

Využití systému Dynamips a jeho nástaveb pro experimenty se síťovými technologiemi

Petr Grygárek
VŠB-Technická univerzita Ostrava
katedra informatiky FEI

Tř. 17. listopadu 15
Ostrava-Poruba
+420 59 732 3243

petr.grygarek@vsb.cz

ABSTRAKT

Při studiu a přípravě nasazení nových síťových technologií je velmi užitečná možnost jejich předchozího praktického ověření v laboratorních podmínkách. Jelikož jsou však síťové prvky vyšších řad s potřebnými vlastnostmi velmi nákladné, je často nevyhnutelné uchýlit se k simulaci alespoň části testovaného řešení. Smyslem příspěvku je nastínit možnosti pro tyto účely velmi vhodného systému Dynamips, emulujícího vybrané řady směrovačů Cisco a jeho nástaveb.

Klíčová slova

Dynamips, Dynagen, GNS3, Cisco IOS, směrovač

1. ÚVOD

Pro testování síťových konfigurací k provozním nebo i studijním účelům je nutné mít k dispozici příslušné síťové prvky. Jelikož se však jedná o zařízení často velmi nákladná, je praktické ověření zvláště rozsáhlejší konfigurace mnohdy jen problematicky zajištělné.

Pro směrovače firmy Cisco¹ lze tento problém elegantně vyřešit použitím volně dostupného emulátoru Dynamips [1]. Jeho výhodou je, že dovolí emulaci i vyšších řad směrovačů a tím také i experimentování s pokročilými technologiemi páteřních sítí nebo sítí poskytovatelů.

Je dobré si uvědomit, že na rozdíl od jiných projektů jako Quagga [8] Dynamips není v produkčním prostředí použitelný softwarový směrovač, ale emulátor vyvinutý pro účely testování a studia síťových technologií. Dynamips tak může být využit jako školící platforma pro technologie Cisco a pro testování síťových konfigurací nebo speciálních vlastností systému IOS před nasazením do produkčního prostředí a to i v kombinaci s částí testovací topologie realizované fyzickými síťovými prvky.

Tento článek si klade za cíl seznámit se základními možnostmi využití systému Dynamips a jeho nástaveb pro komfortní simulaci síťových technologií složených ze směrovačů Cisco na lokálním PC i v rozsáhlejšího hostitelském prostředí v režimu klient-server.

2. DYNAMIPS

Samotná emulace směrovačů Cisco je realizována pomocí opensource programu Dynamips [1], což je softwarový emulátor procesorů MIPS64, PowerPC a hardwarového prostředí

vybraných směrovačů řady Cisco 1700, 2600, 3600, 3700 a 7200. Mimo základní platformy jsou vždy emulovány také některé moduly, zejména karty síťových rozhraní. Na stránkách autora [2] je k dispozici úplný seznam emulovaných periferních zařízení obsažených ve směrovačích podporovaných platform² a modulů rozhraní (převážně Ethernet, pro platformu C7200 také ATM, Serial, E1 a POS).

Při svém běhu používá emulátor standardní image systému IOS, stejně jako reálné směrovače příslušných platform. CPU jsou emulovány v rozsahu nutném pro běh aktuálních IOS řad 12.2S a 12.4T. Pro urychlení běhu je emulace realizována systémem Just-in-time (JIT) překladače.

Důležitým doplňkem emulace směrovačů s použitím Dynamips je implementace jednoduchých virtuálních přepínačů Ethernet, Frame Relay a ATM, které umožňují emulované směrovače se síťovými rozhraními příslušných typů vzájemně propojovat.

Dynamips lze provozovat na platformách Linux, Windows a dle dokumentace projektu také na Mac OS X. Pro provoz pod OS Windows je nutné předem zvlášť nainstalovat knihovnu WinPcap, která dovolí, aby Dynamips používal Ethernet kartu hostitelského systému a jejím prostřednictvím se případně napojil do světa reálných síťových prvků. Z důvodu většího množství procesů běžících na pozadí a poněkud komplikovanějšího přemostování rozhraní emulovaných směrovačů na síťovou kartu hostitelského systému je efektivnější provozovat Dynamips na OS Linux. Instalace systému je vcelku jednoduchá, pro mnohé verze OS jsou k dispozici instalační balíčky, včetně některých nástaveb³. Zdrojový kód je k dispozici pod licencí GNU GPL.

