



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ZEFEKTIVNĚNÍ ANALÝZY POČÍTAČOVÉ SÍŤE 10GBIT/S

PERFECTING THE ANALYSIS OF 10GBIT/S COMPUTER NETWORK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ ŤÁPAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VLADISLAV ŠKORPIL, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Tomáš Ťápal

ID: 119641

Ročník: 2

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Zefektivnění analýzy počítačové sítě 10Gbit/s

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s vlastnostmi počítačové sítě 10Gbit/s a s rozdíly proti sítím pomalejšími. Pro účely zefektivnění analýzy počítačové sítě 10Gbit/s využijte zátěžový generátor provozu IXIA a analyzátor provozu Endace, které jsou pro účely analýzy k dispozici. Dále se seznamte s doporučeními RFC, které se vztahují k zátěžovému testování aktivních síťových prvků pracujících na 10GBase-LR Ethernetu s protokolovou sadou TCP/IP. Zaměřte se na testování výkonnosti přepínačů a směrovačů. S využitím generátoru IXIA a analyzátoru Endace proměřte parametry vývojových karet COMBO FPGA. V jazyce Visual Basic a programu Excel 2010 vytvořte makra pro grafickou vizualizaci výsledků měření. K oběma analyzátorům připravte dokumentaci, podle které je bude možné v podmínkách laboratoře efektivně využívat.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PUŽMANOVÁ, R. Moderní komunikační sítě A-Z. Computer Press, Brno 2007.

[2] IXIA Company, Ixia Analyzer Manual, Maidenhead UK, 2012

[3] ENDACE Company, Endace Analyser Manual, Berkshire UK, 2012

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 29.5.2013

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Výzkum popsáný v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Abstrakt

Tato diplomová práce se skládá z několika částí. Popisuje technologii desetigigabitového Ethernetu. Představuje analyzátory Ixia a Endace, především jejich využití pro analýzu provozu a zátěžového testování síťových prvků. Zabývá se doporučeními RFC, týkající se testování směrovačů a přepínačů. Obsahuje výsledky testů přepínačů a směrovače provedených dle doporučení RFC 2544 a RFC 2889. Část práce je věnována kartám COMBO FPGA. V rámci této práce je také vytvořena dokumentace k analyzátorům a CD obsahuje makro programu Microsoft Excel pro prezentaci výsledků měření.

Abstrakt

The master's thesis consists of several parts. Describes the technology 10 Gbps Ethernet. Analyzer Ixia and Endace presents, especially their use for traffic analysis and stress testing the network devices. It deals with documents RFC concerning the routers and switch testing. Thesis includes the reports of tests switches and router performed by RFC 2544 and RFC 2889 documents. Part of the thesis is dedicated to COMBO FPGA cards. Documentations to the analyzers is created in this thesis and macro is on the CD for presentation of measurement results.

Klíčová slova

analýza, desetigigabitový Ethernet, Ixia, Endace, COMBO FPGA, RFC 2544, RFC 2889, zátěžové testování, výkonnostní parametry, makro, Excel

Keywords

analysis, 10 Gigabit Ethernet, Ixia, Endace, COMBO FPGA, RFC 2544, RFC 2889, stress testing, performance metrics, macro, Excel

ŽÁPAL, T. *Zefektivnění analýzy počítačové sítě 10Gbit/s*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 69 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Zefektivnění analýzy počítačové sítě 10Gbit/s“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 27. května 2013

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Vladislavovi Škorpilovi, CSc. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce. Také děkuji Ing. Michalovi Polívkovi za cenné rady k diplomové práci.

V Brně dne 27. května 2013

.....
podpis autora

OBSAH

1	DESETIGIGABITOVÝ ETHERNET	13
1.1	Linková vrstva.....	13
1.2	Fyzická vrstva.....	13
1.3	Standardy pro optickou kabeláž.....	16
1.4	Standardy pro metalickou kabeláž.....	17
2	ZÁTĚŽOVÉ TESTOVÁNÍ SÍŤOVÝCH PRVKŮ.....	18
2.1	Pracovní skupina Benchmarking Methodology.....	18
2.1.1	RFC 1242.....	18
2.1.2	RFC 1944.....	18
2.1.3	RFC 2544.....	18
2.1.4	RFC 2889.....	22
2.1.5	RFC 3511.....	25
2.2	Pracovní skupina IP Performance Metrics	26
2.3	Y.1564.....	26
2.4	Specifika testování 10 GbE	28
3	GENERÁTOR PROVOZU IXIA.....	32
3.1	IxExplorer	32
3.1.1	Ukázka měření zpoždění	33
3.2	IxAutomate.....	34
4	ANALYZÁTOR PROVOZU ENDACE	35
4.1	Architektura	36
4.2	Zapojení analyzátoru do sítě	37
4.2.1	Pomocí optického rozbočovače	37
4.2.2	Pomocí přepínače a zrcadlení provozu	38
4.3	Analýza provozu sítě	39
5	ZÁTĚŽOVÉ TESTY	44
5.1	Výkonnostní parametry přepínačů.....	44
5.1.1	Výsledky měření	45
5.2	Porovnání metod přeposílání paketů.....	50
5.2.1	Výsledky měření	53
5.2.2	Závěr.....	55

6	KARTY COMBO FPGA	56
6.1	Úvod	56
6.2	Konfigurace	57
6.3	Měření	58
7	PREZENTACE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	59
8	ZÁVĚR	62
9	POUŽITÁ LITERATURA.....	63
10	SEZNAM ZKRATEK	66
11	OBSAH CD	69

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Podvrstvy fyzické a linkové vrstvy technologie 10GbE	14
Obrázek 2: Typy transceiverů.....	15
Obrázek 3: Generátor provozu Ixia	32
Obrázek 4: Souhrn nastavení generovaného provozu	33
Obrázek 5: Analyzátor Endace	35
Obrázek 6: Architektura analyzátoru	36
Obrázek 7: Příklad zapojení analyzátoru prostřednictvím optického rozbočovače.....	38
Obrázek 8: Příklad připojení analyzátoru k přepínači.....	39
Obrázek 9: Zapojení analyzátoru k přepínači	40
Obrázek 10: Vytvoření Rotation File	41
Obrázek 11: Nastavení datové roury	41
Obrázek 12: Záznam zachyceného provozu.....	41
Obrázek 13: Graf šířky pásma zachyceného provozu v závislosti na čase	42
Obrázek 14: Analýza složení zachyceného provozu z hlediska protokolu.....	42
Obrázek 15: Analýza složení zachyceného provozu z hlediska MPLS návěští.....	42
Obrázek 16: Analýza zachyceného provozu v programu Wireshark.....	43
Obrázek 17: Zapojení testovaných přepínačů k analyzátoru	44
Obrázek 18: Zapojení směrovače k analyzátoru Ixia.....	52
Obrázek 19: Porovnání propustnosti dle metody přeposílání paketů.....	53
Obrázek 20: Porovnání zpoždění dle metody přeposílání paketů	54
Obrázek 21: Zjednodušené blokové schéma NetCOPE	56
Obrázek 22: Zapojení analyzátoru k serveru obsahující COMBO FPGA kartu	58
Obrázek 23: Vzhled úvodního listu	59

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Přehled standardů 10 GbE pro optickou kabeláž	16
Tabulka 2: Možné přenosové rychlosti při konstantní délce rámce 64 B	29
Tabulka 3: Maximální šířka pásma při mezirámcové mezeře 12 B	30
Tabulka 4: Rozdíl maximální šířky pásma v závislosti na DIC a délce rámce.....	30
Tabulka 5: Příklady nestandardních délek rámců vhodných pro zátěžové testování	31
Tabulka 6: Upravený výstup měření.....	33
Tabulka 7: Testované přepínače.....	44
Tabulka 8: Porovnání propustnosti typu Fully meshed.....	45
Tabulka 9: Porovnání propustnosti typu One to many	45
Tabulka 10: Porovnání průměrného zpoždění	46
Tabulka 11: Porovnání velikostí tabulek MAC adres	47
Tabulka 12: Rychlost učení MAC adres	47
Tabulka 13: Výsledek měření orientovaný na řízení zahlcení	48
Tabulka 14: Propustnost všesměrových rámců	48
Tabulka 15: Výsledek měření Frame Error Filtering.....	49
Tabulka 16: Výsledek měření Head of Line Blocking	49
Tabulka 17: Porovnání propustnosti dle metody přeposílání paketů	53
Tabulka 18: Porovnání zpoždění dle metody přeposílání paketů	54
Tabulka 19: Porovnání zatížitelnosti dle metody přeposílání paketů	55

ÚVOD

Analýza sítí je široký pojem, v této práci je pojem spjat se samotnými analyzátory. Analyzátor Endace je primárně určen k zachytávání síťového provozu s následnou analýzou dle různých kritérií. Analyzátor Ixia je především určen k zátěžovému testování, neboli také zjištění výkonnostních parametrů síťových prvků, ale umožňuje i zachytávat provoz, proto je v této práci také nazýván zátěžovým generátorem.

Jelikož analyzátory obsahují rozhraní desetigigabitového Ethernetu je věnována část práce i této technologii za účelem seznámit se s touto technologií a s rozdíly vůči předchozím vydáním standardu IEEE 802.3.

Jedním z cílů diplomové práce je také nastudovat doporučení týkající se zátěžového testování aktivních síťových prvků a to zejména směrovačů a prepínačů. Také se zaměřit na specifika v případě testování síťových prvků pracujících na standardu 10GBASE-LR.

Na základě nastudovaných standardů provést zátěžové testy prepínačů, směrovačů a vývojových karet COMBO FPGA.

Z důvodu nepřehledných reportů měření vytvářených obslužným programem analyzátoru Ixia je také úkolem vytvořit makro v programu Microsoft Excel, které bude automaticky přehledně prezentovat výsledky měření.

1 DESETIGIGABITOVÝ ETHERNET

Technologie Ethernet je určena pro přenos dat po sdíleném médiu. Je definována na linkové a fyzické vrstvě referenčního modelu ISO OSI, popřípadě na vrstvě síťového rozhraní modelu TCP/IP. Zastoupena je skupinou standardů IEEE 802.3, které vychází z projektu firem DEC, Intel a Xerox označovaného jako Ethernet II. Pokud tedy je v této práci uváděn pojem Ethernet, jedná se přesněji o síť na bázi Ethernetu definované dle standardů IEEE 802.3.

Po schválení gigabitového Ethernetu v červnu 1998 následoval v březnu 1999 vznik pracovní skupiny Higher Speed Study Group – HSSG, která dostala za úkol prozkoumat možnosti desetigigabitového Ethernetu – 10 GbE. Na vývoji se také podílela skupina firem sdružená v 10GE Alliance. Samotný standard byl schválen v červnu 2002 pod označením IEEE 802.3ae.

Jelikož s rostoucí přenosovou rychlostí se mnohem častěji využívá plně duplexní přenos a taktéž se u této technologie uvažuje primárně s přenosem optickými vlákny typu bod–bod, tak u 10GbE pracovní skupina IEEE 802.3ae Task Force přistoupila na možnost provozu pouze v plně duplexním režimu. Jedná se tedy o standard, kde není definován poloviční duplex, a proto nenastávají kolize rámců. To znamená, že není aplikována přístupová metoda CSMA/CD a ani se neuvažuje s kolizními doménami. Omezení dosahu tak není limitováno používáním přístupové metody. Používána je topologie hvězda s propojením bod–bod. [21]

1.1 Linková vrstva

Linková vrstva se skládá ze dvou podvrstev, Logical Link Control – LLC a Media Access Control – MAC.

Podvrstva LLC zajišťuje řízení logického spoje. Formát LLC hlavičky je nezávislý na typu použité sítě. LLC rámce sjednocují formát. Podvrstva MAC slouží k řízení přístupu k přenosovému médiu i detekci chyb pomocí kontrolního součtu CRC. Je závislá na použité přenosové technologii a k adresaci využívá MAC adresy.

V případě 10 GbE jsou zachovány stejné vlastnosti i stejný formát rámce jako v předchozích specifikacích Ethernetu.

1.2 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva Ethernetu (PHY) odpovídající fyzické vrstvě definuje elektrické a optické signály, stav linky, časování, kódování dat a obvody potřebné pro příjem a vysílání.

Fyzická vrstva obsahuje podvrstvy: [21]

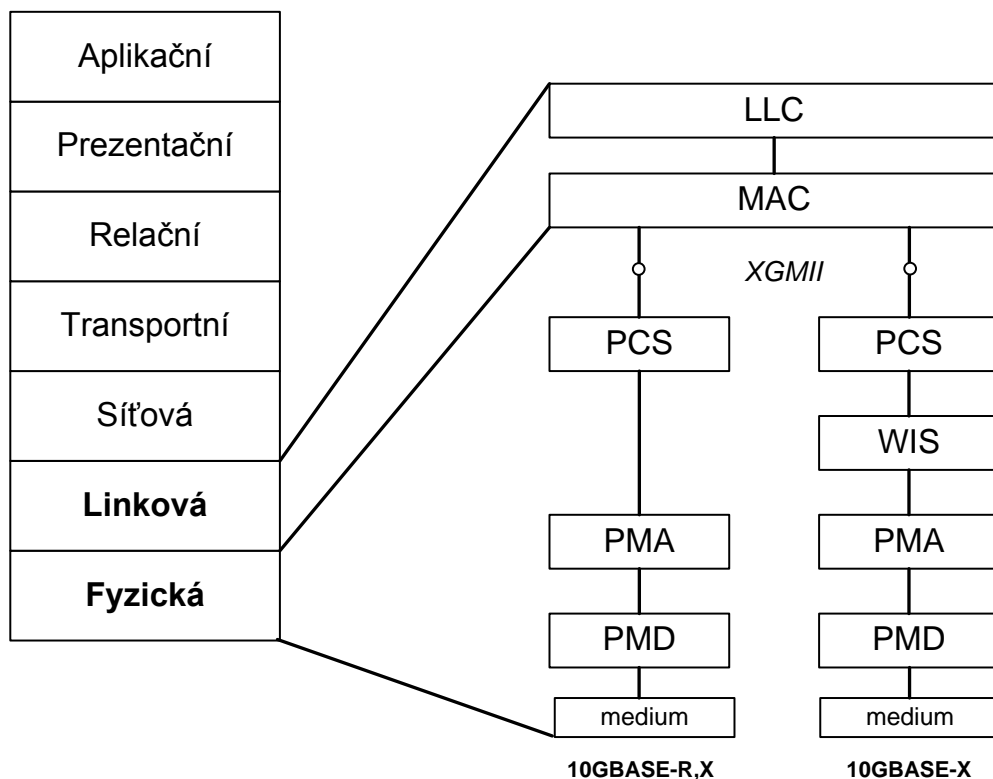
Podvrstva **PMD** je zodpovědná za přenos signálu, obsahuje definice optického (popřípadě elektrického) signálu. Jsou zde popsány detaily o vysílání a příjmu jednotlivých bitů na fyzické médium. [39]

Podvrstva **PMA** provádí převod paralelního přenosu na sériový, který je vhodný pro vysílání na fyzické médium. [39]

Podvrstva **PCS** má za úkol kódování bitů z podvrstvy MAC (propojené pomocí rozhraní XGMII) a dekódování přijatých bitů. Výchozí kódovací technika není definována, ale nejčastěji se používá kódování 64B/66B, kdy se posloupnost 64 bitů nahradí posloupností o délce 66 bitů. Popřípadě se používá kódování 8B/10B. [39]

Rozhraní **XGMII** je modifikované rozhraní MII pro 10 GbE. Používá 74 signálů. Na vysílání a příjem je používána 32 bitová sběrnice a na řízení 4 bitová sběrnice. Skládá se z nezávislých cest pro příjem dat z nižších vrstev a vysílání do vyšších vrstev. [12], [21], [25]

Referenční model OSI



Obrázek 1: Podvrstvy fyzické a linkové vrstvy technologie 10GbE

Optické transceivery

Umožňují snadnou rozšiřitelnost a modifikovatelnost sítí (rozhraní síťových prvků). Jsou definovány na fyzické vrstvě, přesněji na podvrstvě PMD, jednotlivé typy jsou popsány průmyslovými standardy, které jsou známé pod zkratkou Multi Source Agreement – MSA.

a) XENPAK

Navržen pro přenos 10 GbE (IEEE 802.3ae) v květnu 2001 skupinou MSA. Osazen konektorem typu SC. V dnešní době tento model již není nasazován. [2]

b) X2

Vychází z transceiveru XENPAK. Definován v únoru 2003. Osazen SC konektorem. Určen nejenom pro technologie 10 GbE, ale i SDH nebo Fibre Channel. [2]

c) XFP

Definován v prosinci 2002. Je konstrukčně podobný transceiveru typu SFP, ale jedná se o verzi vysokorychlostní, určenou nejenom pro 10 GbE. Podporuje i jiné technologie, například SDH nebo Fiber Channel. [2]

d) SFP+

Jedná se o nejnovější typ, který byl definován v červnu 2006. Vychází z transceiveru typu SFP, ale má rychlejší datovou sběrnici, vylepšené stínění proti elektromagnetickému rušení. Navržen je nejen pro 10 GbE, ale i pro Fiber Channel. Lze jej využít i pro přenos pomocí vlnového multiplexu – WDM a je osazen konektorem typu LC. [29]



