Minimum CPU Load..... 9%
Average CPU Load..... 9%
```

(Switching) #show hardware

```
Switch: 1

Current CPU Load..... 81%
System Description..... Switching
Machine Type.....
Machine Model.....
Serial Number..... Switch board
```

5.1.3 Filtriranje paketov

Obremenjenost procesne enote sem opazovala pri različnih protokolih. Stikalno vezje prepozna protokole s svojimi filtri. Glede na te filtre nato pakete posreduje procesni enoti ali pa na druga vrata. Filtri ločujejo pakete med seboj glede na informacije, ki jih paketi nosijo. Prikazuje jih [Slika 40](#).

Ciljni naslov Querier: 01:00:5E:00:00:01 Leave: 01:00:5E:00:00:02 Join: 01:00:5E:xx:xx:xx	Izvorni naslov	IP	Protokol IGMP	
--	----------------	----	---------------	--

(a) Paket IGMP.

Ciljni naslov (255.255.255.255)	Izvorni naslov	IP	Protokol DHCP	Ciljna vrata Strežnik do uporabnika: 68 Uporabnik do strežnika: 67	Izvorna vrata Strežnik do uporabnika: 67 Uporabnik do strežnika: 68	
------------------------------------	----------------	----	---------------	--	---	--

(b) Paket DHCP.

Ciljni naslov (FF:FF:FF:FF:FF:FF)	Izvorni naslov	PPPoE 0x8863	
--------------------------------------	----------------	-----------------	--

(c) Paket PPPoE.

Ciljni naslov (01:80:C2:00:00:00)	Izvorni naslov	BPDU	
--------------------------------------	----------------	------	--

(d) Paket BPDU.

Slika 40: Informacije, ki jih gledajo filtri.

5.2 Testiranje in rezultati

Testirala sem 4 stikala in sicer OS1, OS2-neoptimiziran, OS2-optimiziran in OS3. Na stikalih sem opravila naslednje teste:

- zmogljivost vhodnih vrat procesne enote (glej podpoglavje 5.2.1);
- zmogljivost procesne enote pri protokolu IGMP (glej podpoglavje 5.2.2);
- zmogljivost procesne enote pri posredovalnem agentu DHCP (glej podpoglavje 5.2.3);
- zmogljivost procesne enote pri PPPoE s posredovalnim agentom (glej podpoglavje 5.2.4);
- zmogljivost procesne enote pri protokolih STP in RSTP (glej podpoglavje 5.2.5).

S sledečimi testi sem ugotovila:

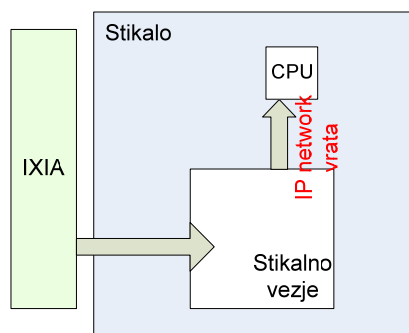
- koliko prometa je procesna enota sposobna obdelati;
- kje so ozka grla sistema;
- ali stikalo zadovoljivo obdeluje protokolarne pakete.

5.2.1 Testiranje zmogljivosti vhodnih vrat procesne enote (network port)

Podatki namenjeni na procesno enoto najprej trčijo na zaščito pred preobremenitvijo (omejitev števila poslanih paketov na procesno enoto). Ko procesna enota sprejema pakete, obremenjenost zaradi pregledovanja le teh narašča. Ko se testirane procesne enote približujejo 100% obremenjenosti, se prihajajoči paketi začnejo izgubljati. Test sem zaključila, ko se je pojavila izguba prihajajočih paketov.

Paketi, ki sem jih pošiljala, so imeli v ciljnem naslovu zapisan MAC naslov stikala. Stikalno vezje je ciljni naslov razumelo tako, da je na procesno enoto posredovalo vse pakete, ki so prišli na stikalo. Procesna enota je nato te pakete zavržla, saj paketi niso nosili nobene informacije, kaj naj z njimi stori. Shemo za testiranje zmogljivosti vhodnih vrat procesne enote prikazuje [Slika 41](#).

Tabele 12 do 15 prikazujejo meritve pri paketih različnih velikosti. [Tabela 12](#) prikazuje meritve izvedene na OS1, [Tabela 13](#) na optimiziranem OS2, [Tabela 14](#) na neoptimiziranem OS2 in [Tabela 15](#) na OS3. Pri OS1 je bila zaščita pred preobremenitvijo nastavljena na 1.600 paketov, zato 100% obremenitev procesne enote ni bila nikoli dosežena.



Slika 41: Shema za testiranje zmogljivosti vhodnih vrat na procesni enoti.

Velikost paketa [bajt]	Obremenitev pri 500 pps	Obremenitev pri 1.000 pps	Obremenitev pri 1.500 pps	Največja obremenitev CPU
64	34%	52%	70%	75% pri 1600 pps
128	34%	52%	71%	75% pri 1600 pps
256	34%	54%	72%	78% pri 1600 pps
512	35%	55%	74%	80% pri 1600 pps
1024	36%	55%	76%	82% pri 1600 pps
1518	38%	61%	80%	85% pri 1600 pps

Tabela 12: Obremenjenost procesne enote OS1 med sprejemanjem paketov.

Velikost paketa [bajt]	Obremenitev pri 500 pps	Obremenitev pri 1.000 pps	Obremenitev pri 1.500 pps	Obremenitev pri 1.600 pps	Obremenitev pri 2.000 pps	99% - 100% obremenitev CPU
64	31%	52%	73%	76%	91%	2.200 pps
128	31%	52%	73%	76%	92%	2.200 pps
256	31%	53%	74%	77%	93%	2.200 pps
512	32%	54%	75%	78%	94%	2.150 pps
1024	32%	55%	77%	80%	100%	2.000 pps
1518	33%	56%	79%	82%		1.950 pps

Tabela 13: Obremenjenost procesne enote optimiziranega OS2 med sprejemanjem paketov.

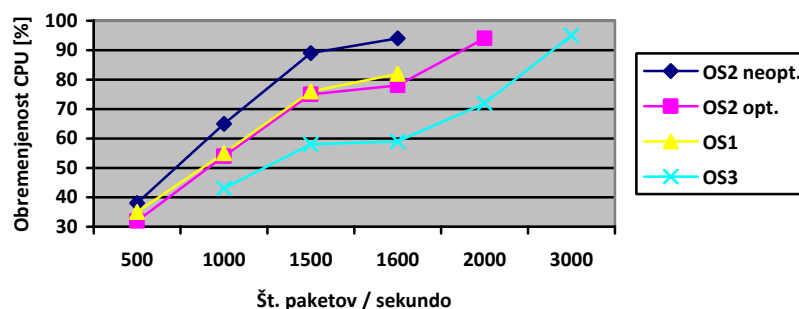
Velikost paketa [bajt]	Obremenitev pri 500 pps	Obremenitev pri 1.000 pps	Obremenitev pri 1.500 pps	Obremenitev pri 1.600 pps
64	37%	63%	87%	90%
128	37%	63%	87%	91%
256	37%	64%	88%	92%
512	38%	65%	89%	94%
1024	39%	66%	92%	96%
1518	39%	69%	94%	100%

Tabela 14: Obremenjenost procesne enote neoptimiziranega OS2 med sprejemanjem paketov.

Velikost paketa [bajt]	Obremenitev pri 1.000 pps	Obremenitev pri 1.500 pps	Obremenitev pri 2.000 pps	Obremenitev pri 3.000 pps
64	42%	56%	71%	93%
128	42%	57%	71%	94%
256	42%	57%	72%	94%
512	43%	58%	72%	95%
1024	43%	59%	73%	97%
1518	44%	61%	75%	100%

Tabela 15: Obremenjenost procesne enote OS3 med sprejemanjem paketov.

Graf 1 prikazuje meritve tabel 12 do 15.



Graf 1: Obremenjenost procesne enote pri paketih velikosti 512 bajtov.

Iz grafa 1 je razvidno, da je OS3 najboljše stikalo, saj pri isti obremenitvi procesne enote prepušča skoraj dvakrat več paketov kot ostali.

5.2.2 Testiranje zmogljivosti pri protokolu IGMP

IGMP sestoji iz treh paketov (glej podpoglavje 4.1):

- IGMP povpraševanje (angl. query) - prikazuje ga [Slika 42](#);
- IGMP prijavno sporočilo (angl. join) - prikazuje ga [Slika 43](#);
- IGMP odjavno sporočilo (angl. leave) - prikazuje ga [Slika 44](#).

Testni paketi IGMP so bili velikosti 68 bajtov.

Prvi test sem naredila s paketoma IGMP povpraševanja in prijavnim sporočilom IGMP. Izvedeni test prikazuje [Slika 45](#). Meritve obremenitve procesne enote prikazuje [Tabela 16](#).

Pri drugem testu sem izmenjujoče pošiljala prijavno in odjavno sporočilo IGMP. Vključena je bila funkcija takojšnje odjave. Izvedeni test prikazuje [Slika 46](#). Meritve obremenitve procesne enote prikazuje [Tabela 17](#).