Pro emulaci jednoho směrovače lze program Dynamips spustit manuálně a parametry emulovaného směrovače specifikovat přímo formou argumentů příkazové řádky. Z příkazové řádky mohou být v tomto případě rovněž odkazovány externí konfigurační soubory obsahující například samostatnou konfiguraci virtuálních přepínačů. Poměrně rozsáhlý popis argumentů příkazové řádky je k dispozici v manuálové stránce programu dynamips. Mnohem praktičtější a více používanější je však provozování Dynamipsu v tzv. hypervisor módu, který umožňuje pomocí vzdáleně přístupného řídicího CLI spouštět a ovládat několik instancí emulovaných směrovačů současně. Popis příkazů CLI hypervisoru je k dispozici v souboru README.hypervisor instalovaného jako součást dokumentace Dynamipsu. Jelikož však ani práce s těmito příkazy je pro uživatele dosti náročná, používá většina uživatelů pro specifikaci

²paměť RAM a Flash, UART pro konzolový a AUX port, řadiče PCMCIA a PCI

³V současné době jsou běžně dostupné balíčky pro dynamips a dynagen. Balíček pro GNS3 existuje, ale není zatím součástí standardních repozitářů.

¹a také pro obecné konfigurace, které jsou všemi výrobci implementovány podobně

parametrů emulovaných směrovačů a propojené topologie nastavbu Dynagen [3], která bude blíže popsána v následující kapitole.

K optimalizaci chodu emulace je vhodné podle instalačního návodu na hostitelském systému vyladit hodnotu parametru IdlePC pro konkrétní IOS image. Ta umožňuje zabránit spotřebě procesorových cyklů na emulaci Idle rutiny IOSu, v níž často emulovaný procesor vykonává prázdné instrukce a pouze čeká na okamžik, kdy mu bude plánovačem v IOSu přidělena konkrétní úloha ke zpracování.

Užitečnou vlastností Dynamipsu je schopnost zachytávat provoz na libovolném virtuálním rozhraní emulovaných směrovačů a ukládat jej ve formátu libpcap, který pak může být snadno zpracováván programy jako tcpdump nebo Wireshark.

K flexibilitě použití Dynamipsu přispívá i všestrannost způsobů, kterými může být realizováno vzájemné propojení virtuálních rozhraní emulovaných směrovačů (tzv NetIO). a propojení s prostředky síťové komunikace na hostitelském systému. To umožňuje jednak transparentně distribuovat emulované směrovače na více hostitelských serverů a jednak navázat směrovače emulované Dynamipsem na reálné síťové prvky připojené k hostitelskému systému. To významně rozšiřuje možnosti použití emulátoru Dynamips, který tak může být začleněn do reálné heterogenní topologie spolu s fyzickými zařízeními, pro něž není žádný emulátor k dispozici.

3. DYNAGEN

Základní uživatelskou nastavbou nad emulátorem Dynamips je Dynagen [3], který umožňuje uživatelsky přátelským způsobem specifikovat topologii tvořenou emulovanými směrovači a virtuálními přepínači a nastavit parametry jednotlivých směrovačů. Může být provozován na jakékoli platformě, která podporuje jazyk Python. Pro svůj běh vyžaduje, aby byl Dynamips spuštěn v režimu hypervisoru, příkazy jehož CLI využívá. Dynagen tak může být považován za front-end systému Dynamips, který poskytuje jednak možnost specifikace topologie a parametrů emulovaných směrovačů pomocí tzv .net souborů v jednoduchém INI formátu a jednak řídicí konzoli hypervisoru, umožňující ovládat běh emulovaných směrovačů na konkrétním hostitelském systému.

Instalace Dynagenu, základní syntaxe souborů pro popis emulovaných topologií a několik příkladů použití jsou popsány v tutoriálu Dynagenu [4], který je po instalaci Dynagenu k dispozici také lokálně (v Linuxu standardně v souboru /usr/share/doc/dynagen/docs/tutorial.htm, příklady jsou k dispozici v podadresáři dynagen/examples/sample_labs).