Obrázek 2: Typy transceiverů

Typy fyzické vrstvy

Existují dva základní typy fyzické vrstvy (viz obrázek 1):

a) PHY LAN

Jedná se o klasické řešení známé z předchozích standardů IEEE 802.3. Určena je primárně do lokálních sítí. Obsahuje podvrstvy PMD, PMA, PCS a rozhraní XGMII. Pracuje na přenosové rychlosti 10,3125 Gbps. [12], [21]

b) PHY WAN

Tato varianta poskytuje možnost integrace 10 GbE do telekomunikačních sítí SONET, respektive SDH, které se využívají v rozlehlejších sítích. Cílem bylo definovat na fyzické vrstvě stejnou přenosovou rychlost jaká je u SONET/SDH sítí. Tato vrstva tedy dokáže vytvářet SONET/SDH rámce, ale i nadále se jedná pouze o asynchronní rozhraní bez implementace pokročilých funkcí, jako například přesné synchronizace. Takto definované rozhraní umožňuje připojit síťové prvky s rozhraním 10 GbE k přenosovým zařízením SONET/SDH, přesněji do okruhu OC-192, respektive STM-64, pracující na přenosové rychlosti 9,95328 Gbps. Tato varianta fyzické vrstvy navíc obsahuje podvrstvu WIS, která provádí převod proudu bitů na WIS rámce. Tyto rámce jsou ekvivalentem rámců OC-192, respektive STM-64 u technologie SDH. Podvrstva PCS používá kódování 64B/66B. Taktéž tato vrstva obsahuje ekvivalentní podvrstvu PMD umožňující použití optických transceiverů. [2], [12], [21], [39]

1.3 Standardy pro optickou kabeláž

Tabulka 1: Přehled standardů 10 GbE pro optickou kabeláž [20], [39]

Standard	Vlnová délka [nm]	Vlákno	Typ fyzické vrstvy	PCS kódování	Max. dosah
10GBASE-SR	850	vícevidové	PHY LAN	64B/66B	300 m
10GBASE-LR	1310	jednovidové	PHY LAN	64B/66B	10 km
10GBASE-LX4	WDM	vícevidové	PHY LAN	8B/10B	10 km
10GBASE-ER	1550	jednovidové	PHY LAN	64B/66B	40 km
10GBASE-LRM	1310	vícevidové	PHY LAN	64B/66B	220 m
10GBASE-SW	850	vícevidové	PHY WAN	64B/66B	300 m
10GBASE-LW	1310	jednovidové	PHY WAN	64B/66B	10 km
10GBASE-EW	1550	jednovidové	PHY WAN	64B/66B	40 km

Standard 10GBASE-LR

Využívá jednovidová optická vlákna o průměru jádra 10 μm spolu s dlouhovlnnými lasery o vlnové délce 1310 nm (viz písmeno L – long reach v označení standardu). Písmeno R označuje použití fyzické vrstvy typu PHY LAN. V podvrstvě PCS je použito kódování 64B/66B. Podvrstva PMD provádí sériové vysílání s přenosovou rychlostí 10,3125 Gbps. Dosah je specifikován na 10 km, ale prakticky lze dosáhnout až 25 km. [12]

1.4 Standardy pro metalickou kabeláž

Prvním standardem pro metalickou kabeláž byl standard 10GBASE-CX4, který pracoval do vzdálenosti 15 m. Dlouho očekávaný standard 10GBASE-T byl schválen v červnu 2006 pracovní skupinou IEEE 802.3an. S kategorií kabeláže kategorie 5e lze dosáhnout vzdálenost maximálně cca 50 m. Plných 100 m je možných dosáhnout až s kategorií 7. Kritickým problémem se ukázaly být cizí přeslechy mezi kabely v jednom svazku.

2 ZÁTĚŽOVÉ TESTOVÁNÍ SÍŤOVÝCH PRVKŮ

Organizace „Internet Engineering Task Force – IETF“ je rozdělena do velkého množství skupin, jednou z nich je „Benchmarking Methodology Working Group – BMWG“, která se zabývá tématem metodiky testování síťových prvků. Doporučení této skupiny jsou popsána v kapitole 2.1. Na problematiku metodiky testování sítí jako celku se zaměřuje pracovní skupina „IP Performance Metrics – IPPM“ zmíněná v kapitole 2.2.

2.1 Pracovní skupina Benchmarking Methodology

Pracovní skupina BMWG v rámci organizace IETF se zaměřuje na metodiku a jednoznačnou prezentaci výsledků testování jednoho, popřípadě několika málo síťových zařízení. Doporučení vydávané touto skupinou předpokládají testování v laboratorních podmínkách, mají také vyhrazen speciální rozsah IP adres. Typicky se využívají při vývoji síťových zařízení a ověření definovaných parametrů. [46]

2.1.1 RFC 1242

Doporučení RFC 1242 „Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices“ vydané v roce 1991 pracovní skupinou BMWG definuje základní pojmy a formát výsledků používaných v dalších RFC týkajících se testování síťových zařízení. Cílem je zajistit jednoznačnost testů a zabránit dezinterpretaci. [32], [34], [44], [46]

2.1.2 RFC 1944

Doporučení vydané v roce 1996 nazývajícím se „Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices“ popisuje metodiku provádění výkonnostních testů síťových zařízení a jednoznačnou prezentaci výsledků. Doporučení bylo nahrazeno novějším RFC 2544. [35], [46]

2.1.3 RFC 2544

V tomto doporučení s názvem „Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices“ je popsána metodika testů pro stanovení výkonnostních parametrů síťových zařízení. Vydáno bylo v roce 1999 a nahrazuje tím doporučení RFC 1944. Využívá terminologii uvedenou v RFC 1242. [10]

Doporučení definuje měření propustnosti, zpoždění, ztrátovosti, zatížitelnosti, zotavení po přetížení a zotavení po restartu. Důležitý parametr kolísání zpoždění není v tomto doporučení definován, ale při implementaci v analyzátorech bývá součástí testu.

Testy by měly být opakovány s rozdílnou délkou rámců, ideálně s minimální a maximální délkou dle přenosové technologie. V případě Ethernetu se provádí pro standardní délky rámců 64 B, 128 B, 256 B, 512 B, 1024 B, 1280 B a 1518 B. Doporučení předpokládá testování v laboratorních podmínkách, aby se zabránilo případnému úniku testovacího provozu do reálné sítě organizace IANA přidělila pro účely testování speciální rozsah IP adres v rozmezí 198.18.0.0 – 198.19.255.255. [10], [24], [43]

Testované zařízení je označováno jako Device Under Test – DUT a je na něj pohlíženo jako na černou skříňku (blackbox). Kompletní konfigurace testovaného zařízení musí být součástí reportu. [32], [36], [44], [46]

Test RFC 2544 se skládá z těchto parametrů:

Throughput

Měření zjišťuje propustnost, tj. maximální počet rámců za sekundu (tedy i maximální přenosová rychlost), při kterém nenastane ztráta rámce.

Měření začíná odesíláním rámců na rozhraní DUT o maximální přenosové rychlosti, následně se porovnává počet odeslaných a přijatých rámců. Pokud nastane chyba nebo ztráta rámce, přenosová rychlost se sníží na polovinu a test se opakuje. Jestliže při této snížené přenosové rychlosti chyba zaznamenána není, přenosová rychlost se zvýší o polovinu rozdílu přenosové rychlosti, při které se měřilo v posledním a předposledním kroku a měření se opakuje znovu. Tímto postupem se určí maximální propustnost DUT. Maximální propustnost se zjišťuje pro každou délku rámce zvlášť.

Výsledek má být reprezentován tabulkou uvádějící maximální propustnost v rámcích za sekundu (FPS), megabitech za sekundu (Mbps) nebo v procentním vyjádření pro každou měřenou délku rámce. A také grafem znázorňujícím propustnost v závislosti na délce rámce. V grafu je také doporučeno znázornit maximální teoretickou propustnost v závislosti na délce rámce. [36]

Při vyjádření maximální teoretické propustnosti je nutné vědět, že pro každou délku rámce je maximální teoretická propustnost jiná a to z důvodu zohlednění nutnosti dodržovat mezery mezi rámci (mezirámcová mezera), kterou vzniká nevyužitý prostor. Toto hledisko se nejvíce projevuje u menší délky rámců, protože je přenášeno nejvíce rámců a tím vzniká nejdelší čas, kdy je aplikována mezirámcová mezera, tzn. na přenosovém mediu je klidový stav. Například u technologie Fast Ethernet je pro 64 B rámec maximální propustnost 76,19 Mbps, ale pro 512 B rámec je již 96,24 Mbps. [10], [24], [36]

Latency

Neboli zpoždění, jsou rozlišovány dva typy zpoždění a to jednosměrné a obousměrné. Jednosměrné zpoždění je čas, který uplyne mezi odesláním rámce a jeho přijetím v cíli. Obousměrné zpoždění zahrnuje čas cesty rámce tam i zpět a navíc i čas potřebný pro zpracování v cíli. Obousměrné zpoždění se též nazývá jako Round-Trip Time a používá se častěji, protože je lépe měřitelné z jednoho místa.

Standardně dle RFC 2544 se měření provádí tak, že se vytváří provoz o maximální propustnosti, při které nedochází k chybě, ani ztrátě rámce (tj. vychází se z výsledků získaných při měření propustnosti), po dobu nejméně 120 s, během které se měří zpoždění. Měření se musí opakovat pro každou délku rámce 20×. Standardní doba měření je tedy 280 minut (20× opakování 120 s testu pro 7 různých délek rámců). Výsledné zpoždění je průměrem těchto dvaceti měření.

Zpoždění má vliv na služby v reálném čase. Vysoké hodnoty mají za následek zejména degradaci kvality přenosu hlasu a videa. Ale významnější vliv na kvalitu služeb v reálném čase má kolísání zpoždění.

Výsledek měření je reprezentován tabulkou udávající hodnotu zpoždění při procentně vyjádřené propustnosti pro každou délku rámce a grafem závislosti zpoždění na délce rámce. [10], [24], [36]

Frame loss rate

Jedná se o měření ztrátovosti rámců. Měření začíná generováním provozu o přenosové rychlosti, která odpovídá maximální teoretické propustnosti sítě a zjišťuje se, zda dochází ke ztrátám rámců. Pokud ano, snižuje se přenosová rychlost o nastavený krok (největší povolený krok je 10 %) až do doby, kdy ve dvou měřeních je zjištěna nulová ztrátovost. Nižší přenosové rychlosti pak již nejsou testovány a předpokládá se u nich nulová ztrátovost. Velikost kroku je doporučena menší než 10 %. Měření je opakováno pro každou délku rámce.

Měření charakterizuje schopnost DUT pracovat s různou délkou rámců. Výsledek je reprezentován grafem, kde procentně vyjadřuje závislost ztracených rámců na procentně vyjádřené přenosové rychlosti. Graf by měl obsahovat více křivek znázorňujících různou délku rámce. [36]

Back to back

Volně přeloženo se jedná o zatížitelnost. Měření stanovuje maximální počet rámců odeslaných a přijatých s minimální mezirámcovou mezerou při maximální přenosové rychlosti v určeném časovém intervalu. Parametr je znám pod názvy dávkový mód nebo burstability.

Dle doporučení měření probíhá tak, že se odesílají rámce s minimální mezirámcovou mezerou a porovnává se počet odeslaných a přijatých rámců, jestliže se žádný rámec neztratil, zvýší se shluk rámců a měření se opakuje. Naopak, pokud došlo ke ztrátě rámců, délka shluku se sníží. Výsledná hodnota je počet rámců nejdelšího shluku bez ztráty rámce. Zkušební délka trvání shluku musí být nejméně 2 sekundy a měla by být opakována minimálně 50x.

Výsledek je reprezentován tabulkou s průměrným počtem rámců shluku pro každou měřenou délku rámce. [10], [24], [36]

System recovery

Tedy měření zotavení po přetížení. Po dobu minimálně 60 s se odesílají rámce o přenosové rychlosti o 10 % větší, než byla zjištěna v rámci měření propustnosti. Následně se přenosová rychlost sníží na polovinu (první časový údaj) a zjišťuje se čas obnovení plné propustnosti (po obnovení – druhý časový údaj). Rozdíl těchto časových údajů je výsledná hodnota zotavení po přetížení. Měření by mělo být několikrát opakováno.

Výsledkem je tabulka udávající hodnotu času zotavení zařízení po přetížení v závislosti na délce rámce a propustnosti. [36]

Reset

Lze přeložit jako zotavení po resetu. Stanovení času zotavení zařízení po resetu se provádí odesíláním rámců s nejmenší možnou délkou a maximální přenosovou rychlostí zjištěnou z měření propustnosti. Během odesílání se provede reset zařízení a zaznamená se čas mezi přijetím posledního rámce před resetem a prvním rámcem po resetu. Rozdíl zjištěných časů je doba zotavení po resetu. [36]

Je rozlišováno mezi resetem provedeným přímo na zařízení (hardwarovým) a softwarovým (například vyvolaný pomocí webového rozhraní). Reset může být proveden také přerušením napájení.

Jitter

Neboli kolísání zpoždění není v doporučení RFC 2544 definováno, ale bývá v rámci měření zpoždění zjišťováno.

Kolísání zpoždění znamená kolísání časů příchodů rámců (změna zpoždění rámců), které vzniká při průchodu rámců síťovými prvky. Je udáván zvláště pro každou délku rámce. Parametr je důležitý pro sítě, které přenášejí data náchylné na zpoždění jako je přenos hlasu (VoIP) nebo videa (IPTV), kde by kolísání zpoždění mělo být co nejmenší. [10], [36]

2.1.4 RFC 2889

Doporučení „Benchmarking Methodology for LAN Switching Devices“ navazuje na RFC 2544 a zaměřuje se na metodiku testování přepínačů v LAN sítích. Zejména na výkon přeposílání rámců, řízení zahlcení nebo filtrování chybných rámců. Také určuje formát, v jakém mají být reprezentovány výsledky měření.

Toto doporučení se odkazuje na terminologii popsanou v RFC 2285 „Benchmarking Terminology for LAN Switching Devices“, která rozšiřuje terminologii z RFC 1242 o oblast přepínačů. [37]

Jako v případě doporučení RFC 2544, tak i v případě RFC 2889 je doporučeno provádět testy s délkou rámců 64 B, 128 B, 256 B, 512 B, 1024 B, 1280 B, 1518 B.

Před začátkem testu je také nezbytné, aby testované zařízení (DUT) „se naučilo“ používané MAC adresy. Analyzátor odesílá tzv. learning rámce a testované zařízení si adresy ukládá do tabulky. Pokud analyzátor zachytí rámce s jinými MAC adresami, tak jsou rozpoznány jako flood rámce a jejich počet je uveden ve výsledném reportu. [37]

Test RFC 2889 popisuje:

Fully meshed throughput

Měření zjišťuje propustnost, tj. celkový počet rámců, který dokáže DUT zpracovat, pokud přijímá rámce na všech rozhraních. Provoz je odeslán ze všech rozhraní a je přijímán na všech rozhraních. Doba trvání měření je doporučována 30 s. Každé rozhraní analyzátoru emuluje jednu MAC adresu. Všechny rámce, které jsou přijaty a nesouvisí s měřením, například rámce protokolů Spanning Tree nebo SNMP, nesmí být započítány za přijaté.

Výsledkem měření je celkový počet odeslaných rámců ze všech rozhraní, celkový počet rámců přijatých (musí obsahovat správnou cílovou MAC adresu) na všech rozhraních a dále propustnost pro každou délku rámce. [28], [37], [42]

Partially meshed

Popisuje propustnost, kdy je odeslán provoz z jednoho rozhraní na více rozhraní (one to many) nebo opačně, tj. z více rozhraní na jedno (many to one) bez ztráty rámců. Lze zvolit, zda bude provoz generován pouze v jednom směru nebo bude provoz generován v obou směrech.

Jako v přechodím měření je výsledkem propustnost pro každou délku rámce vyjádřena v rámcích za sekundu. [37], [42]

Partially meshed multiple devices

Měření zjišťuje, jak dokáží dva přepínače propojené vysokorychlostním spojem (Ethernet, ATM, SONET) přepínat rámce ze všech rozhraní prvního přepínače a přenést je skrze vysokorychlostní spoj na všechny rozhraní druhého přepínače.

Výsledkem měření je maximální rychlost přeposílání rámců bez ztráty vyjádřená v rámcích za sekundu pro každou délku rámce. [37], [42]

Partially meshed unidirectional traffic

Měření generuje více testovacích toků jednosměrného provozu. Odesílán je z jedné poloviny rozhraní na druhou polovinu rozhraní. Jedná se tak o simulaci situace, kdy polovina uživatelů odesílá provoz druhé polovině uživatelů.

Výsledkem měření je rychlost přeposílání rámců bez ztrát vyjádřená jako počet rámců za sekundu. [37], [42], [47]

Forward Pressure and Maximum Forwarding Rate

V rámci měření Forward Pressure je přetěžováno rozhraní testovaného přepínače (DUT) a to tak, že je odesílán provoz o mezirámcové mezeře menší než 96 bitů. Přesněji je použita mezirámcová mezera 88 bitů a je zjišťováno, s jakou mezirámcovou mezerou jsou odesílány rámce na odchozím rozhraní DUT. Pokud je detekována mezera menší než 96 bitů je detekován stav Forward Pressure, protože DUT porušuje standardy IEEE 802.3, to může způsobit nekorektní spolupráci s ostatními síťovými prvky.

Měření Maximum Forwarding Rate zjišťuje špičkovou hodnotu rychlosti přeposílání rámců při různém zatížení. Minimální hodnota zatížení vychází z propustnosti zjištěné v testu Fully meshed throughput.

Výsledkem měření je rychlost přepínání vyjádřená v rámcích za sekundu a detekce výskytu Forward Pressure. [37], [42]

Congestion Control

Tímto měřením se provádí kontrola, zda zařízení implementuje řízení zahlcení a zda zahlcení jednoho rozhraní ovlivňuje ostatní nezahlcené rozhraní. Zjednodušeně měření probíhá tak, že dvě rozhraní odesílají testovací provoz o propustnosti 100 % na DUT. Dvě odchozí rozhraní DUT provoz přijímají. Jedno rozhraní (nepřetížené) přijímá 50 % provozu z celkových 200 % a druhé rozhraní přijímá 150 % a je tedy přetížené.

Head of line Blocking – HOLB nastává, pokud DUT ztrácí rámce určené pro nepřetížené rozhraní. Důvodem je čekání rámců ve frontě, než jsou odbaveny předchozí rámce a také nastává přetečení vyrovnávací paměti. Přepínač bez HOLB neztrácí rámce určené pro nepřetížené rozhraní bez ohledu na zahlcení ostatních rozhraní.