```

MAC: ----- MAC Header -----
MAC:
MAC: Destination Address : 01 00 5E 00 00 01
MAC: Source Address      : 00 11 22 33 44 55
MAC:
VLAN: ----- VLAN Header -----
VLAN:
VLAN: Tag Protocol Identifier   = 0x8100
VLAN: Tag Control Information   = 0x01A4
VLAN: User Priority              = 0
VLAN: Canonical Format Indicator = 0
VLAN: VLAN Identifier           = 420 (0x1A4)
VLAN: Type                      = 0x0800 (Ethernet II)
VLAN:
IP: ----- IP Header -----
IP:
IP: Version                     = 04 (0x04)
IP: Header Length               = 20 (0x14)
IP: Type of Service             = 00 (0x00)
IP:
IP:   000.....                 = Routine
IP:   ...0....                 = Normal Delay
IP:   ...0...                  = Normal Throughput
IP:   .....0..                = Normal Reliability
IP:   .....0.                 = Normal Cost
IP:   .....0                  = Reserved
IP: Total Length                = 28 (0x001C)
IP: Identification              = 0 (0x0000)
IP: Flags Bit1 .0. May Fragment
IP: Flags Bit2 ..0 Last Fragment
IP: Fragment Offset             = 0
IP: Time to Live                = 64 (0x40)
IP: Protocol                    = IGMP
IP: Checksum                    = 0x8EDB
IP: Source Address              = 10.1.2.3
IP: Destination Address        = 224.0.0.1
IP:
IGMP: ----- IGMP Header -----
IGMP:
IGMP: Version                   = 2 (0x2)
IGMP: Type                      = Membership Query (0x11)
IGMP: Max Response Time        = 100 (0x64)
IGMP: Checksum                  = 0xEE9B
IGMP: Group                     = 0.0.0.0
IGMP:

```

Slika 42: IGMP povpraševanje.

```

MAC: ----- MAC Header -----
MAC:
MAC: Destination Address : 01 00 5E 01 02 03
MAC: Source Address      : 00 11 22 33 44 55
MAC:
VLAN: ----- VLAN Header -----
VLAN:
VLAN: Tag Protocol Identifier   = 0x8100
VLAN: Tag Control Information   = 0x01A4
VLAN: User Priority              = 0
VLAN: Canonical Format Indicator = 0
VLAN: VLAN Identifier           = 420 (0x1A4)
VLAN: Type                      = 0x0800 (Ethernet II)
VLAN:
IP: ----- IP Header -----
IP:
IP: Version                     = 04 (0x04)
IP: Header Length               = 20 (0x14)
IP: Type of Service             = 00 (0x00)
IP:
IP:   000.....                 = Routine
IP:   ...0....                 = Normal Delay
IP:   ...0...                  = Normal Throughput
IP:   .....0..                = Normal Reliability
IP:   .....0.                 = Normal Cost
IP:   .....0                  = Reserved
IP: Total Length                = 28 (0x001C)
IP: Identification              = 0 (0x0000)
IP: Flags Bit1 .0. May Fragment
IP: Flags Bit2 ..0 Last Fragment
IP: Fragment Offset             = 0
IP: Time to Live                = 64 (0x40)
IP: Protocol                    = IGMP
IP: Checksum                    = 0x82D8
IP: Source Address              = 20.1.2.3
IP: Destination Address        = 224.1.2.3
IP:
IGMP: ----- IGMP Header -----
IGMP:
IGMP: Version                   = 2 (0x2)
IGMP: Type                      = Membership Report v2 (0x16)
IGMP: Max Response Time        = 100 (0x64)
IGMP: Checksum                  = 0x 797
IGMP: Group                     = 224.1.2.3
IGMP:

```

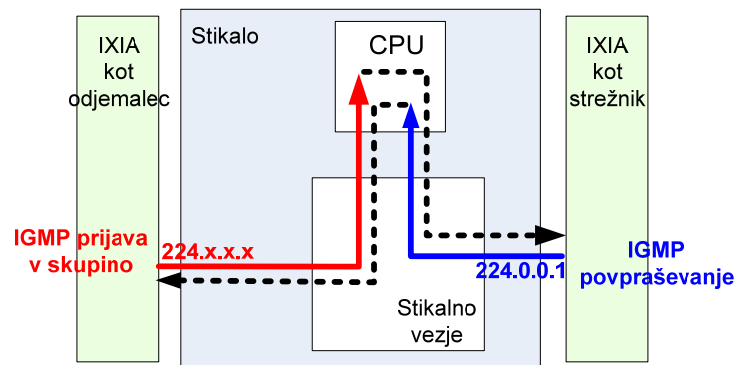
Slika 43: IGMP prijavno sporočilo.