Parametrem při spouštění programu Dynagen je jméno .net souboru s popisem požadované topologie, která může být případně rozložena na více hostitelských serverů. Ten Dynagen přeloží do příkazů pro CLI hypervisoru a zašle do hypervisorů všech zúčastněných hostitelských systémů. Následně přejde do režimu management konzole lokálního hypervisoru. V ní jsou k dispozici příkazy pro start, ukončení, restart a pozastavování běhů jednotlivých emulovaných směrovačů, řízení zachytávání paketů na jednotlivých virtuálních rozhráních a nastavení filtrace paketů např. pro simulaci chybovosti linek nebo přetížení sítě. Dále jsou k dispozici příkazy pro napojení na konzoli určeného směrovače, nastavení konfiguračních registrů směrovačů, uložení/načtení konfiguračních souborů do/z .net souboru nebo do určeného

adresáře a zobrazení a výmaz přepínací tabulky určeného virtuálního Ethernet přepínače.

Syntaxe souborů s popisem topologie pro Dynagen je velmi jednoduchá (viz Příklad 1). Nejprve je vždy specifikován server (hypervisor Dynamipsu), jehož se následující popisy týkají. V jednom souboru tak mohou být popsány směrovače hostované i na více serverech. Pro každý server specifikujeme pracovní adresář a bázeový port, od něž se budou alokovat TCP porty pro přístup na konzole jednotlivých emulovaných směrovačů. Dále může následovat sekce implicitních nastavení pro směrovače jednotlivých platform, které lze v případě potřeby předefinovat pro jednotlivé konkrétní směrovače. Je zde zejména uvedena cesta k image IOS, která má být emulátorem zpracovávána, hodnota pro konfigurační registr směrovače a hodnota IdlePC sloužící pro maximalizaci rychlosti běhu emulátoru pro konkrétním IOS image. U každého směrovače zvlášť lze stanovit TCP port, na kterém budou dostupné konzola a AUX port, bázeovou MAC adresu pro adresaci rozhraní a specifikovat moduly umístěné v jednotlivých slotech. Další volby jsou specifické pro jednotlivé platformy a jsou popsány v dokumentaci Dynagenu.

```
[localhost:7200]
  console=2000
  workingdir = /tmp
  [[2610]]
    image = /mydir/ios_image2600.bin
    idlepc = 0x60bfa794
  [[ROUTER R1]]
    model = 2610
    slot1 = NM-4E
    e1/0 = R2 e1/0
  [[ROUTER R2]]
    model = 2610
    slot1 = NM-4E
    e1/0 = R1 e1/0
```

Příklad 1 – ukázka konfiguračního souboru pro Dynagen

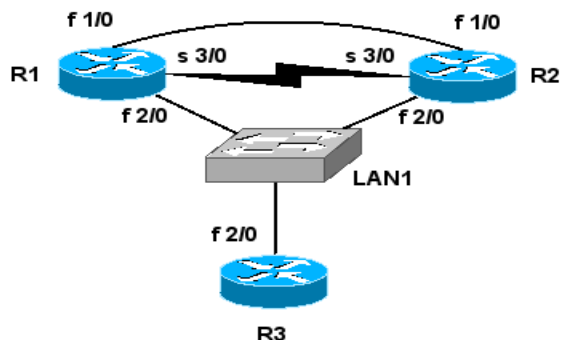
Propojení rozhraní směrovačů lze popsat buďto jako dvoubodové spoje nebo lze více virtuálních rozhraní připojit na společný virtuální most, jak je uvedeno v Příkladu 2 a jemu odpovídající topologii na obr. 1:

```
[[ROUTER R1]]
  f1/0 = R2 f1/0
  f2/0 = LAN 1
  s3/0 = R2 s3/0

[[ROUTER R2]]
  f1/0 = R1 f1/0
  f2/0 = LAN 1
  s3/0 = R1 s3/0

[[ROUTER R3]]
  f2/0 = LAN 1
```