Zda DUT zabraňuje ztrátám rámců a to za pomoci odeslání pause rámců dle standardu 802.3x je signalizováno parametrem Back Pressure. Pokud na zahlceném rozhraní nedochází ke ztrátám rámců, tak Back Pressure je aktivní a DUT využívá mechanismy řízení toku.

Výsledkem měření je ztrátovost rámců, často vyjádřená v procentech a také rychlost přeposílání rámců v rámcích za sekundu. [28], [37], [42]

Address caching capacity

Přepínače pracující na linkové vrstvě přeposílají provoz na základě cílové MAC adresy a na základě zdrojové MAC adresy si vytváří tabulku obsahující MAC adresu a rozhraní. Popřípadě tabulku lze vytvářet i ručně. Když není nalezena odpovídající MAC adresa v tabulce, rámec je odeslán na všechna rozhraní přepínače, kromě rozhraní, na kterém byl rámec přijat.

Měřením je zjišťována maximální velikost tabulky uchováující MAC adresy. Během testu probíhá přeposílání rámců a kontrola zda nedochází k přeposlání na jiné rozhraní. Pokud nastane přeposlání na jiné rozhraní, tak to znamená, že testovaný počet MAC adres přepínač nedokáže zpracovat.

Výsledkem testu je maximální velikost tabulky uchováující MAC adresy pro každou délku rámce. [28], [37], [42]

Address learning rate

Rychlost, se kterou je přepínač schopen se učit MAC adresy ovlivňuje zpoždění a zlepšuje efektivní využití šířky pásma, proto je tento parametr zjišťován.

Přesněji je měřením zjišťována rychlost vyjádřená v rámcích za sekundu, při které se DUT korektně „učí“ MAC adresy. Nejprve jsou odeslány rámce sloužící k naučení MAC adres a poté následují testovací rámce. Počet odeslaných testovacích rámců se musí shodovat s odeslanými rámci a to bez zahlcení. Pokud dojde k zahlcení, tj. přijetí rámce na jiném rozhraní než je určen, znamená to, že DUT není schopen se s danou rychlostí MAC adresy naučit.

Výsledkem testu je rychlost, s jakou je testovaný přepínač schopen se učit MAC adresy vyjádřené v rámcích za sekundu. [37], [42], [47]

Errored frames filtering

V tomto případě je ověřováno chování DUT za nestandardních podmínek a chybových situací. Výsledek měření ukazuje, zda dochází k přeposílání chybných rámců nebo ne, tj. zda DUT korektně filtruje rámce s chybami. [37], [42]

Jedná se o následující chyby:

- nadměrná velikost rámce – rámce s délkou větší než 1518 B,
- podměrná velikost rámce – rámce s délkou menší než 64 B,
- chyba v kontrolním součtu – chybný kontrolní součet CRC,
- dribble bit – rámce nekončí na hranici celého bajtu,
- alignment – kombinace chyby v kontrolním součtu a dribble bit.

Broadcast frame Forwarding and Latency

Měření je zaměřeno na stanovení propustnosti a zpoždění při přeposílání všesměrového provozu, tj. přeposílání rámců z jednoho rozhraní na více rozhraní s různým zatížením. Propustnost je definována jako maximální zatížení DUT všesměrovým provozem bez ztráty rámce. Měření se provádí z důvodu možných rozdílných hodnot propustnosti v případě přeposílání všesměrového provozu a jednosměrného (unicast) provozu.

Výsledkem měření je propustnost všesměrového provozu a průměrné zpoždění pro každou měřenou délku rámce. [37], [42], [47]

2.1.5 RFC 3511

Doporučení popisující metodiku pro výkonnostní testování firewallů a to přesněji typů pracujících na transportní vrstvě – firewally se stavovou inspekcí a na aplikační vrstvě – proxy firewally (aplikační brány). [32], [38], [46]

Obsahuje testy zaměřené na:

- zacházení s kombinací povoleného a zakázaného provozu,
- efekt DoS útoku na rychlost navázání TCP spojení,
- zacházení s fragmentovanými pakety,
- propustnost na síťové vrstvě (protokol IP),
- zpoždění na síťové vrstvě a na aplikační vrstvě při přenosu HTTP provozu,
- maximální počet TCP spojení,
- rychlost provádění HTTP transakcí.

Pojmy užívané při testování výkonnosti firewallů jsou definovány v doporučení RFC 2647 „Benchmarking Terminology for Firewall Performance“ navazující na RFC 1242.

2.2 Pracovní skupina IP Performance Metrics

Pracovní skupina „IP Performance Metrics – IPPM“, která je součástí organizace IETF se zaměřuje na testování sítě jako celku, to také znamená, že není specifikován způsob zapojení. Metodiku testů popisuje detailněji, diskutuje možné výsledky a upozorňuje na chyby. Jednotlivé doporučení vydávané touto pracovní skupinou stanovují specifické metriky charakterizující síť v běžném provozu a metodiku pro jejich získávání. Metodika je konstruována tak, že ji lze provést jak z pozice koncových uživatelů, tak z pozice operátora sítě. Metriky mohou být použity na porovnání kvality, spolehlivosti nebo výkonnosti služeb v síti. [46]

Navíc oproti doporučením vydaným pracovní skupinou BMWG je v rámci pracovní skupiny IPPM popsána metrika kolísání zpoždění a to v samostatném doporučení „RFC 3393 IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics“.

2.3 Y.1564

Jedná se o standard vydaný Mezinárodní telekomunikační unií – ITU-T na začátku roku 2011. Před schválením označován jako EtherSAM nebo Y.156sam. Jedná se o standard popisující novou testovací metodiku služeb v paketově orientovaných sítích. Tento standard využívají nástroje pro ověření Service Level Agreement – SLA v síti. SLA je smlouva o poskytování služeb uzavřená mezi zákazníkem a poskytovatelem služeb. Možné služby jsou definovány v dokumentu „MEF 10.2 Ethernet Services Attributes Phase 2“ vydaného organizací Metro Ethernet Forum – MEF. [5], [45]

Oproti doporučení RFC 2544 podporuje ověření kvality služeb (QoS), jako například kolísání zpoždění, má menší nároky na dobu trvání testu a zabývá se souběžným generováním více testovacích toků pro potřebu testování více služeb současně. [11]

Typické kvalitativní ukazatele označované jako KPIs – Key Performance Indicators jsou:

Šířka pásma reprezentuje maximální množství dat, která mohou být přenesena. Ukazatel může korespondovat s CIR nebo EIR.

Kolísání zpoždění znamená kolísání času příchodu rámců (změna zpoždění rámců), která vzniká při průchodu rámce sítě. Pro služby v reálném čase jako je přenos videa nebo hlasu je tento parametr velice důležitý, protože tím i kolísá plnění vyrovnávací paměti přijímače a to má vliv na výslednou kvalitu.

Zpoždění je časová prodleva mezi odesláním rámce a jeho přijetím. Také se jedná o důležitý ukazatel pro služby v reálném čase, například ovlivňuje vnímání echa při hovoru prostřednictvím VoIP.

Ztrátovost rámců je ukazatel vyjadřující poměr počtu ztracených rámců k celkovému počtu odeslaných rámců udávaný v procentech při konstantním zatížení. Důvodem ztráty rámce může být chyba při přenosu nebo zahlcení sítě. [11], [45]

Standard specifikuje tři provozní třídy dle šířky pásma:

CIR (Committed Information Rate) je šířka pásma, která je garantovaná pro specifickou službu po celý čas. Garantované kvalitativní parametry jsou obvykle definované v SLA.

EIR (Excess Information Rate) je šířka pásma nad hranicí CIR a je závislá na aktuálním zatížení sítě. V tomto případě nejsou garantovány kvalitativní parametry přenosu.

Discarded traffic (nebo také Overshoot rate) je hranice nad CIR nebo CIR i EIR. Provoz o šířce pásma nad touto hranicí není přes síť přenesen. [45]

Test dle Y.1564 se skládá ze dvou fází:

První fáze je **ověření konfigurace sítě** (service configuration test) pro každou definovanou službu. Generován je provoz s přenosovou rychlostí, která se postupně zvyšuje ve tvaru rampy (tzv. ramp test) a to nejprve po hodnotu šířky pásma třídy CIR, následně po hodnotu třídy EIR a nakonec nad třídu EIR. Tento postup je prováděn sekvenčně pro každou službu a v každém kroku testu jsou ověřovány parametry uvedené v SLA. Doba trvání této fáze je cca 1 minutu pro každou službu.

V druhé fázi probíhá **test služeb** (service performance test) ověřující kvalitu služby dle požadavků SLA pro každou definovanou službu. V této fázi jsou všechny služby generovány současně na úrovni třídy CIR a sledované parametry jsou porovnávány s požadavky SLA. Ověřuje se tak, zda síťové zařízení upřednostňují síťový provoz a jsou tak splněny parametry KPI. Výsledkem testu je pouze stav, kdy zjištěné parametry KPI jsou vyhovující nebo nevyhovující v porovnání s hodnotami uvedenými v SLA. Doba trvání této fáze je v řádech hodin. Test služeb se doporučuje provádět opakovaně z důvodu možné degradace výkonnosti sítě. [5], [11]

2.4 Specifika testování 10 GbE

Uváděná doporučení RFC (zejména RFC 2544 a RFC 2889) jsou obecně navržena pro všechny varianty technologie Ethernet a také pro všechny rozhraní, ale jelikož byly vydány v letech 1991 – 2000 a to je dříve než byl schválen standard IEEE 802.3ae, který byl schválen v roce 2002, je nutné zohlednit níže uvedené specifika.

Při testování 10 GbE je nezbytné pamatovat na dva typy fyzické vrstvy a to PHY LAN a PHY WAN, protože mají rozdílné zapouzdření i přenosovou rychlost na fyzické vrstvě. Při testování nelze kombinovat oba typy a je nutné je testovat odděleně. Výsledky testů využívající rozdílné varianty fyzické vrstvy nelze porovnávat ani kombinovat. Například zpoždění je výrazně odlišné. Fyzická vrstva typu PHY WAN má větší průměrnou dobu zpoždění v porovnání s PHY LAN, ale na zpoždění může mít vliv i použitý transceiver.

Doporučení RFC 2544 určuje minimální dobu trvání testu 30 s pro každou délku rámce, to se ale ukazuje jako krátká doba pro zátěžový test zaměřený na vyrovnávací paměť přepínačů a směrovačů, protože mají velkou vyrovnávací paměť. Běžná doba trvání testu se doporučuje 300 s, a proto důkladnější testy mají délku trvání řádově i dny. [40], [41]

Teoretická maximální přenosová rychlost dle IEEE 802.3ae na linkové vrstvě, přesněji podvrstvě MAC je 10 Gbps. Pokud budeme uvažovat nejkratší délku rámce 64 B, délku mezirámcové mezery 12 B a preamble 8 B, pak je maximální počet rámců za sekundu 14 880 952.

Ve specifikaci 10 GbE je definováno, že délka mezirámcové mezery má být násobkem 8 bitů. Zároveň při měření propustnosti vyžadujeme konstantní délku rámce a variabilní délku mezirámcové mezery. Z toho plyne, že mezirámcovou mezeru a tím i přenosovou rychlost nelze měnit spojitě, ale diskrétně v definovaných krocích. Když víme, že u délky rámce 64 B a mezirámcové mezery 12 B je maximální počet rámců (100%) za sekundu 14 880 952, tak další možná mezirámcová mezera je o délce 13 B, to znamená 14 705 882 rámců za sekundu (98,82%). Pokud tyto dvě hodnoty odečteme, získáváme minimální krok 175 070 rámců za sekundu. Podrobnější přehled poskytuje tabulka 2. [40], [41]

Tabulka 2: Možné přenosové rychlosti při konstantní délce rámce 64 B

Přenosová rychlost			Mezirámcová mezera
[Gbps]	[FPS]	[%]	[B]
7,62	14 880 952	100,00	12
7,53	14 705 882	98,82	13
7,44	14 534 884	97,67	14
7,36	14 367 816	96,55	15
7,27	14 204 545	96,45	16
7,19	14 044 944	94,38	17
7,11	13 888 889	93,33	18
7,03	13 736 264	92,31	19
6,96	13 586 957	91,30	20
6,88	13 440 860	90,32	21

Využití Deficit Idle Count

Když rámce přechází z linkové vrstvy do fyzické, tak jsou jednotlivé bajty na rozhraní XGMII rozděleny do čtyř větví označovaných jako lane 0 až 3. Jak již bylo zmíněno, rámce jsou oddělovány mezirámcovou mezerou o délce 12 B, tj. 9,6 ns. Problém nastává v tom, že nelze předpovědět, ve které větvi skončí rámec a tedy i ve které je začátek nového rámce. Tento problém je vyřešen tak, že začátek nového rámce (tj. značka start of frame – SOF) musí být vždy v lane 0. Toto řešení je neefektivní, protože pokud poslední bajt rámce není v lane 3, ale v jiné větvi zařízení musí vkládat do ostatních větví prázdné znaky až do lane 0, kde vloží značku SOF nového rámce. [25], [41]

Řešením pro maximální propustnost je využití Deficit Idle Count – DIC, který přidává nebo odebrá 3 B z 12 B mezirámcové mezery a tedy umožňuje vznik mezery v rozsahu od 9 B do 15 B při zachování průměrné hodnoty 12 B. Cílem je dosáhnout maximální propustnost 10 Gbps. V případě využití funkce Deficit Idle Count musí být aktivní na testovaném i testovacím zařízení.

Doporučuje se provést test s aktivovaným i deaktivovaným DIC. Aktivní DIC více zatěžuje přepínač. Je pravděpodobné, že v případě umístění zařízení s vypnutou funkcí DIC do sítě s aktivním DIC dojde k přetečení vstupní vyrovnávací paměti. Problém je častý při přenášení rámců krátké délky. [26]

Tabulka 3: Maximální šířka pásma při mezirámcové mezeře 12 B

Délka rámce	Maximální šířka pásma	
	DIC zapnuto	DIC vypnuto
	[FPS]	[FPS]
64	14 880 952	14 880 952
128	8 445 945	8 445 945
256	4 528 985	4 528 985
512	2 349 624	2 349 624
768	1 586 294	1 586 294
1024	1 197 318	1 197 318
1280	961 538	961 538
1518	812 743	811 688

Specifičnost testu dle RFC 2544 je, že na doporučených délkách rámců nemá vliv použití funkce DIC, tj. na 64 B, 128 B, 256 B, 512 B, 1024 B, 1280 B. Až u rámce délky 1518 B jsou rozdílné hodnoty rámců za sekundu, jak zobrazuje tabulka 3. [40], [41]

Tabulka 4: Rozdíl maximální šířky pásma v závislosti na DIC a délce rámce

Délka rámce	Maximální šířka pásma				Rozdíl	
	DIC zapnuto		DIC vypnuto		[FPS]	[Gbps]
	[FPS]	[Gbps]	[FPS]	[Gbps]		
64	14 880 952	7,62	14 880 952	7,62	0	0,00
65	14 705 882	7,65	14 204 545	7,39	501 337	0,26
66	14 534 883	7,67	14 204 545	7,50	330 338	0,17
67	14 367 816	7,70	14 204 545	7,61	163 271	0,09
68	14 204 545	7,73	14 204 545	7,73	0	0,00
69	14 044 943	7,75	13 586 956	7,50	457 987	0,25
70	13 888 888	7,78	13 586 956	7,61	301 932	0,17
71	13 736 263	7,80	13 586 956	7,72	149 307	0,08
72	13 586 956	7,83	13 586 956	7,83	0	0,00

Délka rámce

Jelikož je RFC 2544 již staršího data vydání a doporučené délky rámců již nezohledňují novější používané protokoly, se kterými směrovače a přepínače pracují, proto se doporučuje provádět testy i s jinou délkou rámců než jsou doporučeny v RFC 2544. Například protokoly VLAN nebo MPLS mohou vytvářet rámce, které jsou delší, než jsou v RFC 2544 doporučovány. Několik příkladů je uvedeno v tabulce 5. [40]

Tabulka 5: Příklady nestandardních délek rámců vhodných pro zátěžové testování

Délka rámce [B]	Maximální propustnost [FPS]	Použití
1280	961 538	minimální MTU pro protokol IPv6
1518	812 734	MTU rámec Ethernet
1522	810 635	MTU rámec Ethernet s VLAN tag
1526	808 538	rámec s VLAN tag a MPLS label
9000	138 580	jumbo rámec Ethernet

3 GENERÁTOR PROVOZU IXIA

Generátor provozu je především určen pro testování výkonnostních parametrů síťových zařízení, jako jsou přepínače, směrovače nebo i firewally, tzn. zařízení pracující na fyzické až transportní vrstvě referenčního modelu OSI. Je schopen generovat plně duplexní provoz až o šířce pásma 10 Gbps na všech rozhraních současně. Lze definovat vlastní hodnoty polí datových jednotek – segmentů, datagramů, paketů, rámců. Umožňuje generovat rámce od nejmenších délek, tj. 64 B, až po jumbo rámce.

V generátoru je integrován operační systém Windows XP pro správu testovacích rozhraní i obslužný software s možností obsluhovat testy přímo v generátoru, ale doporučuje se spouštět obslužný software na jiném počítači a vzdáleně se připojit ke generátoru. Obslužný software představují programy IxExplorer a IxAutomate.

Šasi Ixia XM2 je osazeno moduly:

Modul LSM1000XMVR4-01 obsahuje celkem 8× rozhraní o přenosové rychlosti 1 Gbps, přesněji 4× rozhraní 1000BASE-T a 4× rozhraní 1000BASE-LX.