```

MAC: ----- MAC Header -----
MAC:
MAC: Destination Address : 01 00 5E 00 00 02
MAC: Source Address      : 00 11 22 33 44 55
MAC:
VLAN: ----- VLAN Header -----
VLAN:
VLAN: Tag Protocol Identifier   = 0x8100
VLAN: Tag Control Information   = 0x01A4
VLAN: User Priority              = 0
VLAN: Canonical Format Indicator = 0
VLAN: VLAN Identifier           = 420 (0x1A4)
VLAN: Type                      = 0x0800 (Ethernet II)
VLAN:
IP: ----- IP Header -----
IP:
IP: Version                    = 04 (0x04)
IP: Header Length              = 20 (0x14)
IP: Type of Service            = 00 (0x00)
IP:                            000..... = Routine
IP:                            ...0.... = Normal Delay
IP:                            ....0... = Normal Throughput
IP:                            .....0.. = Normal Reliability
IP:                            .....0.  = Normal Cost
IP:                            .....0   = Reserved
IP: Total Length               = 28 (0x001C)
IP: Identification            = 0 (0x0000)
IP: Flags Bit1 .0. May Fragment
IP: Flags Bit2 ..0 Last Fragment
IP: Fragment Offset           = 0
IP: Time to Live               = 64 (0x40)
IP: Protocol                   = IGMP
IP: Checksum                   = 0x84DA
IP: Source Address             = 20.1.2.3
IP: Destination Address       = 224.0.0.2
IP:
IGMP: ----- IGMP Header -----
IGMP:
IGMP: Version                  = 2 (0x2)
IGMP: Type                     = Leave Group (0x17)
IGMP: Max Response Time       = 100 (0x64)
IGMP: Checksum                 = 0x 697
IGMP: Group                    = 224.1.2.3
IGMP:

```

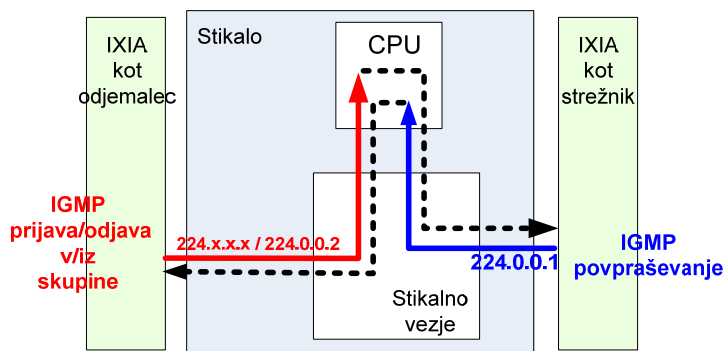
Slika 44: IGMP odjavno sporočilo.



Slika 45: Prikaz potovanja paketov IGMP– query, join.

Št. paketov / sekundo	Obremenitev CPU pri OS2 neopt.	Obremenitev CPU pri OS2 opt.	Obremenitev CPU pri OS1
300	57%	49%	55%
400	73%	61%	72%
500	89%	75%	87%
550	96%	81%	95%
600	100%	88%	100%
650		94%	
700		100%	

Tabela 16: Obremenjenost procesne enote pri IGMP – query, join.

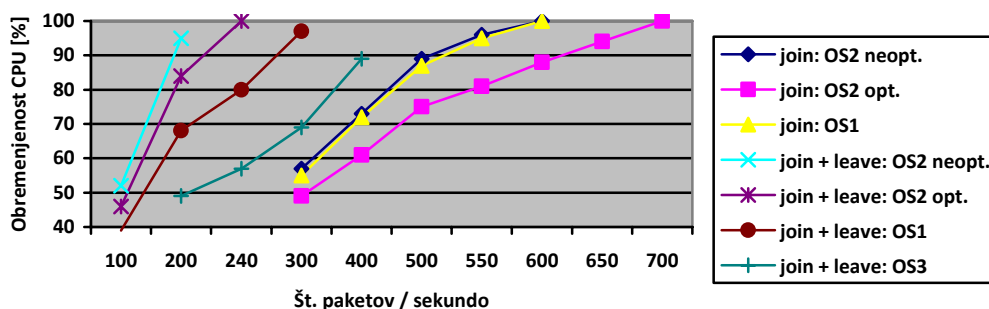


Slika 46: Prikaz potovanja paketov IGMP– query, leave, join.

Št. paketov / sekundo	Obremenitev CPU pri OS2 neopt.	Obremenitev CPU pri OS2 opt.	Obremenitev CPU pri OS1	Obremenitev CPU pri OS3
100	52%	46%	39%	
150	74%	66%	53%	
200	95%	84%	68%	49%
240		100%	80%	57%
300			97%	69%
400				89%
450				100%

Tabela 17: Obremenjenost procesne enote pri IGMP takojšnja odjava – query, leave, join.

Graf 2 prikazuje tabeli 16 in 17.



Graf 2: Obremenjenost procesne enote pri IGMP.

Primerjava prvega in drugega testa pokaže veliko razliko v številu obdelanih paketov na sekundo. To je posledica tega, da med obdelovanjem IGMP procesna enota piše svojo tabelo in pri prijavnem sporočilu odjemalce le dodaja, medtem ko mora pri odjavnem pravega odjemalca najti in ga izbrisati iz tabele.

5.2.3 Testiranje zmogljivosti pri posredovalnem agentu DHCP

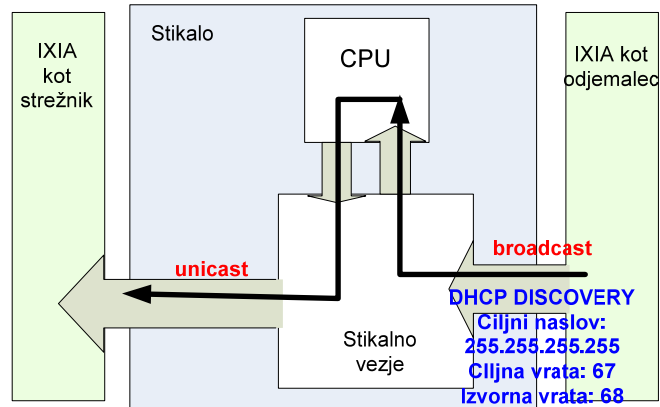
Testiranja posredovalnega agenta DHCP sem se lotila na podoben način kot IGMP.

Seja DHCP sestoji iz štirih paketov (glej podpoglavje 4.2): povpraševanje, ponudba, zahteva, potrditev. Dva potujeta od odjemalca k strežniku, dva pa v obratni smeri.

Testni paketi DHCP so bili velikosti 590 bajtov.

Najprej sem preizkusila prepustnost paketov in obremenjenost procesne enote samo s paketom DHCP povpraševanja (angl. discovery), tako kot sem pri testiranju IGMP najprej preizkusila obremenjenost samo s prijavnim sporočilom. Izvedeni test prikazuje [Slika 47](#).

Ko sem naredila pakete DHCP povpraševanja, ki jih prikazuje [Slika 48](#), jih je procesna enota spustila skozi le 50 ali pa 100, odvisno od stikala, kar prikazujeta [Tabela 18](#) in [Graf 3](#), tako da obremenjenosti procesne enote nisem mogla izmeriti. Omejitev prepustnosti paketov DHCP je nastavljena v programski kodi in bi jo bilo za testiranje potrebno umakniti.



Slika 47: Prikaz potovanja paketa DHCP povpraševanja.

```

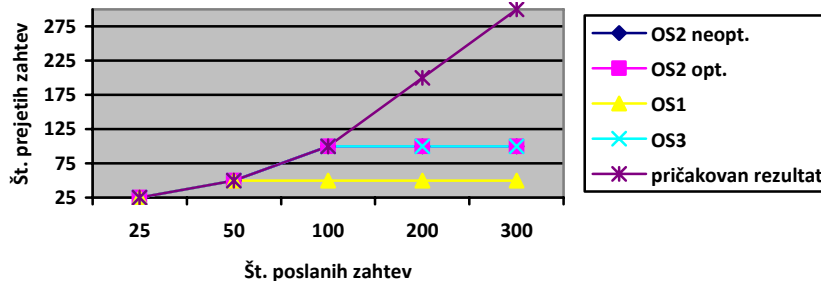
MAC: ----- MAC Header -----
MAC:
MAC: Destination Address : FF FF FF FF FF FF
MAC: Source Address      : 00 11 22 33 44 55
MAC:
VLAN: ----- VLAN Header -----
VLAN:
VLAN: Tag Protocol Identifier   = 0x8100
VLAN: Tag Control Information   = 0x01A4
VLAN: User Priority             = 0
VLAN: Canonical Format Indicator = 0
VLAN: VLAN Identifier          = 420 (0x1A4)
VLAN: Type                     = 0x0800 (Ethernet II)
VLAN:
IP: ----- IP Header -----
IP:
IP: Version                    = 04 (0x04)
IP: Header Length              = 20 (0x14)
IP: Type of Service            = 00 (0x00)
IP:
IP: 000.....                 = Routine
IP: ...0....                  = Normal Delay
IP: ....0...                  = Normal Throughput
IP: .....0.                  = Normal Reliability
IP: .....0.                  = Normal Cost
IP: .....0.                  = Reserved
IP: Total Length               = 294 (0x0126)
IP: Identification            = 0 (0x0000)
IP: Flags Bit1 .0. May Fragment
IP: Flags Bit2 ..0 Last Fragment
IP: Fragment Offset           = 0
IP: Time to Live               = 64 (0x40)
IP: Protocol                   = UDP
IP: Checksum                   = 0x79CB
IP: Source Address             = 0.0.0.0
IP: Destination Address       = 255.255.255.255
IP:
UDP: ----- UDP Header -----
UDP:
UDP: Source Port               = 68 (0x0044)
UDP: Destination Port         = 67 (0x0043)
UDP: Length                    = 274 (0x0112)
UDP: Checksum                  = 1976B (0x4D3B)
UDP:
DHCP: ----- DHCP Header -----
DHCP:
DHCP: Op code                  = 1 (0x1) Boot Request
DHCP: Hardware Type            = 1 (0x1) Ethernet (10Mb)
DHCP: Hardware Address Length  = 6 (0x6)
DHCP: Hops                     = 0 (0x0)
DHCP: Transaction ID           = 1376713846 (0x522d80f6)
DHCP: Seconds                  = 0 (0x0)
DHCP: Flags                    = 32768 (0x8000) Broadcast
DHCP: Client IP Address        = 0.0.0.0
DHCP: Your IP Address          = 0.0.0.0
DHCP: Server IP Address        = 0.0.0.0
DHCP: Relay IP Address         = 0.0.0.0
DHCP: Client Ethernet Address = 00 11 22 33 44 55
DHCP: Server Host Name         = <Blank>
DHCP: Boot File Name           = <Blank>
DHCP: Magic Cookie             = <OK>
DHCP: ----- Options -----
DHCP: 053 DHCP Message Type = 1 Discover
DHCP: 057 DHCP Max Message Size = 590
DHCP: 060 Class Identifier = 31 33 33 32 32 45 58
DHCP: 000 Pad
DHCP: Option 'End of DHCP options (0xFF)' not found
DHCP:

```

Slika 48: DHCP povpraševanje.

Št. paketov / sekundo	Št. izgubljenih paketov pri OS2 neopt.	Št. izgubljenih paketov pri OS2 opt.	Št. izgubljenih paketov pri OS1	Št. izgubljenih paketov pri OS3
50	0	0	0	0
100	0	0	50	0
200	100	100	150	100
300	200	200	250	200

Tabela 18: Prepustnost zahtev DHCP skozi procesno enoto.



Graf 3: Primerjava poslanih in prejetih zahtev DHCP.

5.2.4 Testiranje zmogljivosti pri PPPoE s posredovalnim agentom

Testiranje zmogljivosti pri PPPoE s posredovalnim agentom sem se lotila na podoben način kot IGMP.

Seja PPPoE sestoji iz 5 paketov (glej podpoglavje 4.3): PADI, PADO, PADR, PADS in PADT. Trije potujejo od odjemalca k strežniku, dva pa v obratni smeri.

Testni paketi PPPoE so bili velikosti 68 bajtov.

Najprej sem preizkusila prepustnost paketov in obremenjenost procesne enote samo s paketom PADI, ki ga prikazuje [Slika 49](#), tako kot sem pri testiranju IGMP najprej preizkusila obremenjenost samo s prijavnim sporočilom. Izvedeni test prikazuje [Slika 50](#).

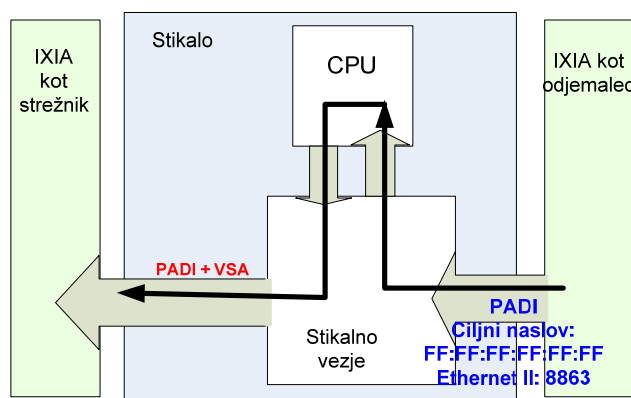
Na OS1 funkcija PPPoE IA še ni implementirana, zato sem testiranje opravila samo na OS2 in OS3. Tudi tu sem naletela na podobne težave kot pri paketih DHCP saj je procesna enota prepuščala skozi samo 100 paketov, kar prikazujeta [Tabela 19](#) in [Graf 4](#). Omejitev prepustnosti paketov PPPoE je nastavljena v programski kodi in bi jo bilo za testiranje potrebno umakniti.