Modul LSM10GXMR4S-01 obsahuje 4× rozhraní o přenosové rychlosti 10 Gbps, standard 10GBASE-LR osazený optickými transceivery SFP+. [18], [19]



Obrázek 3: Generátor provozu Ixia

3.1 IxExplorer

Jedná se o program pro správu testovacích rozhraní generátoru. Nezávisle lze pro každé rozhraní definovat generování provozu na úrovni fyzické až transportní vrstvy, v případě nestavového protokolu až na aplikační vrstvě. Následně generovaný provoz na jiném rozhraní přijmout a analyzovat. Umožňuje generování až 255 provozních toků a konfigurovat pole hlavičky paketu a rámce. Lze také provoz zachytávat a filtrovat. Aplikaci lze spustit lokálně přímo na generátoru nebo nainstalovat program na PC a připojit se vzdáleně. [17]

3.1.1 Ukázka měření zpoždění

Jednoduchá ukázka využití programu IxExplorer je například měření zpoždění. Testován byl 100 Mbps přepínač. Jak zobrazuje obrázek 4, byl sériově vyslán provoz o třech skupinách na jednom rozhraní generátoru Ixia a přijímán na druhém rozhraní. Skupiny se lišily nastavením délky rámce (64 B, 128 B, 512 B).

	Enable	Suspend	Name	Flow	Control	Loop Count	Frame Size	Data Pattern Type
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		↓	Advance	1	64	Inc Byte
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		↓	Advance	1	128	Inc Byte
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		↩	Return to ID	1	512	Inc Byte

Obrázek 4: Souhrn nastavení generovaného provozu

Analyzovány byly časové značky (timestamp) v okamžiku odeslání prvního datového bitu rámce na testované zařízení (DUT) a okamžiku přijetí prvního datového bitu rámce z testovaného zařízení v každé skupině paketů (PG). Daný rozdíl časových značek odpovídá zpoždění typu cut through, ale existuje také typ zpoždění nazývaný store and forward, který představuje rozdíl časové značky odeslání posledního datového bitu rámce na testované zařízení (DUT) a časové značky přijetí prvního datového bitu rámce.

Tabulka 6 zobrazuje výsledek měření zpoždění, které v průměru dosahuje 44 μ s. Měřeno bylo zpoždění typu cut through.

Tabulka 6: Upravený výstup měření

PG ID	Zpoždění				Časové značky	
	min [μ s]	max [μ s]	min-max [μ s]	průměr [μ s]	první	poslední
1	44,0	44,4	0,4	44,2	00:00:00.0000	00:00:54.5991477
2	43,8	44,3	0,5	44,1	00:00:00.0000	00:00:54.5996680
3	43,9	44,4	0,5	44,3	00:00:00.0000	00:00:54.5995600

Program IxExplorer je vhodný při specializovaných testech, ve kterých je nutné generovat provoz se speciálními požadavky na pole rámců a paketů. Naopak dále popsany program IxAutomate je vhodný pro univerzální testy prováděné dle standardizované metodiky.

3.2 IxAutomate

Jedná se o program obsahující editovatelné automatické testy provádějící nejenom testování výkonnostních parametrů síťových zařízení. Aplikace obsahuje předdefinované testy, které pracují dle doporučení RFC týkajících se testování síťových zařízení. Balík se nazývá „RFC Benchmark Software Bundle“. Jako v případě aplikace IxExplorer je možné aplikaci spustit lokálně přímo na analyzátoru nebo nainstalovat program na PC a připojit se vzdáleně. [15], [16]

Testování směrovačů

K testování směrovačů je vhodný testovací balíček „RFC 2544 IPv6 Benchmark Test Suite“, jenž koresponduje s popsáním doporučením RFC 2544. Skládá se z testu propustnosti, zpoždění, ztrátovosti a zatížitelnosti.

Dále lze testovat přímo protokoly, které pracují na směrovačích. V rámci testování směrovacích protokolů analyzátor Ixia emuluje celé sítě. Například dokáže zjistit rychlost konvergence externího směrovacího protokolu BGP nebo maximální počet cest, které je schopen směrovač udržovat v rámci směrovacího protokolu OSPF. [16]

Testování přepínačů

Síťové prvky pracující na linkové vrstvě, především přepínače, lze testovat také dle doporučení RFC 2544, ale vhodnější doporučení je RFC 2889.

V programu je testovací balíček nazván „RFC 2889 Layer 2 Switching Test Suite“. Výsledky testů poskytují údaje o propustnosti za různých provozních podmínek, zpoždění, velikost tabulky MAC adres, řízení zahlcení nebo filtrování chybných rámců.

Testovat lze i protokoly související s přepínači, například lze testovat čas konvergence protokolu spanning tree a to konkrétně verze STP, MSTP i RSTP. [16]

Testování firewallů

Pro testování firewallů je primárně určen balíček „RFC 3511 Test Suite“. Metodika jednotlivých testů koresponduje s doporučením RFC 3511. Je určen pro firewally pracující na transportní až aplikační vrstvě, tj. zejména firewally se stavovou inspekcí provozu a proxy firewally (neboli aplikační brány).

Testy jsou zaměřeny na maximální počet TCP spojení, rychlost HTTP transakcí nebo zpoždění na aplikační vrstvě – protokolu HTTP. [16]

Pro analyzátor Ixia umístěný v laboratoři transportních sítí, konkrétně pro program IxAutomate byly zakoupeny pouze licence pro testy dle doporučení RFC 2544 a RFC 2889.

4 ANALYZÁTOR PROVOZU ENDACE

Hlavní funkcionalitou analyzátoru EndaceProbe 7000 je pasivní monitorování síťového provozu a jeho záznam na datové úložiště. Pasivní monitorování je typické tím, že neodesílá do sítě žádný testovací provoz, ani nijak jinak síť neovlivňuje, pouze zaznamenává a následně vyhodnocuje zachycený provoz. Popřípadě lze zaznamenaný provoz odeslat zpět do sítě.



Obrázek 5: Analyzátor Endace

Hardwarová konfigurace je postavena na serverové platformě Intel Westmere s více procesory a operační pamětí o kapacitě 48 GB. Pro zachycený provoz slouží diskové pole SAS složené z 16 disků, každý o kapacitě 600 GB, konfigurovaných jako RAID pole typu 50.

Analyzátor na rozdíl od jiných prvků v síti (například servery) nemají možnost regulovat síťový provoz, a proto hrozí, že nezachytí 100 % provozu ve sledované síti.

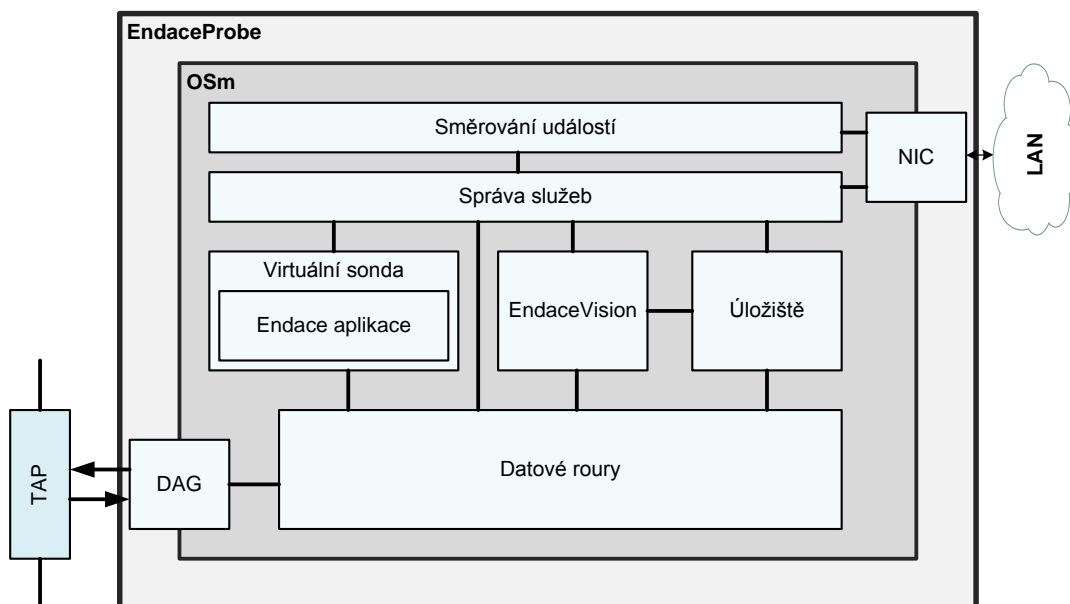
V tomto případě, kdy je monitorován provoz o maximální šířce pásma 2×10 Gbps, je problém v náročnosti zpracování velkého objemu dat v reálném čase, proto jsou využívány speciální hardwarové monitorovací karty DAG, založené na programovatelných polích FPGA, aby bylo docíleno zaznamenání veškerého provozu. Přesněji se jedná o kartu Endace DAG9.2X2 obsahující dva SFP+ transceivery s optickým rozhraním pracující dle standardu 10GBASE-LR. Karta garantuje 100 % zachycení síťového provozu bez ohledu na provozní zatížení. [9]

Síťový provoz lze zaznamenávat řádově minuty až hodiny v závislosti na vytížení linky. Doba je také závislá na kapacitě diskového pole, konfiguraci diskového pole (RAID) a průměrné délce rámce. [6]

Zaznamenaný provoz lze případně odeslat zpět do sítě, provést vyhodnocení pomocí uživatelsky definovatelných filtrů nebo uložený provoz exportovat ve formátu PCAP. Například lze vyhodnocovat aplikační protokoly z hlediska nároků na šířku pásma.

4.1 Architektura

Analyzátor standardně pracuje na proprietárním operačním systému OSm (Endace Operating System for Monitoring), ale k dispozici je také operační systém ODE (Open Development Environment), představující linuxovou distribuci CentOS s předinstalovanými plně optimalizovanými knihovnami pro karty DAG. Tento otevřený operační systém je vhodný k vývoji vlastních aplikací. [8]



Obrázek 6: Architektura analyzátoru

Manipulace s pakety je prováděna pomocí datových rour, které přenášejí ERF záznamy ze vstupu na výstup. Každý ERF záznam se skládá ze zachyceného paketu a metadat (časová značka, číslo portu, délka paketu...).

Možné vstupy a výstupy datové roury jsou následující: [7]

- Monitorovací DAG rozhraní, jedná se o fyzické rozhraní analyzátoru připojené typicky na optický rozbočovač (TAP) nebo rozhraní přepínače zrcadlící provoz. Je možné použít více vstupních rozhraní pro jednu datovou rouru.
- Síťové rozhraní eth0 a eth1 (NIC) v promiskuitním režimu. Přijaté pakety jsou zachyceny, označeny časovou značkou a umístěny do ERF záznamu. Časové značky jsou odvozeny od standardního systémového času. Síťové rozhraní eth0 je primárně určeno pro správu. Doporučuje se používat pouze rozhraní eth1 jako monitorovací.
- Virtuální DAG rozhraní (vDAG). Datové rozhraní mezi analyzátozem a virtuálním strojem (VM) pro přenos ERF záznamů.

- Definováním síťové adresy lze zajistit přenos ERF záznamů z analyzátoru na externí úložiště prostřednictvím rozhraní určené ke správě (eth0). Je nutné nastavit IP adresu, port a transportní protokol (UDP, TCP).
- Rotation File je určeno pro ukládání síťového provozu na úložiště. Má dva limity, maximální velikost a maximální čas (čas mezi nejstarším a nejnovějším ERF záznamem).

Volitelné lze v rámci datové roury aplikovat statické filtry, odstranit duplikátní pakety nebo přidat zpoždění.

Aplikace EndaceVision slouží k analýze síťového provozu. Je plně integrována v OSM a tedy i ve webovém prostředí. Přesněji jde o grafické znázornění síťového provozu zachycené analyzátozem. Součástí je i možnost nastavit alarmy při překročení prahových hodnot zachyceného provozu.

Kromě integrované aplikace EndaceVision lze další aplikace provozovat ve virtuálních strojích (VM), jedná se o obdobu platformy ODE. Komunikace probíhá pomocí virtuálních DAG rozhraní. [7]

V rámci směrování událostí probíhá vytváření a přijímání událostí, například odeslání upozornění na e-mail nebo pomocí protokolu SNMP, provedení rekonfigurace datové roury nebo záznam do systémového logu.

Správa analyzátoru je možná pomocí příkazového řádku prostřednictvím SSH spojení, grafického webového rozhraní skrze HTTPS protokol nebo je k dispozici API rozhraní.

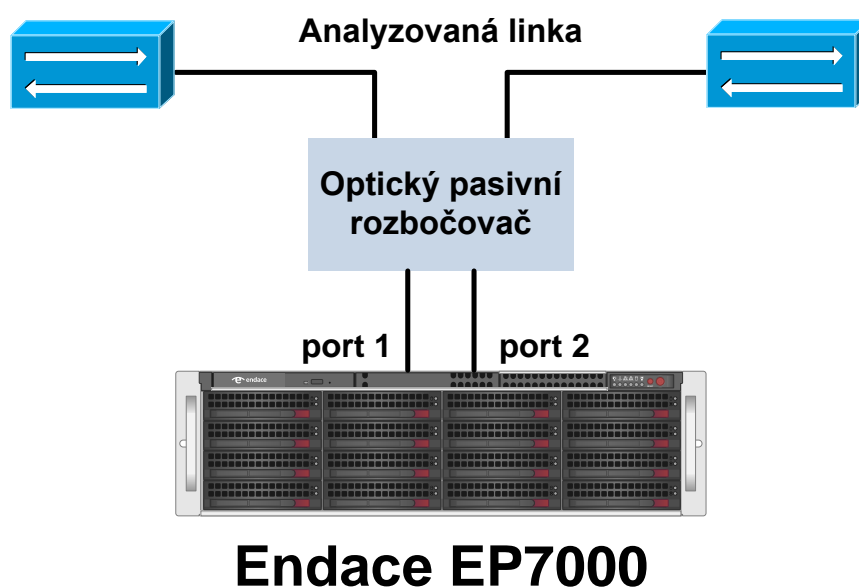
4.2 Zapojení analyzátoru do sítě

Nejčastější způsob zapojení analyzátoru do sítě je pomocí pasivního optického rozbočovače (TAP) nebo připojením na rozhraní síťového prvku, který kopíruje na dané rozhraní veškerý provoz, tzv. zrcadlení provozu.

4.2.1 Pomocí optického rozbočovače

Externí součástí analyzátoru v laboratoři transportních sítí je optický pasivní rozbočovač (TAP) obsahující dvě plně duplexní optické desetigigabitové Ethernet rozhraní pracující jako průchozí a monitorovací rozhraní (výstup) sloužící k odbočení signálu. Typické zapojení je uvedeno na obrázku 7.

Výhodou optického pasivního rozbočovače je, že nezpůsobuje zpoždění, tj. zachovává časovou charakteristiku provozu. Nevýhodou je nutnost rozpojení analyzované linky, což v případě páteřních linek může být problematické. Další nevýhodou je nutnost pro každý směr přenosu využít jedno rozhraní, proto pro monitorování obou směrů jsou používány obě rozhraní karty DAG. [27]



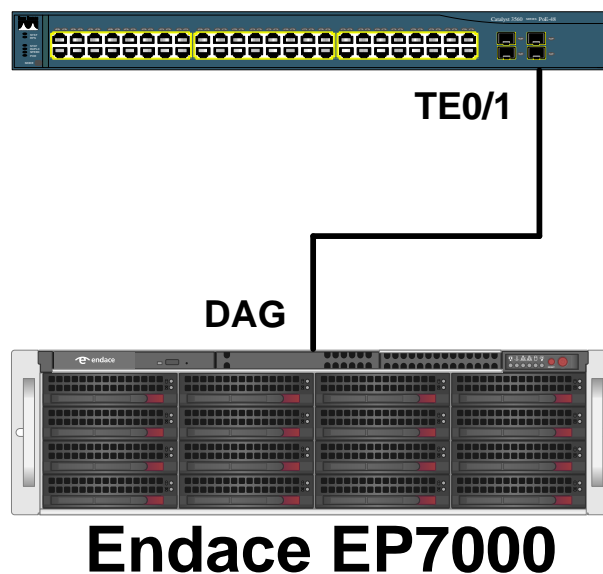
Obrázek 7: Příklad zapojení analyzátoru prostřednictvím optického rozbočovače

4.2.2 Pomocí přepínače a zrcadlení provozu

Další možná metoda monitorování síťového provozu je pomocí přepínače. Veškeré rámce jsou z definovaných rozhraní (jednoho nebo více) zrcadleny (kopírovány) na jedno cílové rozhraní. Na tomto cílovém rozhraní je připojen analyzátor, který přijímá rámce. Není zachována časová charakteristika provozu jako v případě pasivního rozbočovače. Používá se ke sledování síťového provozu, konkrétněji například k detekci průniků (IDS) nebo k záznamu VoIP hovorů.

Nevýhodou zrcadlení provozu na přepínači je ten, že může spotřebovávat nezanedbatelné množství výkonu procesoru přepínače a tím se snižuje výkonnost přepínání a může docházet i ke ztrátám rámců. Proto pro dlouhodobé monitorování se doporučuje používat pasivní rozbočovač. Další problém nastává při zrcadlení plně duplexního provozu o vysokém zatížení, například pokud je v obou směrech přenášén provoz o šířce pásma 10 Gbps, celkem je tedy zrcadlena šířka pásma 20 Gbps a tu nedokáže rozhraní 10 Gbps přepínače zrcadlit. Obecně je nutné se vyvarovat zrcadlení provozu z rychlejšího na pomalejší rozhraní. [27]

Přepínač s podporou zrcadlení provozu



Obrázek 8: Příklad připojení analyzátoru k přepínači

4.3 Analýza provozu sítě

Z hlediska bezpečnosti není možné, aby nepovolaná osoba zachytávala provoz v reálné síti, proto je zde analyzátor připojen pouze do laboratorní vysokorychlostní sítě prostřednictvím přepínače s funkcí zrcadlení provozu. Zapojení přepínače a analyzátoru je uvedeno na obrázku 9.

Na přepínačích Cisco se funkce zrcadlení provozu nazývá Switched Port Analyzer – SPAN. Jedná se o funkci pracující v rámci jednoho přepínače, kde provoz z jednoho zdrojového (sledovaného) rozhraní, popřípadě více rozhraní nebo celé virtuální LAN, je zrcadlen (kopírován) na cílové rozhraní. Rozhraní nakonfigurované pro SPAN jako cílové neumožňuje připojenému síťovému zařízení komunikovat, pouze na něj kopíruje veškerou komunikaci ze sledovaných rozhraní.