```

MAC: ----- MAC Header -----
MAC:
MAC: Destination Address : FF FF FF FF FF FF
MAC: Source Address      : 00 02 05 01 01 01
MAC:
VLAN: ----- VLAN Header -----
VLAN:
VLAN: Tag Protocol Identifier      = 0x8100
VLAN: Tag Control Information     = 0x01A4
VLAN: User Priority                = 0
VLAN: Canonical Format Indicator   = 0
VLAN: VLAN Identifier             = 420 (0x1A4)
VLAN: Type                        = 0x8863 (Ethernet II)
VLAN:

```

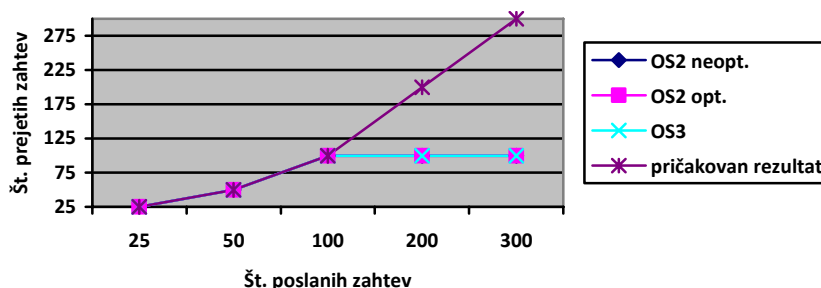
Slika 49: Paket PADI.



Slika 50: Prikaz potovanja paketa PADI.

Št. paketov / sekundo	Št. izgubljenih paketov pri OS2 neopt.	Št. izgubljenih paketov pri OS2 opt.	Št. izgubljenih paketov pri OS3
50	0	0	0
100	0	0	0
200	100	100	100
300	200	200	200

Tabela 19: Prepustnost zahtev PADI skozi procesno enoto.



Graf 4: Primerjava poslanih in prejetih zahtev PADI.

5.2.5 Testiranje zmogljivosti pri paketih BPDU

STP in RSTP sestojita iz 3 paketov (glej podpoglavje 4.4): konfiguracijski BPDU, TCN in TCA. TCN paket se od konfiguracijskega razlikuje v postavljeni zastavici TC, ki pomeni objavo za spremembo topologije.

Testni paketi BPDU so bili velikosti 68 bajtov.

Prvi test sem naredila s konfiguracijskim STP paketom, ki ga prikazuje Slika 51. Meritve obremenitve procesne enote prikazuje Tabela 20.

Pri drugem testu sem izmenjujoče pošiljala konfiguracijski STP in TCN STP paket. Meritve obremenitve procesne enote prikazuje Tabela 21.

Tretji test sem naredila s konfiguracijskim RSTP paketom, ki ga prikazuje Slika 52. Meritve obremenitve procesne enote prikazuje Tabela 22.

Pri četrtem testu sem izmenjujoče pošiljala konfiguracijski RSTP in TCN RSTP paket. Meritve obremenitve procesne enote prikazuje Tabela 23.

Izvedene teste prikazuje Slika 53.

```

MAC: ----- MAC Header -----
MAC:
MAC: Destination Address : 01 80 C2 00 00 00
MAC: Source Address      : 00 D0 50 51 F1 33
MAC:
VLAN: ----- VLAN Header -----
VLAN:
VLAN: Tag Protocol Identifier = 0x8100
VLAN: Tag Control Information = 0x01A4
VLAN: User Priority           = 0
VLAN: Canonical Format Indicator = 0
VLAN: VLAN Identifier        = 420 (0x1A4)
VLAN:
802.3: ----- Length/Type -----
802.3:
802.3: Data Length          = 38
802.3:

```

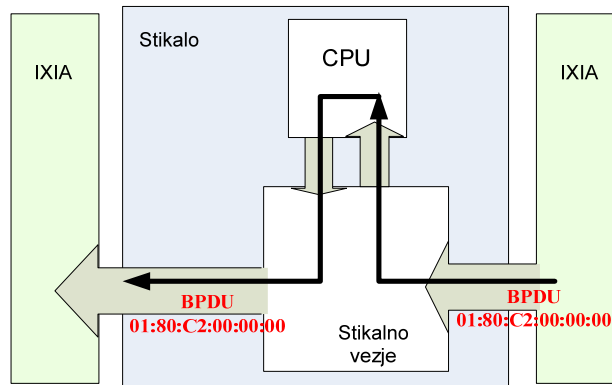
Slika 51: Paket STP.

```

MAC: ----- MAC Header -----
MAC:
MAC: Destination Address : 01 80 C2 00 00 00
MAC: Source Address      : 00 D0 50 51 F1 33
MAC:
VLAN: ----- VLAN Header -----
VLAN:
VLAN: Tag Protocol Identifier = 0x8100
VLAN: Tag Control Information = 0x01A4
VLAN: User Priority           = 0
VLAN: Canonical Format Indicator = 0
VLAN: VLAN Identifier        = 420 (0x1A4)
VLAN:
802.3: ----- Length/Type -----
802.3:
802.3: Data Length          = 105
802.3:

```

Slika 52: Paket RSTP.



Slika 53: Prikaz potovanja paketov BPDU.

Št. paketov / sekundo	Obremenitev CPU pri OS2 neopt.	Obremenitev CPU pri OS2 opt.	Obremenitev CPU pri OS1
300	71%	42%	87%
400	91%	52%	90%
500	100%	61%	92%
700		82%	98%
750		87%	
900		99%	

Tabela 20: Obremenjenost procesne enote pri konfiguracijskih STP paketih.

Št. paketov / sekundo	Obremenitev CPU pri OS2 neopt.	Obremenitev CPU pri OS2 opt.	Obremenitev CPU pri OS1	Obremenitev CPU pri OS3
100	95%	85%		86%
200	97%	93%		93%
300	100%	98%	89%	97%
400			92%	
500			94%	
700			99%	

Tabela 21: Obremenjenost procesne enote pri konfiguracijskih STP in TCN STP paketih.

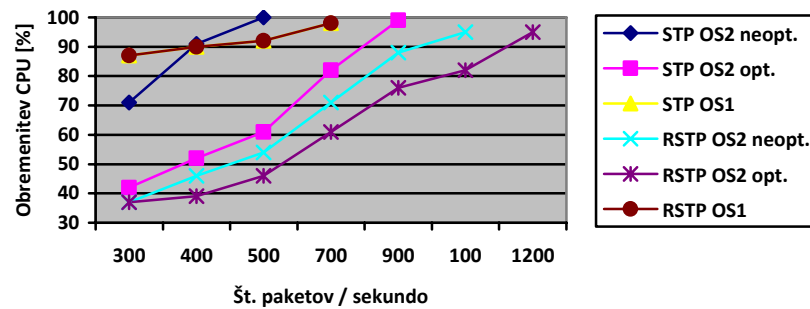
Št. paketov / sekundo	Obremenitev CPU pri OS2 neopt.	Obremenitev CPU pri OS2 opt.	Obremenitev CPU pri OS1
300	37%	37%	87%
400	46%	39%	90%
500	54%	46%	92%
700	71%	61%	98%
900	88%	76%	
1000	95%	82%	
1200		95%	

Tabela 22: Obremenjenost procesne enote pri konfiguracijskih RSTP paketih.

Št. paketov / sekundo	Obremenitev CPU pri OS2 neopt.	Obremenitev CPU pri OS2 opt.	Obremenitev CPU pri OS1	Obremenitev CPU pri OS3
100	82%	82%		83%
200	88%	90%		88%
300	92%	92%	88%	90%
400	96%	96%	91%	98%
500			93%	
700			98%	

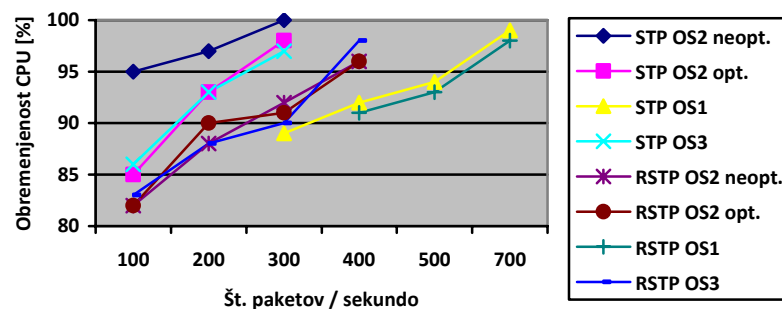
Tabela 23: Obremenjenost procesne enote pri konfiguracijskih RSTP in TCN RSTP paketih.

Prvi in tretji test prikazuje [Graf 5](#).



Graf 5: Obremenjenost procesne enote pri konfiguracijskih BPDU paketih - prvi in tretji test.

Drugi in četrti test prikazuje [Graf 6](#).



Graf 6: Obremenjenost procesne enote pri konfiguracijskih in TCN BPDU paketih - drugi in četrti test.

Grafa 5 in 6 pokažeta, da je protokol RSTP v primerjavi z STP veliko hitrejši in obdela veliko več paketov.

Primerjava grafa 5 in 6 pokaže, da nastane velika razlika v številu obdelanih paketov na sekundo. To se zgodi, ker paketi TCN povzročijo popraviljanje obstoječe STP oz. RSTP tabele.

Iz grafa 6 je razvidno, da je OS1 pri testiranju s konfiguracijskimi in TCN paketi skoraj dvakrat boljši od vseh ostalih omrežnih stikal. Pri testiranju omrežnih stikal brez paketov TCN pa je OS1 približno dvakrat slabši od ostalih stikal, kar je razvidno iz grafa 5.

6 Povzetki in ugotovitve

V diplomski nalogi sem izpostavila naslednja ozka grla in omejitve pri uporabi in postavitvi omrežnih stikal:

- visoka občutljivost kablov UTP na elektromagnetne motnje; za razliko od UTP so optični kabli na elektromagnetne motnje praktično neobčutljivi; posledično imajo optični kabli precej manjšo izgubo signala kot kabli UTP;
- ob prekinitvi povezave v omrežju s topologijo verige ali obroča je omrežje nedostopno za vse naprave priključene vanj; ob prekinitvi povezave v omrežju s topologijo zvezde se to ne zgodi in omrežje je dostopno za vse naprave razen za napravo s prekinjeno povezavo.

Za testirana omrežna stikala sem določila potrebno velikost tabele MAC in potrebno število navideznih lokalnih omrežij (VLAN-ov). Ugotovila sem, da je pasovna širina povezovalnega vmesnika 1 Gb/s dovolj velika za trenutno stanje na trgu in da je stikalno vezje omrežnega stikala dovolj zmogljivo tudi pri največjih obremenitvah omrežnih stikal. Opredelila sem tudi, kje se v omrežju splača postaviti stikala delujoča na drugem in tretjem nivoju in zakaj ravno tam.

6.1 Navadni, IGMP in BPDU paketi

Pričakovala sem, da so eno izmed ozkih grl stikala vhodna vrata procesne enote. Toda ta pri OS1 in OS2 prepuščajo skozi okoli 1.600 paketov, pri OS3 pa celo 3.000 paketov na sekundo, kar je dovolj za trenutno sposobnost procesne enote za obdelavo prihajajočih paketov.

Pri protokolu IGMP procesna enota na OS1 in OS2 lahko obdela okoli 250 paketov na sekundo. Pri največji obremenitvi se pričakuje prihod in obdelavo 1.530 paketov na sekundo, kar pomeni, da mora uporabnik televizije v najslabšem primeru na preklon programa čakati kar 6 sekund. Na OS3 se obdela 450 IGMP paketov na sekundo, kar je skoraj dvakrat več kot na OS1 in OS2. Tu je potrebno v najslabšem primeru na preklon programa čakati približno pol manj, okoli 3 sekunde.

Zmogljivostna zahteva za izmenjavo paketov BPDU preko omrežnega stikala je okoli 200 paketov na sekundo. Vsa omrežna stikala so to zahtevo preseгла, v povprečju sem izmerila izmenjavo 400 BPDU paketov na sekundo. Ker stikala s paketi BPDU sporočajo svoje stanje v omrežju, imajo vedno osveženo tabelo stanj za posredovanje paketov.