Na přepínačích Cisco existuje také funkce Remote Switched Port Analyzer – RSPAN, která umožňuje kopírovat provoz z rozhraní dislokovaných na více přepínačích. [3]

Konfigurace přepínače

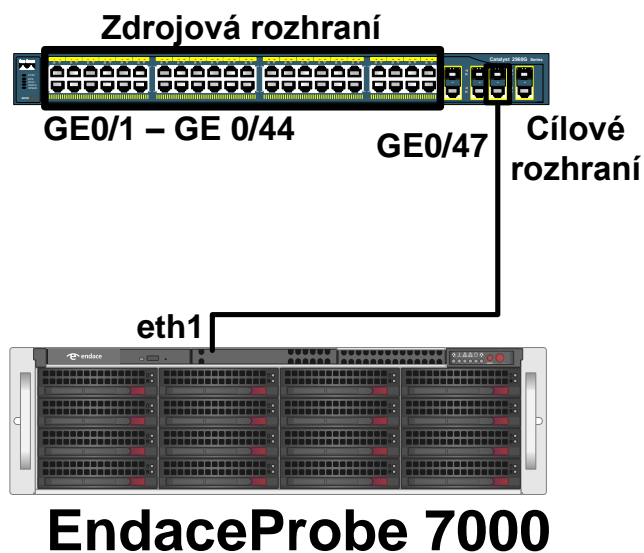
Vytvoření monitorovací relace se provádí definováním zdrojového rozhraní, popřípadě více rozhraní nebo celé virtuální LAN sítě a cílového rozhraní, na které je kopírován provoz. Následující příkaz nastavuje jako zdrojové rozhraní Gigabit Ethernet 0/1 až 0/44 a jako cílové rozhraní Gigabit Ethernet 0/47. [22]

```
Switch(config)# monitor session 1 source interface gi 0/1 - 0/44
Switch(config)# monitor session 1 destination interface gi 0/47
```

Pro kontrolu je vhodné zobrazit následující výpis konfigurace SPAN:

```
Switch#show monitor session 1 detail
```

```
Session 1
-----
Type                : Local Session
Description         : -
Source Ports        :
    RX Only         : None
    TX Only         : None
    Both            : Gi0/1-44
Source VLANs        :
    RX Only         : None
    TX Only         : None
    Both            : None
Source RSPAN VLAN   : None
Destination Ports   : Gi0/47
    Encapsulation   : Native
    Ingress         : Disabled
Filter VLANs        : None
Dest RSPAN VLAN     : None
```



Obrázek 9: Zapojení analyzátoru k přepínači

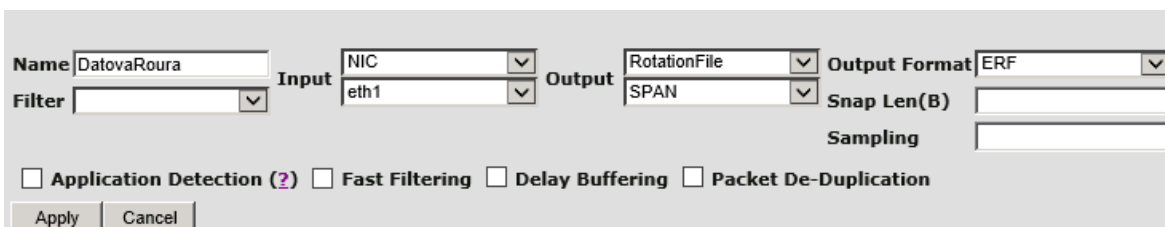
Konfigurace analyzátoru

Základním prvkem analyzátoru je datová roura, kterou je nutné vytvořit a nastavit vstup a výstup. Vstupem v tomto případě nebude rozhraní DAG karty, ale síťové rozhraní eth1 propojené s přepínačem. Rozhraní eth1 je sice určené spíše pro správu analyzátoru, ale lze jej využít i k účelu zachytávání provozu s omezenými možnostmi. Výstup datové roury je soubor Rotation File do kterého se ukládá zachycený provoz. Tento soubor je nutné vytvořit ještě před definováním datové roury. [7]

Nastavení souboru Rotation File je zobrazeno na obrázku 10 a nastavení datové roury na obrázku 11.

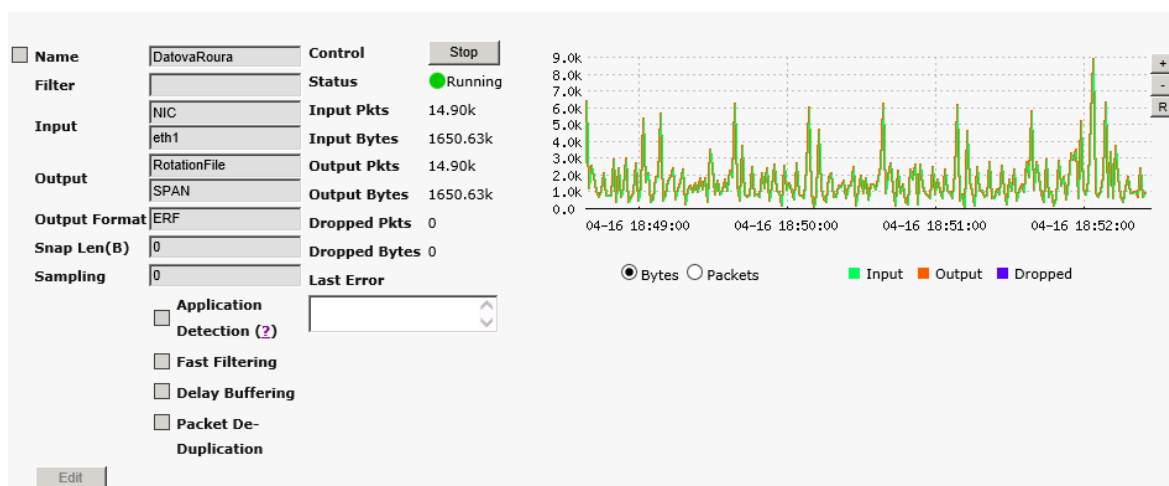


Obrázek 10: Vytvoření Rotation File



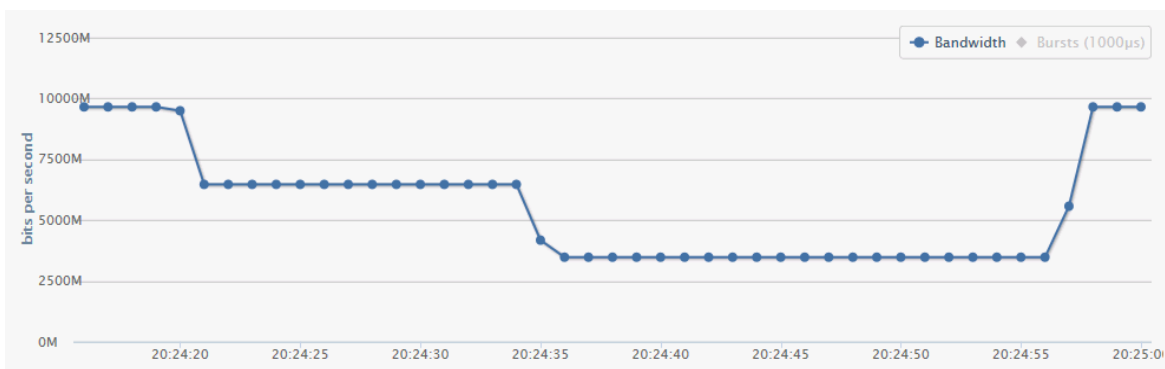
Obrázek 11: Nastavení datové roury

Spuštění zachytávání provozu se provádí pomocí tlačítka Start v záložce Data Pipe. Následně je textově i graficky zobrazováno aktuální množství zaznamenaných dat a paketů jak je vidět na obrázku 12. [7]

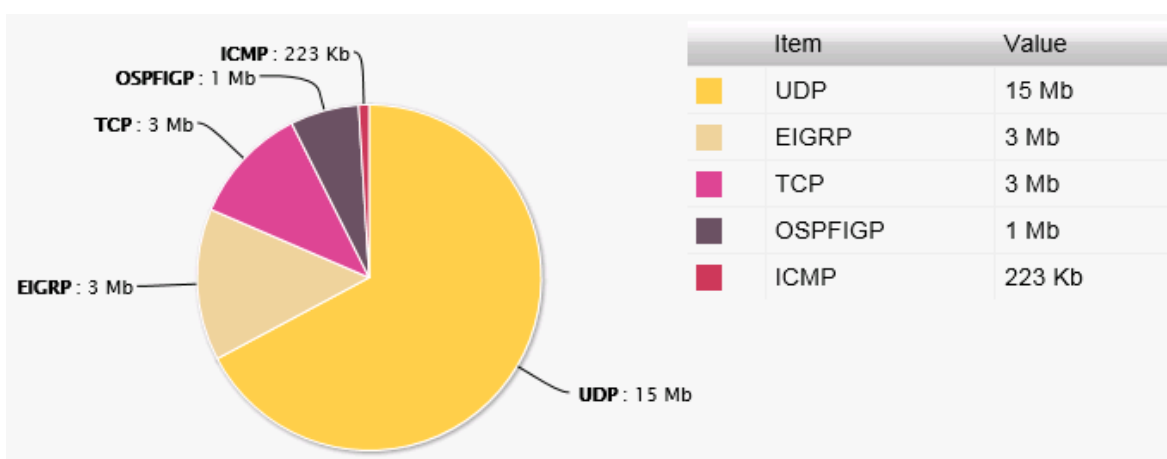


Obrázek 12: Záznam zachyceného provozu

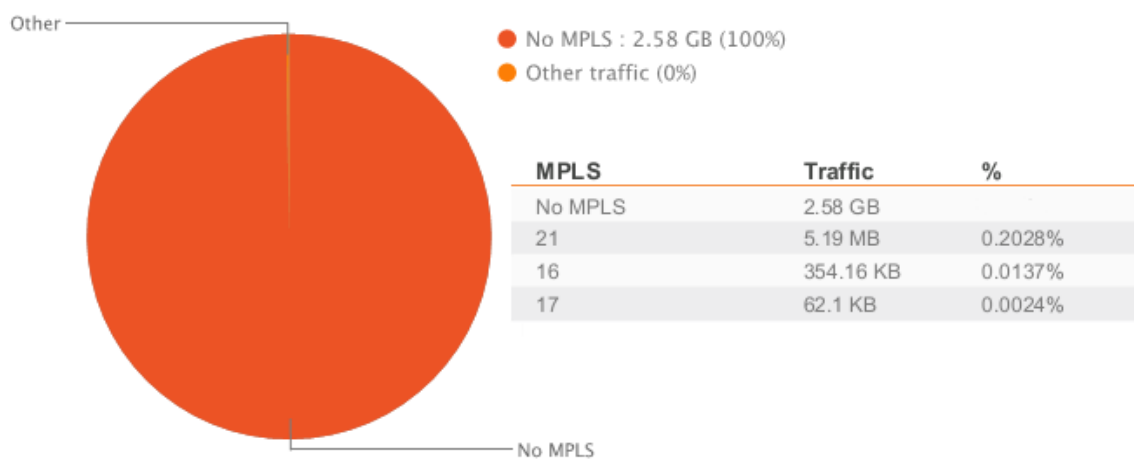
Výsledky analýzy



Obrázek 13: Graf šířky pásma zachyceného provozu v závislosti na čase

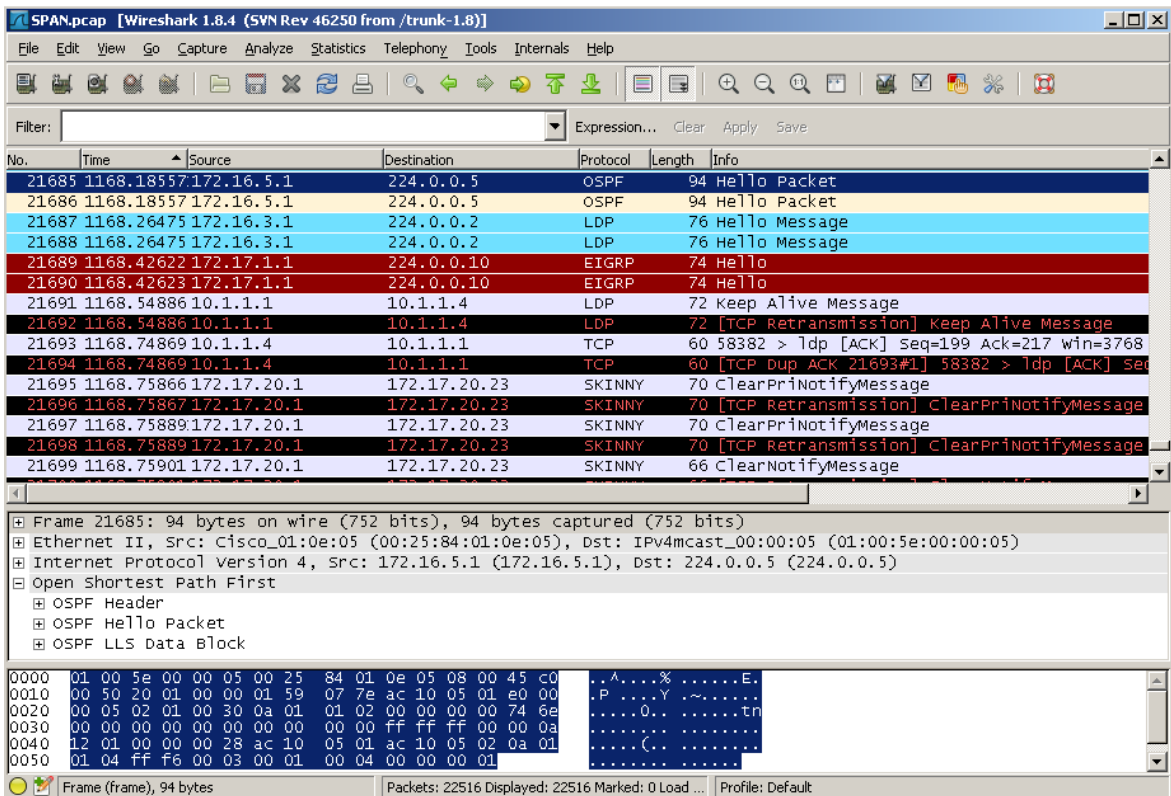


Obrázek 14: Analýza složení zachyceného provozu z hlediska protokolu



Obrázek 15: Analýza složení zachyceného provozu z hlediska MPLS návštějí

Soubor Rotation File je možné stáhnout ve formátu ERF nebo PCAP a následně analyzovat pomocí Wiresharku nebo jiného paketového analyzátoru.



Obrázek 16: Analýza zachyceného provozu v programu Wireshark

Konfigurovat a generovat reporty lze pouze prostřednictvím příkazové řádky (CLI). Výstupní formát reportů je možný nejen v PDF, ale i HTML, XML nebo CSV. Pro zobrazení reportů je nutný export z analyzátoru pomocí protokolu FTP nebo lze report zaslat na emailovou adresu.

Jsou k dispozici šablony analyzující provoz (a generující reporty) na základě parametrů:

- aplikace (traffic application),
- šířky pásma zachyceného provozu (bandwidth),
- cílové IP adresy (traffic IP destination),
- zdrojové IP adresy (traffic IP source),
- cílové MAC adresy (traffic MAC destination),
- zdrojové MAC adresy (traffic MAC source),
- MPLS návěští (traffic mpls),
- cílové číslo portu (traffic port destination),
- zdrojové číslo portu (traffic port source),
- protokolu (traffic protocol),
- VLAN značky (traffic vlan).

5 ZÁTĚŽOVÉ TESTY

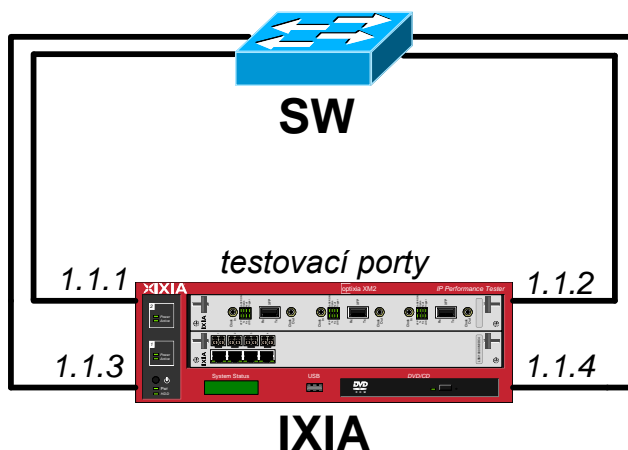
5.1 Výkonnostní parametry přepínačů

Tento zátěžový test je zaměřen na výkonnostní parametry zařízení pracujících na linkové vrstvě, konkrétně v tomto případě na tři přepínače uvedené v tabulce 7. SW3 je sice směrovač, ale testy byly prováděny na integrovaném přepínači.

Tabulka 7: Testované přepínače

Označení	Typ	Popis
SW1	Micronet SP608K	8× rozhraní 10/100 Mbps Ethernet
SW2	HP ProCurve 2626	24× rozhraní 10/100 Mbps Ethernet
SW3	Cisco 871	5× rozhraní 10/100 Mbps Ethernet

Metodika určená k testování přepínačů je popisována doporučením RFC 2889 a byla pro testování výkonnostních parametrů v tomto případě pro většinu parametrů použita.



Obrázek 17: Zapojení testovaných přepínačů k analyzátoru

K měření byl použit analyzátor Ixia, obslužný program IxAutomate a čtyři rozhraní 1000BASE-T, ale jelikož všechny rozhraní testovaných přepínačů jsou 100 Mbps, proto rozhraní analyzátoru byla nastavena na rychlost 100 Mbps a režim na plně duplexní. Zapojení je zobrazeno na obrázku 17. Použity jsou všechny dostupné metalické rozhraní analyzátoru, dále označovaná jako 1.1.1 až 1.1.4.