6.2 DHCP Relay Agent in PPPoE IA

Pri testiranju omrežnih stikal s protokoloma DHCP Relay Agent in PPPoE IA nisem mogla izmeriti največjo obremenitev procesne enote. Stikalno vezje tu procesni enoti posreduje največ 50 oz. 100 paketov, ostale pa zavrže. Ta omejitev je nastavljena v programski kodi in bi jo bilo za testiranje potrebno odstraniti.

Pri DHCP Relay Agent procesna enota na sekundo lahko obdela 100 paketov. V najslabšem primeru se pričakuje 1.600 DHCP sporočil na sekundo, kar pomeni, da bo uporabnik za dodelitev naslova IP moral čakati največ 16 sekund. Pri OS1 se ta čas podvoji, saj se na

sekundo obdela le 50 paketov. Čakalni čas tu ne predstavlja velikega problema, saj do najslabšega primera pride le ob redkih primerih, npr. ob izpadu toka.

Protokol PPPoE IA sem testirala na OS2 in OS3. Ti dve omrežni stikali lahko čez Ethernet s protokolom PPPoE IA vzpostavita le 100 povezav na sekundo. Tudi tu čakalni čas ne predstavlja velikega problema, saj je prijava v omrežja (npr. povezava na Internet) navadno potrebna le enkrat.

6.3 Predlogi za optimizacijo omrežnih stikal

1. Prihajajoči paketi se shranjujejo v RAM. Vsak dostop do paketa v RAM-u porabi nekaj časa. Vsaka funkcija posebej dostopa do paketa v RAM-u, ga obdela in shrani nazaj. To je časovno zelo potratno, zato bi bilo potrebno zmanjšati število dostopov do RAM-a.
2. Za protokola DHCP in PPPoE je potrebno ugotoviti, kje je postavljena omejitev prenosa paketov na sekundo. Omejitev bi bilo potrebno odstraniti.
3. Pogledati bi bilo treba programsko kodo OS1 in ugotoviti, zakaj to stikalo zmore obdelati skoraj dvakrat več STP in RSTP paketov kot pa OS2 in OS3.
4. Med testiranjem bi bilo potrebno spremljati procese, ki tečejo v ozadju, in ugotoviti koliko bremenijo procesno enoto. Tako bi lahko okvirno vedeli, kateri del programske kode je potrebno optimizirati.

Dodatek A: Seznam grafov in slik

Graf 1: Obremenjenost procesne enote pri paketih velikosti 512 bajtov.	45
Graf 2: Obremenjenost procesne enote pri IGMP.	48
Graf 3: Primerjava poslanih in prejetih zahtev DHCP.	50
Graf 4: Primerjava poslanih in prejetih zahtev PADI.	51
Graf 5: Obremenjenost procesne enote pri konfiguracijskih BPDU paketih - prvi in tretji test.	53
Graf 6: Obremenjenost procesne enote pri konfiguracijskih in TCN BPDU paketih - drugi in četrti test.	53
Slika 1: Omrežno stikalo.	11
Slika 2: Primerjava nivojev omrežnih modelov ISO/OSI in TCP/IP. (<i>vir: [5]</i>).....	11
Slika 3: Potek komunikacije med dvema računalnikoma.....	12
Slika 4: Vsak nivo podatkovnemu okviru pripne še svoje zaglavje. (<i>vir: [5]</i>)	12
Slika 5: Delovanje ponavljalnika - naprava 3 pošlje podatek napravi 5.	13
Slika 6: Pošiljanje podatka po vodilu.	13
Slika 7: Pošiljanje podatka po obroču.	14
Slika 8: Pošiljanje podatka v zvezdi. (<i>vir: [2]</i>)	14
Slika 9: Tipi prometa.	15
Slika 10: Stikalo posreduje podatke iz vodila 1 na vodilo 2.	16
Slika 11: Primer iskanja drevesa.	16
Slika 12: Primer ločenih zasebnih omrežij, ki so povezana preko usmerjevalnika.....	17
Slika 13: Proces časovne uskladitve ali tristransko rokovanje. (<i>vir: [5]</i>)	18
Slika 14: Koaksialni, UTP in optični kabel. (<i>vir: Google slike</i>).....	18
Slika 15: N-člen. (<i>vir: Google slike</i>)	19
Slika 16: Vampiriska naprava. (<i>vir: Google slike</i>)	19
Slika 17: T-člen in BCN-priključek. (<i>vir: Google slike</i>)	20
Slika 18: Ožičenje UTP. (<i>vir: Google slike</i>).....	20
Slika 19: RJ-45 v primerjavi z RJ-11. (<i>vir: Google slike</i>).....	21
Slika 20: Komponente RJ-45.....	21
Slika 21: Steklena vlakna. (<i>vir: Google slike</i>).....	21
Slika 22: SFP v primerjavi z modulom GBIC. (<i>vir: Google slike</i>)	22
Slika 23: LC vmesnik. (<i>vir: Google slike</i>).....	22
Slika 24: DFB laserji. (<i>vir: Google slike</i>).....	22
Slika 25: Omrežje s tipičnimi vozlišči.....	23
Slika 26: Postavitev omrežnega stikala v omrežje pri storitvah Triple play.	25
Slika 27: Postavitev stikal na drugem in tretjem nivoju v omrežje.....	26
Slika 28: LACP protokol.	28
Slika 29: Ločevanje prometa z navideznimi lokalnimi omrežji.....	30
Slika 30: Model VLAN per user.	30
Slika 31: Model VLAN per service.....	30
Slika 32: IGMP verzija 1.....	34
Slika 33: IGMP verzija 2.....	34
Slika 34: DHCP seja.....	36
Slika 35: Primerjava med DHCP in posredovalnim agentom DHCP.	37
Slika 36: Protokol točka v točko preko Etherneta.	38
Slika 37: PPPoE s posredovalnim agentom.....	38
Slika 38: Pri uporabi protokola RSTP redundantna povezava ni aktivna.	40
Slika 39: Vezava naprav Ixia v marjetično verigo.	41

Slika 40: Informacije, ki jih gledajo filtri	43
Slika 41: Shema za testiranje zmogljivosti vhodnih vrat na procesni enoti.....	44
Slika 42: IGMP povpraševanje	46