5.1.1 Výsledky měření

Tabulka 8: Porovnání propustnosti typu Fully meshed

Délka rámce	Propustnost		
	SW1	SW2	SW3
[B]	[Mbps]	[Mbps]	[Mbps]
64	304,8	304,8	303,0
128	345,9	345,9	344,8
256	371,0	371,0	371,0
512	385,0	385,0	385,0
1 024	392,3	392,3	392,3
1 280	393,8	393,8	393,8
1 518	394,8	394,8	394,8

Tabulka 9: Porovnání propustnosti typu One to many

Délka rámce	Propustnost		
	SW1	SW2	SW3
[B]	[FPS]	[FPS]	[FPS]
64	198 436	198 436	198 436
128	112 626	112 626	112 626
256	60 382	60 382	60 382
512	31 326	31 326	31 326
1 024	15 966	15 966	15 963
1 280	12 822	12 822	12 819
1 518	10 837	10 839	10 835

Testů pro měření propustnosti je více dle použitých zdrojových a cílových rozhraní, v prvním případě byl použit test Fully meshed dle doporučení RFC 2889, který generuje testovací provoz ze všech rozhraní na všechny ostatní, například rozhraní 1.1.1 generuje provoz na 1.1.2 až 1.1.4 a všechny ostatní stejným způsobem. V tabulce 8 je výsledek celkové propustnosti přepínačů. Hodnoty jednotlivých přepínačů jsou podobné, neliší se o více jak 2 Mbps.

Druhý test propustnosti je One to many, generuje provoz pouze z jednoho rozhraní na ostatní, ale jelikož rozhraní pracují v plně duplexním režimu a měření je prováděno v obou směrech, tak provoz je generován i zpět z ostatních rozhraní, například z rozhraní 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4 na 1.1.1.

V tabulce 9 jsou uvedeny změřené hodnoty propustnosti, ale tentokrát v rámcich za sekundu – FPS, aby byly lépe pozorovatelné malé rozdíly dosažené propustnosti. Z výsledků lze zjistit, že propustnost mezi jednotlivými přepínači se odlišuje maximálně o 4 FPS.

Tabulka 10: Porovnání průměrného zpoždění

Délka rámce [B]	Průměrné zpoždění		
	SW1 [μs]	SW2 [μs]	SW3 [μs]
64	8,4	15,8	320,8
128	13,6	16,4	561,9
256	23,8	27,0	778,8
512	44,2	47,6	806,4
1 024	85,1	88,8	849,7
1 280	105,6	108,2	868,9
1 518	124,7	128,0	886,8

Pro zjištění zpoždění byl použit test dle doporučení RFC 2544. Zpoždění bylo měřeno při konstantním a plném zatížení. Je možné měřit dva typy zpoždění a to store and forward a cut through. V tomto případě se jedná o zpoždění cut through.

V tabulce 10 jsou uvedeny průměrné hodnoty zpoždění všech tří přepínačů, průměrovány jsou z pěti měření.

Tabulka 11: Porovnání velikostí tabulek MAC adres

Délka rámce [B]	Velikost tabulky MAC adres		
	SW1 [záznamů]	SW2 [záznamů]	SW3 [záznamů]
64	647	62	499
128	647	62	729
256	795	62	729
512	795	126	729
1 024	795	62	729
1 280	869	127	729
1 518	943	62	729

V tabulce jsou uvedeny výsledky z měření Address caching capacity dle doporučení RFC 2889. Výsledný parametr tohoto měření je maximální počet MAC adres, které lze uložit do tabulky přepínače.

Tabulka 12: Rychlost učení MAC adres

Délka rámce [B]	Rychlost učení MAC adres		
	SW1 [FPS]	SW2 [FPS]	SW3 [FPS]
64	446 430	4 800	<10
128	253 377	4 200	<10
256	135 870	4 065	<10
512	70 488	3 582	<10
1 024	35 919	3 993	<10
1 280	28 845	4 395	<10
1 518	24 381	4 008	<10

V souvislosti s MAC adresami je definován test Address learning rate popisující rychlost učení MAC adres. Výsledné hodnoty parametru jsou uvedeny v tabulce 12. V případě přepínače SW3 analyzátor vyhodnotil rychlost menší než 10 FPS.

Tabulka 13: Výsledek měření orientovaný na řízení zahlcení

Délka rámce	Počet ztracených rámců k celkovému počtu odeslaných		
	SW1	SW2	SW3
[B]	[%]	[%]	[%]
64	50	50	100
128	50	50	50
256	50	50	50
512	50	50	50
1 024	50	50	50
1 280	50	50	50
1 518	50	50	50

Výsledek měření Back Pressure dle doporučení RFC 2889 je v tabulce 13. Tabulka uvádí počet ztracených rámců vyjádřených procentně k celkovému počtu odeslaných rámců z rozhraní 1.1.2, 1.1.3 a 1.1.4 na rozhraní 1.1.1. Jelikož nastaly ztráty rámců a to minimálně polovina, lze konstatovat, že řízení toku u všech přepínačů funkční není.

Tabulka 14: Propustnost všesměrových rámců

Délka rámce	Propustnost všesměrových rámců		
	SW1	SW2	SW3
[B]	[FPS]	[FPS]	[FPS]
64	73	74 405	74 184
128	72	42 230	42 230
256	77	22 645	22 645
512	77	11 748	11 748
1 024	79	5 987	5 987
1 280	79	4 808	4 808
1 518	79	4 064	4 064

Tabulka 14 popisuje propustnost přepínačů při přeposílání všesměrových rámců. Hodnoty propustnosti jsou získány na základě testu Broadcast frame Forwarding dle doporučení RFC 2889. Přepínač SW1 má řádově nižší propustnost než ostatní přepínače.

Tabulka 15: Výsledek měření Frame Error Filtering

Délka rámce [B]	Počet přijatých rámců		
	SW1	SW2	SW3
26	0	0	0
32	0	0	0
63	0	0	0

Výsledky z měření Frame Error Filtering jsou v tabulce 15. V rámci měření jsou generovány rámce menší než 64 B, rámce s chybným kontrolním součtem a je kontrolováno, zda jsou přeposlány. V tabulce 15 je tedy vidět, že žádný rámec není přijat, což znamená, že všechny testované přepínače nestandardní (chybné apod.) rámce nepřeposílají. Výsledek lze hodnotit jako úspěšný.

Tabulka 16: Výsledek měření Head of Line Blocking

Délka rámce [B]	Počet ztracených rámců odeslaných z 1.1.1 a 1.1.3		
	SW1	SW2	SW3
64	0	0	1 813 167
128	0	0	633 277
256	0	0	340 032
512	0	0	176 270
1 024	0	0	89 911
1 280	0	0	71 168
1 518	24 068	0	62 944

Head of Line Blocking nastává, když dochází ke ztrátě rámců určených pro nepřetížené rozhraní. Důvodem je čekání rámců ve frontě, než jsou odbaveny předchozí rámce.

V tomto případě je z rozhraní 1.1.1 odesílán testovací provoz na rozhraní 1.1.3 a 1.1.4 a z rozhraní 1.1.2 na 1.1.4. Rozhraní 1.1.4 je tedy přetížené. Z tabulky 16 lze tedy usoudit, že pokud byly ztraceny rámce odeslané z rozhraní 1.1.1 na 1.1.3 (nepřetížené rozhraní) nastala událost Head of line blocking.

5.2 Porovnání metod přeposílání paketů

Cílem tohoto zátěžového testu je porovnání výkonnostních parametrů směrovače, zejména propustnosti a zpoždění v závislosti na použité metodě přeposílání paketů. Postup přeposílání paketů a možné metody jsou dále popsány.

Postup při přeposílání (směrování) paketů: [31]

1. Ověření integrity přijatého rámce pomocí kontrolního součtu. V případě, že vypočtená hodnota se neshoduje s hodnotou v poli Frame Check Sequence – FCS je rámec zahozen.
2. Rozbalení paketu z rámce, tj. odstranění záhlaví a zápatí rámce a kontrola integrity záhlaví IP paketu. Pokud je vypočtená hodnota shodná s hodnotou v poli kontrolní součet IP záhlaví, pokračuje paket dále, pokud se hodnoty neshodují paket je zahozen.
3. Pokud dle cílové IP adresy paketu se jedná o IP adresu přímo připojené sítě (lokální IP adresu) je paket přímo zaslán (pomocí ARP protokolu je zjištěna cílová MAC adresa), pokud ne pokračuje postup dále.
4. Následuje kontrola pole Time to Live – TTL, jestli je větší jak 1 následuje další bod, pokud je hodnota pole TTL = 1, dojde k zahození paketu a odeslání ICMP zprávy čas vypršel.
5. Podle cílové IP adresy je vyhledán vyhovující záznam ve směrovací tabulce. K vyhledání je použita IP adresa sítě vypočítaná logickým součinem cílové IP adresy a masky sítě. Pokud není nalezena žádná shoda je paket zahozen a odeslána ICMP zpráva cíl nedostupný.
6. K IP adrese výstupního rozhraní je vyhledána MAC adresa pomocí ARP protokolu.
7. Následně je v záhlaví paketu dekrementována hodnota pole TTL a přepočítán kontrolní součet IP záhlaví.
8. Zabalení paketu do rámce, tj. vytvoření záhlaví a zápatí rámce a odeslání.

Tento výše popsaný postup je metoda Process Switching. Nejdélší čas zabírají kroky 5 a 6.

Popis metod přeposílání paketů použitých v tomto testu:

Process Switching

Jedná se o nejstarší, nejjednodušší a nejpomalejší metodu. K rozhodování o přeposílání je použita směrovací tabulka, tzv. Routing Information Base – RIB a ARP tabulka.

Pakety jsou v rámci směrovače zpracovávány procesorem na úrovni procesů spolu s ostatními procesy. V případě směrovače Cisco v rámci procesů Internetwork Operating System – IOS. Zjednodušeně proces načte paket ze vstupní fronty, vyhledá cílovou adresu, popřípadě provede další operace související s překladem adres (NAT) nebo paketovým filtrem (ACL) a předá paket do fronty výstupního rozhraní. [1], [30], [31]

Fast Switching

Metoda jinak také nazývána jako Router Cache nebo rychlé přepínání. Jedná se o vylepšení metody Process Switching uspořádáním záznamů do stromové struktury.

První paket je zpracován metodou Process Switched a výsledek je zaznamenán do Route Cache, což je stromová struktura umožňující rychlý přístup a vyhledávání (binární vyhledávací strom). Další pakety jsou porovnány s Route Cache a pokud je nalezena shoda, tak využívají informace z Route Cache (výstupní rozhraní, údaje pro vytvoření rámce). V dnešní době se jedná o běžnou metodu levných směrovačů. [1], [30], [31]

Cisco Express Forwarding

Zkráceně CEF. Jedná se o vylepšení metody Fast Switching, ale neukládá veškeré údaje do jedné struktury, ale využívá datovou strukturu Forwarding Information Base – FIB a tabulku sousedství (adjacency table).

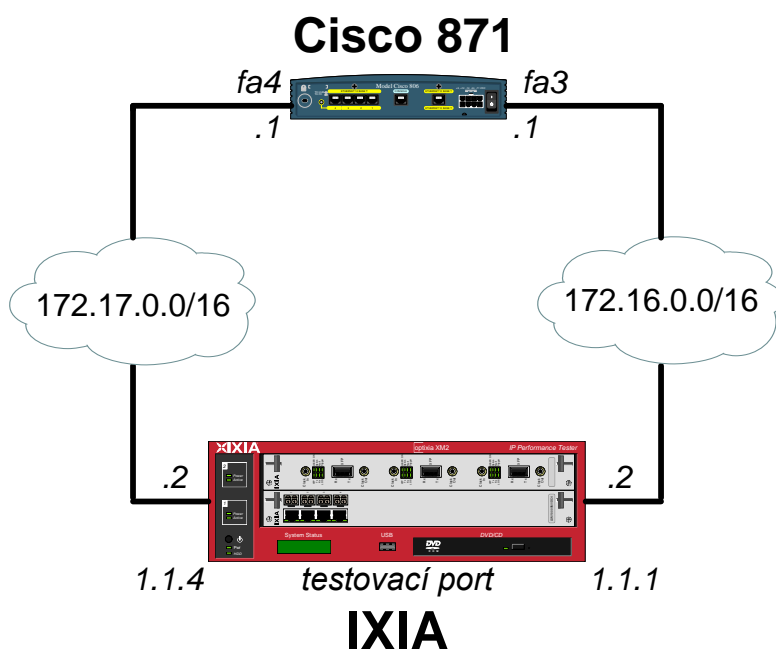
Položky směrovací tabulky jsou uspořádány do datové struktury FIB, která je optimalizována pro rychlé vyhledávání dle cílové IP adresy. Tabulka sousedství obsahuje údaje potřebné k přeposílání rámců na linkové vrstvě. Položky ve FIB pomocí ukazatelů odkazují na položky v tabulce sousedství. Změna v tabulce sousedství nevyžaduje změnu v FIB. V případě použití technologie MPLS musí být CEF aktivní.

Samotná realizace CEF je možná dvěma způsoby. První způsob je softwarový. V tomto případě jsou obě struktury (FIB i tabulka sousedství) uloženy v paměti RAM. Menší směrovače využívají tento způsob.

Druhý způsob je hardwarová implementace CEF pomocí speciálních integrovaných obvodů. Vyrovnávací paměť Ternary Content Addressable Memory – TCAM se používá pro uložení struktury FIB a vyrovnávací paměť Content Addressable Memory – CAM pro uložení údajů pro přepínání rámců (MAC adresy, rozhraní). Tento způsob využívají vícevrstvé přepínače a výkonné směrovače. [1], [30], [31]

V rámci tohoto testu byl použit směrovač Cisco 871 obsahující 5× rozhraní 100BASE-T. Přesněji 4× rozhraní LAN představující integrovaný přepínač a 1× rozhraní WAN. V tomto případě bylo použito rozhraní FastEthernet3 pro LAN síť 172.16.0.0/16 připojenou na rozhraní 1.1.1 analyzátoru Ixia. A rozhraní FastEthernet4 pro WAN síť 172.17.0.0/16 připojenou na rozhraní 1.1.4 analyzátoru Ixia. Schéma zapojení je zobrazeno na obrázku 18.

K získání parametrů propustnosti, zpoždění a zatžitelnosti byly použity testy dle metodiky popsané v doporučení RFC 2544.



Obrázek 18: Zapojení směrovače k analyzátoru Ixia

Konfigurace

CEF musí být aktivován na vstupním rozhraní, jinak je použita metoda Fast Switching. Když je na vstupním rozhraní aktivní CEF je použita nezávisle na nastavení výstupního rozhraní. [30]

Deaktivace CEF, aktivace Fast Switching:

```
Router(config)# no ip cef
```

Deaktivace Fast Switching, aktivace Process Switching:

```
Router(config-if)# no ip route-cache
```

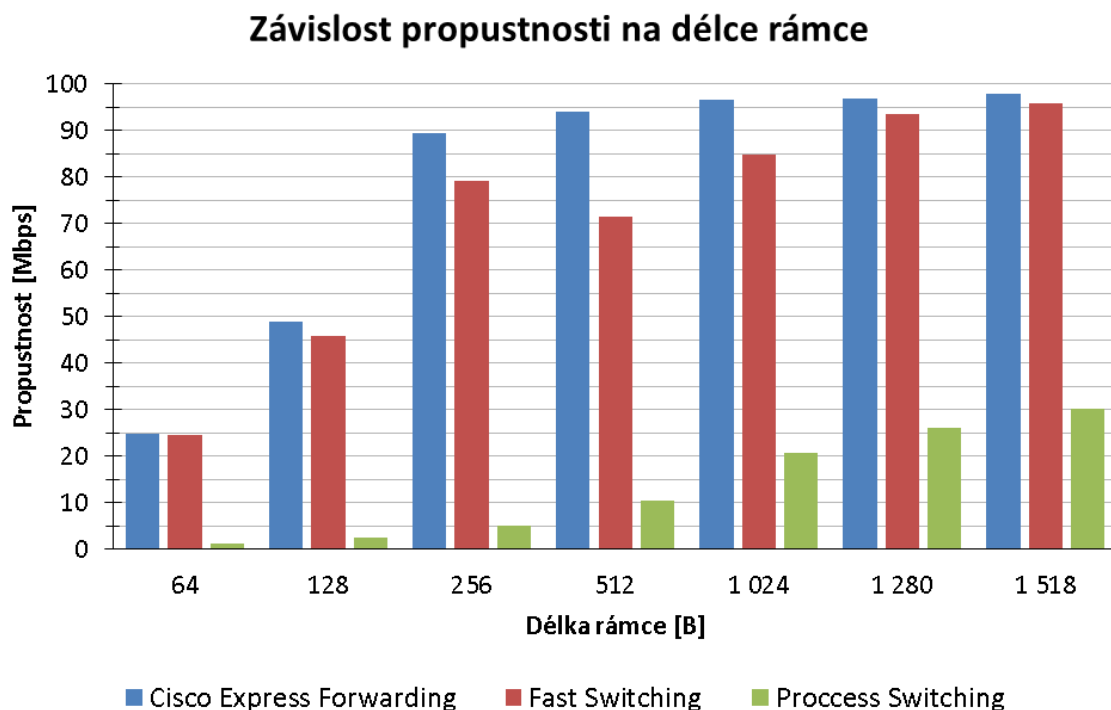
Ověření konfigurace:

```
Router# show ip interface fastEthernet 4
```

5.2.1 Výsledky měření

Tabulka 17: Porovnání propustnosti dle metody přeposílání paketů

Délka rámce	Propustnost					
	CEF		Fast Switching		Process Switching	
	[B]	[FPS]	[Mbps]	[FPS]	[Mbps]	[Mbps]
64	48 550	24,9	48 175	24,7	2 327	1,2
128	47 865	49,0	44 769	45,8	2 421	2,5
256	43 630	89,4	38 639	79,1	2 478	5,1
512	22 957	94,0	17 462	71,5	2 570	10,5
1 024	11 787	96,6	10 355	84,8	2 526	20,7
1 280	9 470	97,0	9 144	93,6	2 554	26,2
1 518	8 067	98,0	7 897	95,9	2 498	30,3

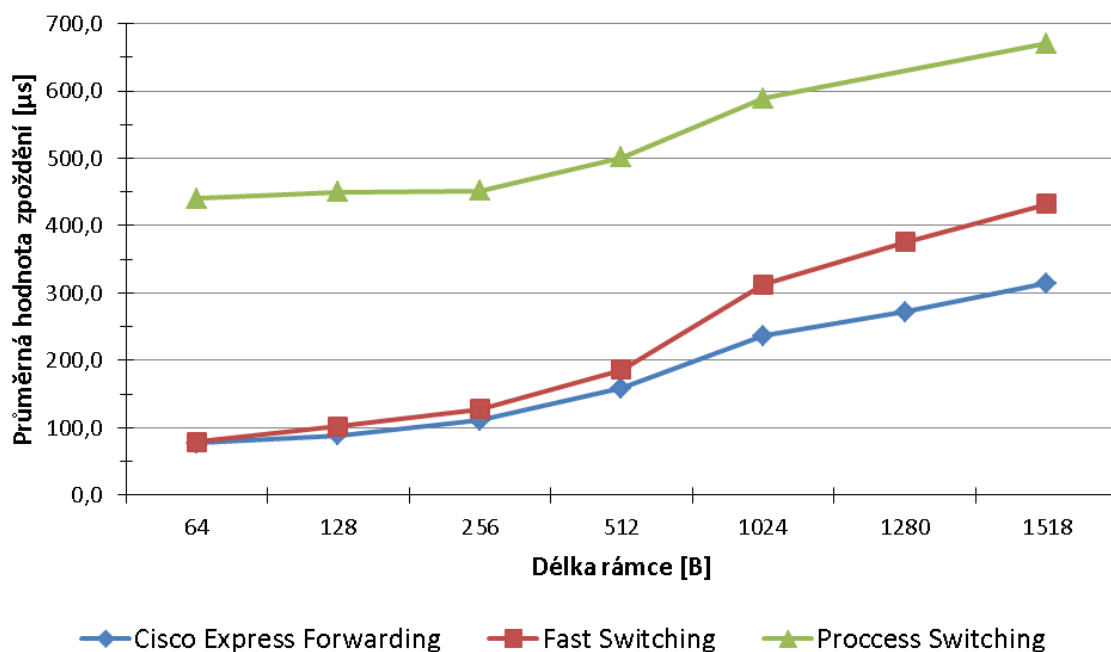


Obrázek 19: Porovnání propustnosti dle metody přeposílání paketů

Tabulka 18: Porovnání zpoždění dle metody přeposílání paketů

Délka rámce [B]	Průměrná hodnota zpoždění		
	CEF [μs]	Fast Switching [μs]	Process Switching [μs]
64	77,2	79,0	440,0
128	89,0	101,7	449,6
256	111,0	127,8	451,9
512	158,6	186,1	501,4
1 024	236,9	312,3	588,9
1 280	272,3	375,3	1656,9
1 518	314,5	432,6	670,7

Závislost průměrné hodnoty zpoždění na délce rámce



Obrázek 20: Porovnání zpoždění dle metody přeposílání paketů

Tabulka 19: Porovnání zatížitelnosti dle metody přeposílání paketů

Délka rámce [B]	Zatížitelnost		
	CEF [rámců]	Fast Switching [rámců]	Process Switching [rámců]
64	105	116	48
128	164	318	52
256	4 990	5 041	56
512	9 717	9 614	60
1 024	17 447	17 450	59
1 280	21 697	21 692	49
1 518	25 653	25 639	39

5.2.2 Závěr

Z měření propustnosti vyplývá, že metoda CEF dosahuje nejvyšších hodnot propustnosti. O průměrně 7 Mbps nižších hodnot propustnosti dosahuje metoda Fast Switching. Nejhorší propustnost dosahuje metoda Process Switching. Doba trvání jednoho měření propustnosti dosahovala cca 8 hodin. Měření bylo opakováno třikrát, proto výsledné hodnoty propustnosti jsou průměrné.

Výsledky měření zpoždění potvrzují, že nejmenšího zpoždění dosahovala metoda CEF, metoda Fast Switching měla zpoždění průměrně o 51 μ s vyšší. Nejvyšší zpoždění dosahovala metoda Process Switching a to například pro délku rámce 1518 B až dvojnásobnou oproti metodě CEF. V případě délky rámce 1280 B zpoždění dosáhlo 1657 μ s, což je trojnásobně více než sousední hodnoty zpoždění, proto pro lepší přehlednost grafu nebyla vynesena. Jedná se o typ zpoždění store and forward. Také je nutné uvést, že zpoždění bylo měřeno při propustnosti vycházející z výsledků měření propustnosti metody Process Switching a to z důvodu zajištění stejných podmínek pro všechny metody a možnosti objektivního porovnání výsledků zpoždění.

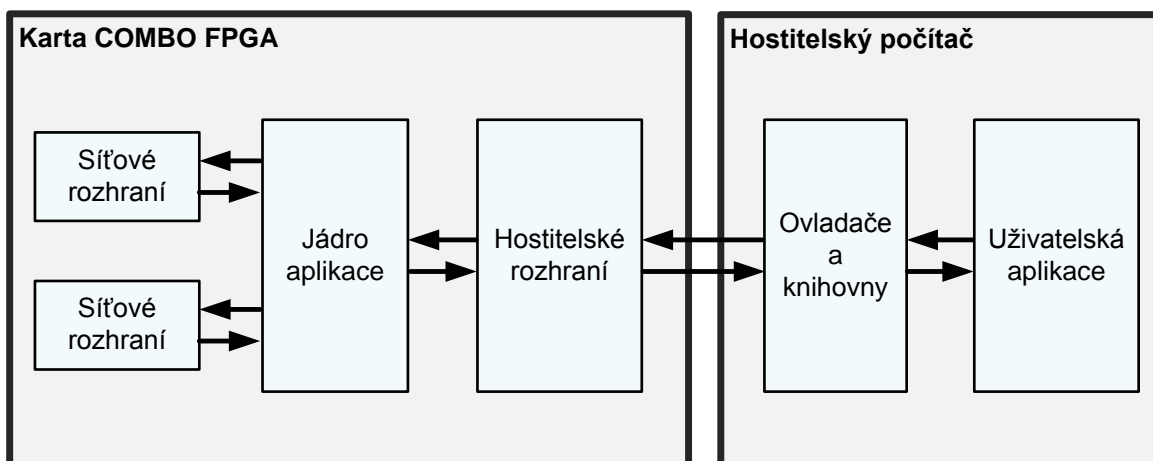
Z výsledků lze tedy konstatovat, že předpoklady z teoretické části jsou správné, tj. že metoda CEF dosahuje největších hodnot propustnosti a způsobuje nejmenší zpoždění, naopak metoda Process Switching dosahuje nejmenších hodnot propustnosti a způsobuje největší zpoždění.

6 KARTY COMBO FPGA

6.1 Úvod

Karty COMBO FPGA druhé generace označované jako COMBOv2 se skládají ze základní karty a karty rozhraní. V tomto případě se jedná o kartu základní COMBO-LXT obsahující programovatelné hradlové pole FPGA Xilinx Virtex 5. Karta rozhraní je připojována prostřednictvím konektoru Low Speed Connector – LCS nebo High Speed Interconnection – IFC. Karta rozhraní COMBO-10G2 obsahuje dvě 10 GbE rozhraní s XFP transceivery.

S hostitelským počítačem je karta propojena prostřednictvím sběrnice PCI Express x8. Hostitelský počítač představuje server Dell PowerEdge R720. Na serveru je nainstalován operační systém Linux, distribuce CentOS. [13], [14]



Obrázek 21: Zjednodušené blokové schéma NetCOPE

Pro COMBO FPGA karty je určena vývojová platforma NetCOPE usnadňující vývoj výkonných FPGA aplikací. Vytvořená abstraktní vrstva zjednodušuje vývoj a vývojář ji nemusí implementovat.

Vývoj aplikace probíhá v programovacím jazyku VHDL a výsledný kód je kompilován do firmware, do souboru mcs. Tento soubor je pak nahrán do COMBO FPGA karty. Vyvíjená aplikace je složena ze dvou částí a to softwarové části a části umístěné v jádře karty.

Karty mají širokou možnost využití. Například je lze využít pro filtrování, monitorování síťového provozu, systémy pro odhalení průniků (IDS) nebo pro rozdělování zátěže. [13], [14]

Cílem je změřit výkonnostní parametry COMBO FPGA karet pracujících ve dvou variantách konfigurace a porovnat je. V první variantě je provoz přeposlán na úrovni FPGA karty pomocí vytvořené aplikace. Druhá varianta konfigurace přeposílá provoz na úrovni operačního systému Linux (IP forwarding) a rozhraní karty jsou v režimu standardních síťových karet.

6.2 Konfigurace

Zavedení firmware

Syntetizovaný VHDL program se nahrává do FPGA karty pomocí příkazu: [14]

```
[netcope@localhost ~]$ csboot -f 0 /cesta/firmware.mcs
```

Aktivace vyrovnávacích pamětí

Po zavedení firmware jsou síťové moduly vypnuté. Pro příjem a odesílání Ethernet rámců je nutné aktivovat vyrovnávací paměti.

Aktivace vstupní vyrovnávací paměti rozhraní 0:

```
[netcope@localhost ~]$ ibufctl -i 0 -e 1
```

Aktivace výstupní vyrovnávací paměti rozhraní 0:

```
[netcope@localhost ~]$ obufctl -i 0 -e 1
```

Kontrola zda jsou vyrovnávací paměti aktivní:

```
[netcope@localhost ~]$ ibufctl -i 0
```

```
[netcope@localhost ~]$ obufctl -i 0
```

Kontrola stavu spoje (rychlosti, duplexního režimu) se provádí pomocí příkazu:

```
[netcope@localhost ~]$ phyterctl -t
```

Nastavení do režimu standardního síťových karet

Odebrání modulu z jádra:

```
[root@localhost netcope]# rmmod szedata2_cv2
```

```
[root@localhost netcope]# rmmod szedata2
```

Před zavedením modulů je nutné specifikovat parametry do souboru /etc/modprobe.conf:

```
options szedata2 no_eth=N
```

Zavedení modulů: [14]

```
[root@localhost netcope]# modprobe szedata2
```

```
[root@localhost netcope]# modprobe szedata2_cv2
```

Rozhraní ve výpisu jsou pod názvy ceth0 a ceth4:

```
[netcope@localhost ~]$ ifconfig -a
```

Dále pokračují konfigurační kroky pro režim standardních síťových rozhraní.

Nastavení IP adres

```
[root@localhost netcope]# ifconfig ceth0 172.16.0.1 netmask 255.255.0.0 up
```

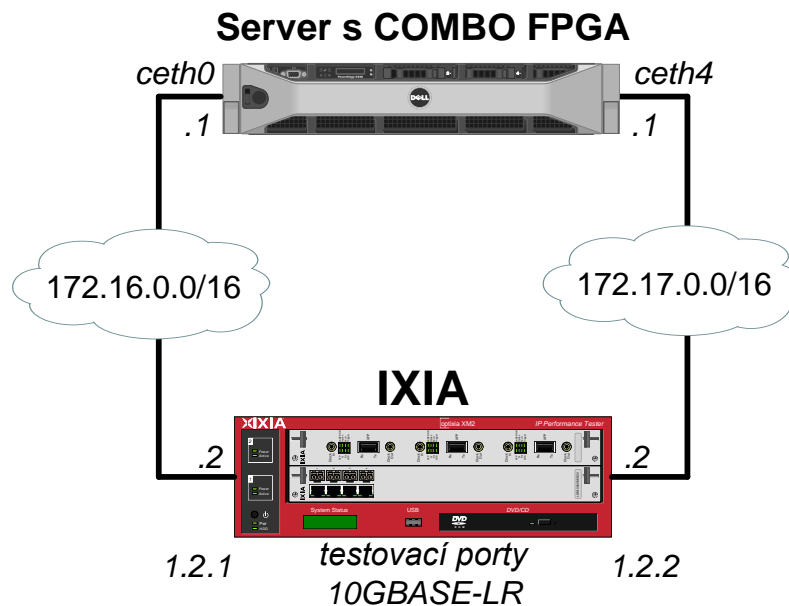
```
[root@localhost netcope]# ifconfig ceth4 172.17.0.1 netmask 255.255.0.0 up
```

Nastavení přeposílání mezi rozhraními

```
[root@localhost netcope]# echo "1" > /proc/sys/net/ipv4/ip_forward
```

6.3 Měření

K měření výkonnostních parametrů je nejvhodnější použít metodiku popsanou v doporučení RFC 2544. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku 22.



Obrázek 22: Zapojení analyzátoru k serveru obsahující COMBO FPGA kartu

7 PREZENTACE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

K prezentaci výsledků měření bylo vytvořeno v programu Microsoft Excel makro využívající programovací jazyk Visual Basic, přesněji edici VBA – Visual Basic for Application. [4], [23]

Použití programu Microsoft Excel (obecně jakýkoliv tabulkový editor) je výhodné zejména pro následnou úpravu výsledků měření, například při vytváření reportu z měření porovnávající více zařízení nebo obsahující více měření. Následně lze výsledky jednoduše exportovat v různých formátech (PDF apod.).

Prezentace výsledků měření					
Spustit					
Postup generování					
<ol style="list-style-type: none">1. Nutné povolit spouštění maker pomocí tlačítka <i>Povolit obsah</i>.2. Tlačítkem <i>Spustit</i> vyvolat nabídku pro výběr adresáře s výsledky měření3. Zvolit adresář (standardně pojmenován <i>Run000N</i>) a stisknout tlačítko <i>OK</i>.4. Pokud je adresář konzistentní, tj. obsahuje všechny soubory jsou vygenerovány výsledky.5. Jsou generovány dva listy, <i>ZdrojMereniN</i> obsahující zdrojova data.6. A list <i>NazevMereniN</i> obsahující výsledky v tabulce a grafické podobě. <p>Generovat lze výsledky z měření analyzátoru Ixia, obslužného programu IxAutomate.</p> <p>Konkrétně z měření dle standardů:</p> <table><tbody><tr><td>RFC 2544</td><td>Back to Back test, Frame Loss test, Latency test, Throughput test</td></tr><tr><td>RFC 2889</td><td>Address Cache test, Address Rate cache, Back Pressure test, Broadcast Rate test, Frame Error Filtering test, Fully Meshed Throughput test, Head of Line Blocking test, Many to Many Mesh test, Many to One test Throughput, One to Many test Throughput, Partially Meshed test</td></tr></tbody></table>		RFC 2544	Back to Back test, Frame Loss test, Latency test, Throughput test	RFC 2889	Address Cache test, Address Rate cache, Back Pressure test, Broadcast Rate test, Frame Error Filtering test, Fully Meshed Throughput test, Head of Line Blocking test, Many to Many Mesh test, Many to One test Throughput, One to Many test Throughput, Partially Meshed test
RFC 2544	Back to Back test, Frame Loss test, Latency test, Throughput test				
RFC 2889	Address Cache test, Address Rate cache, Back Pressure test, Broadcast Rate test, Frame Error Filtering test, Fully Meshed Throughput test, Head of Line Blocking test, Many to Many Mesh test, Many to One test Throughput, One to Many test Throughput, Partially Meshed test				
Vytvořeno pro program Microsoft Excel - verze 2013 a 2010. Tomáš Tápál					

Obrázek 23: Vzhled úvodního listu

Soubor je umístěn v příloze elektronické verze diplomové práce a na CD pod názvem *PrezentaceVysledkuMereni.xlsm*.

Funkčnost makra byla ověřena v programu Microsoft Excel, verze 2013 a 2010. Makro zpracovává výsledky z programu IxAutomate 7.40.121.5.

Spuštění makra

Spuštění makra je možné více způsoby. Nejdostupnějším je tlačítko „Spustit“ na úvodním listu, alternativní způsob je prostřednictvím nabídky Zobrazení – Makra a spuštění makra s názvem „Spustit“. Po spuštění je vyvolána nabídka výběru adresáře s výsledky měření, tzn. že dostačuje zvolit adresář. Výběr konkrétního souboru není možný.

Popis vytváření výsledků měření

Po spuštění makro ze souboru info.csv načte název standardu, název měření a datum měření. Pokud soubor není nalezen, je vyvolána zpráva „Soubor nebyl nalezen.“ a makro je ukončeno. V případě korektního načtení je makro větveno dle názvu standardu a názvu měření (pomocí podmínek if a select case).

V případě nalezení shody je vyvolána funkce, která provádí vlastní generování výsledků. V rámci volání funkce jsou předány parametry adresáře a datum měření. Funkcí je celkem 15, stejně jako je podporovaných typů měření v rámci dvou doporučení RFC. Tyto funkce provádí samotné generování výsledků měření a jejich název je ve formátu „GenNazevMereni“.

Funkce nejprve zjistí existenci souboru s výsledky měření a pokud soubor existuje je načten. Následně jsou hodnoty rozděleny a uloženy do vytvořeného listu s názvem „ZdrojMereniN“ a seřazeny dle délky rámce. Následuje vytvoření listu „NazevMereniN“ do kterého je vytvořena tabulka a graf. Pokud měření probíhalo vícekrát jsou hodnoty měření zprůměrovány a vloženy do tabulky. Posledním krokem je vytvoření grafu, zdrojová data pro graf je tabulka vytvořená v předchozím kroku. Samozřejmě v průběhu generování výsledků je také prováděno formátování textů, tabulky i grafu.

Podporovaná měření

Generovat výsledky lze z měření programem IxAutomate dle doporučení RFC 2544 – Back to Back test, Frame Loss test, Latency test, Throughput test a RFC 2889 - Address Cache test, Address Rate cache, Back Pressure test, Broadcast Rate test, Frame Error Filtering test, Fully Meshed Throughput test, Head of Line Blocking test, Many to Many Mesh test, Many to One test Throughput, One to Many test Throughput, Partially Meshed test.