Slika 43: IGMP prijavno sporočilo	46
Slika 44: IGMP odjavno sporočilo.....	47
Slika 45: Prikaz potovanja paketov IGMP– query, join	47
Slika 46: Prikaz potovanja paketov IGMP– query, leave, join	48
Slika 47: Prikaz potovanja paketa DHCP povpraševanja	49
Slika 48: DHCP povpraševanje.....	49
Slika 49: Paket PADI	50
Slika 50: Prikaz potovanja paketa PADI.....	51
Slika 51: Paket STP	52
Slika 52: Paket RSTP.....	52
Slika 53: Prikaz potovanja paketov BPDU	52

Dodatek B: Seznam tabel

Tabela 1: Analiza parametrov kvalitete storitev, ki pomaga pri izgradnji omrežja.....	5
Tabela 2: Kriteriji za izbiro tehnike vrednotenja	9
Tabela 3: Delež naročnikov na storitve.....	27
Tabela 4: Poraba pasovne širine za storitve.....	27
Tabela 5: Izračun potrebne pasovne širine za stikalo v vlogi dostopnega vozlišča s 500 naročniki.....	28
Tabela 6: Izračun potrebne pasovne širine za stikalo v vlogi agregacijskega vozlišča z 2.000 naročniki.....	28
Tabela 7: Prepustnost paketov pri Fast Ethernetu (100 Mb/s).....	29
Tabela 8: Prepustnost paketov pri Gigabit Ethernetu (1.000 Mb/s)	29
Tabela 9: Izračun potrebne velikosti tabele MAC za stikalo v vlogi dostopnega vozlišča za 500 naročnikov.....	31
Tabela 10: Izračun potrebne velikosti tabele MAC za stikalo v vlogi agregacijskega vozlišča za 2.000 naročnikov	31
Tabela 11: Lastnosti STP in RSTP stanj stikala	40
Tabela 12: Obremenjenost procesne enote OS1 med sprejemanjem paketov	44
Tabela 13: Obremenjenost procesne enote optimiziranega OS2 med sprejemanjem paketov	44
Tabela 14: Obremenjenost procesne enote neoptimiziranega OS2 med sprejemanjem paketov	44
Tabela 15: Obremenjenost procesne enote OS3 med sprejemanjem paketov	44
Tabela 16: Obremenjenost procesne enote pri IGMP – query, join.....	47
Tabela 17: Obremenjenost procesne enote pri IGMP takojšnja odjava – query, leave, join	48
Tabela 18: Prepustnost zahtev DHCP skozi procesno enoto	50
Tabela 19: Prepustnost zahtev PADI skozi procesno enoto	51
Tabela 20: Obremenjenost procesne enote pri konfiguracijskih STP paketih	52
Tabela 21: Obremenjenost procesne enote pri konfiguracijskih STP in TCN STP paketih	52
Tabela 22: Obremenjenost procesne enote pri konfiguracijskih RSTP paketih	53
Tabela 23: Obremenjenost procesne enote pri konfiguracijskih RSTP in TCN RSTP paketih	53

Seznam uporabljene literature in virov

KNJIGE

- [1] R. Jain, *The Art Of Computer Systems Performance Analysis*,
New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991, pogl. 1-7
- [2] W. Stallings, *Data And Computer Communications*,
New Jersey: Upper Saddle River, 1997

ČLANKI (Internet naslovi dostopni v času pisanja diplomskega dela, november 2008 - februar 2009)

- [3] J. Koren, "Ethernet", *Slo-tech*, junij 2002
Dostopno na: <http://slo-tech.com/clanki/net01/net01.shtml>
- [4] J. Mele, "Omrežni dom", *Moj Mikro*, str. 22-30, november 2008
- [5] E. Strosar, "Vohljati et(h)er(net) in preživeti", *Monitor*, arhiv februar 2007
Dostopno na: <http://www.monitor.si/clanek/vohljati-et-h-er-net-in-preziveti/>
- [6] P. Šepetavc, "Ko se računalniki pogovarjajo med seboj", *Monitor*, arhiv januar 2004
Dostopno na: <http://www.monitor.si/clanek/ko-se-racunalniki-pogovarjajo-med-seboj/>

SPLETNE STRANI (Internet naslovi dostopni v času pisanja diplomskega dela, november 2008 - februar 2009)

- [7] Benchmarking, testni programi. Dostopno na:
[http://en.wikipedia.org/wiki/Benchmark_\(computing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Benchmark_(computing))
- [8] Stikalo. Dostopno na:
http://en.wikipedia.org/wiki/Network_switch,
http://sl.wikipedia.org/wiki/Omre%C5%BEno_stikalo
- [9] MAC. Dostopno na:
http://en.wikipedia.org/wiki/MAC_Address
- [10] NAT. Dostopno na:
http://en.wikipedia.org/wiki/Network_address_translation
- [11] Ethernet in optika. Dostopno na:
<http://en.wikipedia.org/wiki/10BASE2>
<http://en.wikipedia.org/wiki/10BASE5>
http://en.wikipedia.org/wiki/Coaxial_cable
http://en.wikipedia.org/wiki/Fast_Ethernet
http://en.wikipedia.org/wiki/Gigabit_Ethernet
<http://en.wikipedia.org/wiki/RJ45>
http://en.wikipedia.org/wiki/SFP_transceiver
<http://www.seipro.si/trgovina/default.asp?action=vsebina&ID=15&kat=16#>
- [12] Protokoli za testiranje procesne enote. Dostopno na:
http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Host_Configuration_Protocol
http://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Group_Management_Protocol
http://en.wikipedia.org/wiki/Point-to-Point_Protocol_over_Ethernet
http://en.wikipedia.org/wiki/Spanning_tree_protocol

<http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/lan/trsr2/frames.htm#29688>

<http://www.ehsco.com/reading/19990517ncw1.html>

<http://www.javvin.com/protocolIGMP.html>

<http://www.networksorcery.com/enp/protocol/igmp.htm>

[13] Ixia priročniki. Dostopno na:

<http://www.ixiacom.com/>