Ukázka vygenerovaného výsledku měření

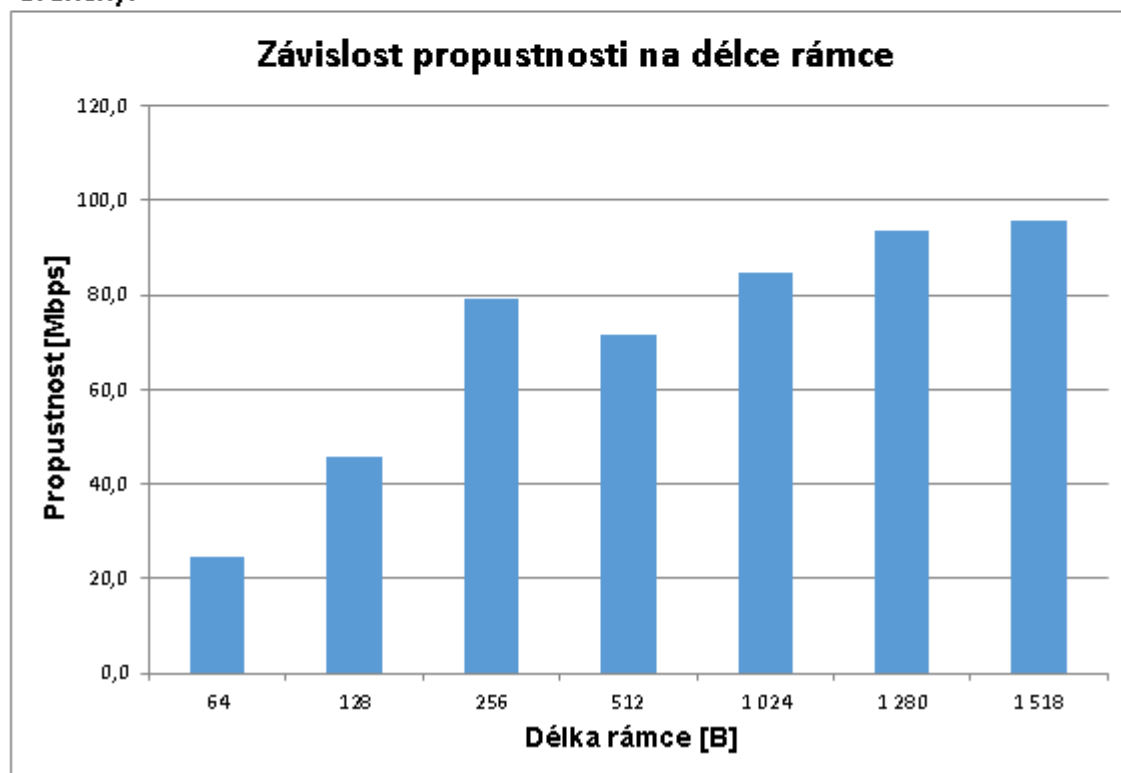
RFC 2544 - Throughput

Datum měření: 26.4.2013

Tabulkově:

Délka rámce	Průměrná hodnota propustnosti		
	[FPS]	[Mbps]	[%]
[B]			
64	48 175	24,7	32,3
128	44 769	45,8	53,3
256	38 639	79,1	85,0
512	17 462	71,5	74,3
1 024	10 355	84,8	86,3
1 280	9 144	93,6	94,7
1 518	7 897	95,9	97,3

Graficky:



8 ZÁVĚR

V kapitole 1 je popsána technologie desetigigabitového Ethernetu se zaměřením na rozdílné vlastnosti oproti starším standardům. Rozdíl je samozřejmě v přenosové rychlosti, dosahující 10 Gbps a rozdíl je také v podpoře pouze plně duplexního režimu.

Doporučení RFC související s testováním síťových prvků jsou uvedena v kapitole 2. Pro zátěžové testování směrovačů je nejvhodnější použít doporučení RFC 2544. V případě zátěžového testování přepínačů je nejlepší využít doporučení RFC 2889, které je pro tento účel přímo vytvořeno. V rámci této kapitoly jsou také popsána specifika testování 10 GbE.

Stručné popisy analyzátorů Ixia a Endace jsou v kapitolách 3 a 4. Analyzátor Endace nepracoval zcela korektně, například nedokázal zaznamenat plně duplexní 10 GbE provoz a také neumožňuje detailní analýzu zaznamenaného provozu.

V návaznosti na popsaná doporučení RFC jsou v kapitole 5 uvedeny výsledky zátěžových testů přepínačů a směrovače. Testovány byly tři přepínače, v případě propustnosti se výsledky výrazně nelišily, ale v případě testování řízení zahlcení neuspěl žádný přepínač. Druhý zátěžový test byl zaměřen na porovnání metod přeposílání paketů směrovačem. Výsledky potvrdily, že metoda Cisco Express Forwarding dosahuje nejvyšší propustnosti.

Porovnání přenosových parametrů Combo FPGA karet provádějící přeposílání paketů se z důvodu nekorektního chování serveru při zavádění knihoven nepodařilo realizovat.

Univerzální zefektivnění analýzy je problematické. V případě analýzy provozu, například analyzátozem Endace, je možné aplikovat filtry nebo aktivovat rozpoznávání aplikace, ale to lze využít pouze v případě analýzy konkrétního problému. V případě zátěžového testování probíhají testy dle definované metodiky. Možné je zefektivnit test zkrácením doby trvání, ale je nutné dodržet minimální dobu trvání a snížením doby trvání je také snížena vypovídající hodnota výsledků testu. Popřípadě lze provádět test s menším počtem délek rámců, než jsou doporučovány, ale například v případě testování 10 GbE je doporučováno provádět testy i s delšími rámci. Z toho plyne, že ani tato možnost zefektivnění není vhodná.

V programu Microsoft Excel bylo vytvořeno makro prezentující výsledky měření prováděné dle doporučení RFC 2544 a RFC 2889 analyzátozem Ixia.

K oběma analyzátozem byla vytvořena dokumentace popisující nastavení a použití analyzátozem. Dokumentace i vytvořené makro je umístěno na CD a v příloze elektronické verze diplomové práce.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BOUŠKA, Petr. Cisco - Router Switching metody a související termíny - CAM, FIB, CEF. [online]. 2009 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.samuraj-cz.com/clanek/cisco-router-switching-metody-a-souvisejici-terminy-cam-fib-cef/>
- [2] CISCO. 10 Gigabit Ethernet and Its “X” Factors [online]. 2005 [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: http://www.cisco.com/asiapac/campaigns/metroethernet/files/10ge_po_pack_mag_arti.pdf
- [3] CISCO. Catalyst Switched Port Analyzer (SPAN) Configuration Example. Cisco [online]. 2007 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.cisco.com/en/US/products/hw/switches/ps708/products_tech_note09186a008015c612.shtml
- [4] ČERNÝ, Jaroslav. Excel 2000, 2002, 2003: záznam, úprava a programování maker. Praha: Grada Publishing, 2004, 192 s. ISBN 80-247-0923-6.
- [5] DIALLO, Thierno. A new standard in Ethernet service testing [online]. Canada : Exfo, 2010 [cit. 2012-10-12]. Dostupné z WWW: http://www.eepublishers.co.za/images/upload/EngineerIt/2010/EngIT_August%202010_measT_.pdf.
- [6] ENDACE TECHNOLOGY LTD. Datasheet: EndaceProbe 7000 Intelligent Network Recorders. 6.0. 2013, 2 s.
- [7] ENDACE TECHNOLOGY LTD. EndaceProbe and EndaceSensor User Guide. EDM09-10 - Version 47. 2012, 306 s.
- [8] ENDACE TECHNOLOGY LTD. EndaceProbe Technical Overview: EDM09-63v2. EDM09-63 - Version 2. 2012, 34 s.
- [9] ENDACE. Series 7000 EndaceProbe [online]. 2011 [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: http://www.endace.com/assets/files/resources/END_Datasheet_7000_Endace_Probe_2.1.pdf
- [10] EXFO. Application note 183 : RFC 2544: How it helps qualify a carrier Ethernet Network [online]. Canada : [s.n.], 2008 [cit. 2012-10-12]. Dostupné z WWW: <http://documents.exfo.com/appnotes/anote183-ang.pdf>.
- [11] EXFO. DIALLO, Thierno. EtherSAM: The new standard in ethernet service testing: Application Note 230 [online]. 2011 [cit. 2012-11-19]. Dostupné z: <http://documents.exfo.com/appnotes/anote230-ang.pdf>
- [12] INFOCELLAR. 10 Gigabit Ethernet (10GbE) - 10 Gbps [online]. [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: <http://www.infocellar.com/networks/new-tech/GbE/GbE.htm>
- [13] INVEA-TECH. NetCOPE FPGA Framework for Rapid Development of Network Applications: Installation Guide. Brno, 2012, 16 s.
- [14] INVEA-TECH. NetCOPE FPGA Framework for Rapid Development of Network Applications: Users Manual. Brno, 2012, 53 s.

- [15] IXIA. Getting Started with IxAutomate. Release 7.30. Calabasas: Ixia, 2012, 64 s.
- [16] IXIA. IxAutomate User Guide. Release 7.30. Calabasas: Ixia, 2012, 944 s.
- [17] IXIA. IxExplorer User Guide. Release 6.30. Calabasas: Ixia, 2012, 1466 s.
- [18] IXIA. Ixia Platform Reference Manual. Release 6.30. Calabasas: Ixia, 2012, 804 s.
- [19] IXIA. IxOS Getting Started Guide. Release 6.30. Calabasas: Ixia, 2012, 944 s.
- [20] KLAŠKA, Luboš. Svět Sítí. 10GE aneb Ethernet po 30 letech (8) - optické transceivery (PMD) a podporovaná média [online]. 2003 [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: <http://www.svetsiti.cz/clanek.asp?cid=10GE-aneb-Ethernet-po-30-letech-8-opticke-transceivery-PMD-a-podporovana-media-20112003>
- [21] LINE PROVIDER. 10 Gigabit Ethernet Technology Overview [online]. 2002 [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: <http://line-provider.com/whitepapers/10-gigabit-ethernet-technology-overview-10gbe/>
- [22] MIAREC. Cisco Catalyst 2960 Series Switches [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.miarec.com/knowledge/how-configure-port-mirroring-cisco-catalyst-2960-series>
- [23] MICROSOFT. Office client development [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/office/>
- [24] MORAVEC, Karel. Testovací aplikace - měření na ethernetu [online]. Praha : HKE, duben 2010 [cit. 2012-10-12]. Dostupné z WWW: http://www.utko.feec.vutbr.cz/~polivka/ethernet_ckenice.pdf
- [25] MORE THAN IP. 10G Anyspeed Ethernet MAC Core XGMII / GMII / MII with EEE and IEEE1588 support: Reference Guide [online]. Germany, 2011 [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: http://www.chiggs.net/10g_gmii_mac_ref_guide_1.4.2.pdf
- [26] NETWORK WORLD. Achieving true 10 Gig performance [online]. 2003 [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: <http://www.networkworld.com/news/tech/2003/0106techupdate.html>
- [27] NTOP. Port Mirror vs Network Tap [online]. 2010 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.ntop.org/pf_ring/port-mirror-vs-network-tap/
- [28] OMNICOR. Switch Genius: Software Suite for RFC-2285 / RFC-2889 Compliance Test. [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.omnicor.biz/LinkClick.aspx?link=NuStreams+Switch+Genius+RFC+2285+%26+RFC+2889-Omicor.pdf&tabid=102&mid=458>
- [29] OPTICKEKABELY.CZ. SFP transceivery [online]. [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: <http://www.optickekabely.cz/aktivni-prvky-a-xwdm/sfp-transceivery>
- [30] PEPELNJAK, Ivan. PROCESS, FAST AND CEF SWITCHING AND PACKET PUNTING. [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://blog.ioshints.info/2013/02/process-fast-and-cef-switching-and.html>
- [31] PALÚCH, Peter. Prezentace Stretnutie 4: Inter VLAN routing pomocou L3 smerovača a Multilayer prepínača. BCMSN Module 4 Implementing Inter VLAN routing. 2011 [cit. 2013-05-22].

- [32] POTŮČEK, Petr. Testování firewallů pomocí hardwarového testovacího přístroje. Brno, 2012. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/256710/fi_b/Bakalarska_prace.pdf. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita.
- [33] PUŽMANOVÁ, R. Moderní komunikační sítě A-Z. Computer Press, Brno 2007.
- [34] RFC 1242. Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices. IETF, 1991. Dostupné z: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1242.txt>
- [35] RFC 1944. Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices. IETF, 1996. Dostupné z: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1944.txt>
- [36] RFC 2544. Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices. IETF, 1999. Dostupné z: <http://www6.ietf.org/rfc/rfc2544>
- [37] RFC 2889. Benchmarking Methodology for LAN Switching Devices. IETF, 2000. Dostupné z: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2889.txt>
- [38] RFC 3511. Benchmarking Methodology for Firewall Performance. IETF, 2003. Dostupné z: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3511.txt>
- [39] SIWAMOGSATHAM, Siwaruk. 10 Gigabit Ethernet [online]. 1999 [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: <http://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-99/ftp/10gbe/index.html>
- [40] SPIRENT COMMUNICATIONS. 10-Gigabit Ethernet Testing: Application Note [online]. 2006 [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/56670038/10GE-Testing-AppNote>
- [41] SPIRENT COMMUNICATIONS. How to Test 10 Gigabit Performance: White Paper [online]. 2005 [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: http://gospirent.com/whitepaper/10GE_Perf_Testing.pdf
- [42] SPIRENT COMMUNICATIONS. Spirent Communications Test Methodologies: Layer 2 Testing with RFC 2889 [online]. 2005 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://gospirent.com/whitepaper/RFC-2889-L2-Test-Methodology.pdf>
- [43] SUNRISE TELECOM. Application Series RFC 2544 [online]. [s.l.] : [s.n.], 2004 [cit. 2012-10-12]. Dostupné z WWW: http://www.telecom-test-solutions.com/manuals/mtt_rfc.pdf.
- [44] TRUNEČKA, Michal. Automatizované testy akcelerační karty s hardwarovou filtrací paketu. Brno, 2009. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/208397/fi_b/bakalarka.pdf. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita.
- [45] VYDIS. ARVAI, Ladislav. Spolehlivé služby v Multifunkční městské komunikační síti [online]. 2011 [cit. 2012-11-19]. Dostupné z: <http://www.vydis.cz/aktuality/spolehlive-sluzby-v-multifunkcni-mestske-komunikac-a1900536>
- [46] VYKOPAL, Jan. Metody testování výkonu prvků síťové infrastruktury. Brno, 2006. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/98724/fi_b/bc.pdf. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita.
- [47] XENA NETWORKS. Xena RFC 2889: RFC 2889 Benchmarking Package. 2012. Dostupné z: <http://www.xenanetworks.com/XenaRFC2889Brief.pdf>

10 SEZNAM ZKRATEK

10GbE	10 gigabit Ethernet
10GE	10 gigabit Ethernet
ACL	Access Control List
API	Application Programming Interface
ARP	Address Resolution Protocol
BMWG	Benchmarking Methodology Working Group
CAM	Content Addressable Memory
CEF	Cisco Express Forwarding
CIR	Committed Information Rate
CLI	Command Line Interface
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CSV	Comma Separated Values
DAG	Data Acquisition and Generation
DIC	Deficit Idle Count
DUT	Device Under Testing
EIR	Excess Information Rate
ERF	Extensible Record Format
FCS	Frame Check Sequence
FIB	Forwarding Information Base
FPGA	Field Programmable Gate Array
FPS	Frame per Second
GE	Gigabit Ethernet
HSSG	Higher Speed Study Group
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol Secure
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
ICMP	Internet Control Message Protocol
IDS	Intrusion Detection System
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IFG	Interframe gap

IOS	Internetwork Operating System
IP	Internet Protocol
IPPM	IP Performance Metrics
IPTV	Internet Protocol television
IPv6	Internet Protocol version 6
IPv4	Internet Protocol version 4
ISO	International Standards Organization
ITU	International Telecommunication Union
KPIs	Key Performance Indicators
LAN	Local Area Network
LLC	Logical link control
MAC	Media Access Control
MEF	Metro Ethernet Forum
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MSA	Multi Source Agreement
MTU	Maximum transmission unit
NAT	Network Address Translation
NIC	Network Interface Card
ODE	Open Development Environment
OSI	Open Systems Interconnection
OSM	Operating System for Monitoring
PCAP	Packet Capture
PCS	Physical Coding Sub-layer
PDF	Portable Document Format
PHY	physical layer
PMA	Physical Medium Attachment Sublayer
PMD	Physical Medium Attachment
QoS	Quality of Service
RAID	Redundant Array of Independent Disks
RAM	Random-access memory
RFC	Request for Comments
RIB	Routing Information Base
RSPAN	Remote Switch Port Analyzer
SAS	Serial attached SCSI

SC	Subscriber Connector
SFP	Small Form-factor Pluggable
SLA	service-level agreement
SNMP	Simple Network Management Protocol
SPAN	Switch Port Analyzer
SSH	Secure Shell
TAP	Test Access Point
TCAM	Ternary Content Addressable Memory
TCP	Transmission Control Protocol
TTL	Time to live
UDP	User Datagram Protocol
VBA	Visual Basic for Applications
vDAG	Virtual Data Acquisition and Generation
VLAN	Virtual Local Area Network
VoIP	Voice over Internet Protokol
WAN	Wide Area Network
WIS	WAN Interface Sublayer
XAUI	10 Gigabit Attachment Unit Interface
XGMII	10 Gigabit Media Independent Interface
XML	Extensible Markup Language

11 OBSAH CD

Endace/	výsledky analýzy laboratorní sítě,
Ixia/MereniPrepinace/	výsledky zátěžových testů přepínačů,
Ixia/MereniSmerovac/	výsledky zátěžového testu směrovače,
DP_Tapal.pdf	diplomová práce,
manual_Ixia.pdf	dokumentace analyzátoru Ixia,
manual_Endace.pdf	dokumentace analyzátoru Endace,
PrezentaceVysledkuMereni.xlsm	makro v programu Microsoft Excel.