Příklad 2 – Možnosti specifikace propojení síťových rozhraní



Obr.1 – Simulovaná topologie dle konfiguračního souboru z Příkladu 1

3.1 Konfigurace virtuálních přepínačů

Jak již bylo zmíněno v kap. 2, dovoluje Dynamips propojovat virtuální rozhraní emulovaných směrovačů pomocí virtuálních přepínačů technologií Ethernet, Frame Relay a ATM. V Dynagenu je proto implementována podpora pro propojování směrovačů pomocí těchto virtuálních přepínačů a pro definici jejich konfigurace. Na tomto místě je nutné připomenout, že se nejedná o emulaci plnohodnotných přepínačů Cisco (Dynamips je určen pouze pro emulaci směrovačů), jde spíše o virtuální propojovací mechanismus s velmi omezenými (avšak pro většinu použití dostačujícími) možnostmi konfigurace.

Virtuální Ethernet přepínač podporuje virtuální síť a 802.1q trunking. Příklad konfigurace virtuálního Ethernet přepínače a způsob jeho navázání na rozhraní emulovaných směrovačů a na síťovou kartu hostitelského systému je vidět z následujícího výseku konfiguračního souboru pro Dynagen (Příklad 3):

```
[[ROUTER R1]]
f1/0 = S1 1

[[ROUTER R2]]
f1/0 = S1 2

[[ROUTER R3]]
f1/0 = S1 3

[[ETHSW S1]]
1 = access 20
2 = access 20
3 = dot1q 1
4 = dot1q 1 NIO_gen_eth:eth0
```

Příklad 3 – Ukázka konfigurace virtuálního Ethernet přepínače

Konfigurace z Příkladu 3 popisuje 3 směrovače R1-R3, které jsou svými rozhraními f1/0 připojeny do portů 1-3 virtuálního Ethernet přepínače S1. Směrovače R1 a R2 jsou připojeny do portů ve VLAN 20, směrovač R3 je připojen trunk linkou (enkapsulace 802.1q) s nativní VLAN 1. Port 4 virtuálního přepínače S1 je přemostěn se síťovou kartou eth0 hostitelského systému, která bude pracovat v režimu trunk (enkapsulace 802.1q s native VLAN 1).

Analogickým způsobem bychom nakonfigurovali propojení směrovačů pomocí přepínačů Frame Relay a ATM a vnitřní konfiguraci těchto přepínačů, jak uvádí Příklad 4 a Příklad 5.

```
[[ROUTER R1]]
s1/0 = F1 1

[[ROUTER R2]]
s1/0 = F1 2

[[ROUTER R3]]
s1/0 = F1 3

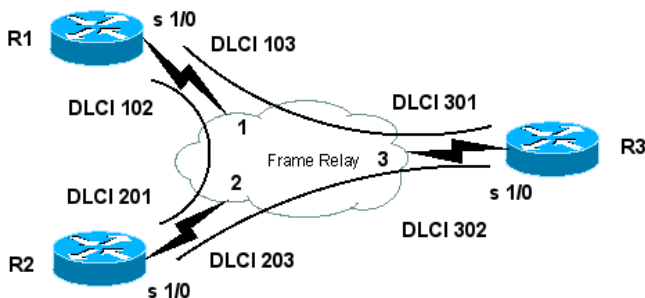
[[FRSW F1]]
1:102 = 2:201
1:103 = 3:301
2:203 = 3:302
```

Příklad 4 – Ukázka konfigurace virtuálního přepínače Frame Relay

Konfigurace přepínače Frame Relay spočívá ve specifikaci dvojic portů, které mají být propojeny simulovanými PVC okruhy a určením příslušných DLCI na obou portech. Obdobně je z Příkladu 5 vidět definice VPI a VCI na simulovaných PVC propojenými dvojicemi portů ATM přepínače (v ukázce je propojen Port 1, VPI 10, VCI 200 na port 2, VPI 20, VCI 100). Topologie odpovídající konfiguraci z příkladu 4 je uvedena na obr. 2. Kompletní námi ověřený příklad použití Frame Relay v systému Dynamips lze najít v [5].

```
[[ATMSW A1]]
1:10:200 = 2:20:100
```

Příklad 5 – Ukázka konfigurace virtuálního přepínače ATM



Obr. 2 – Topologie s přepínačem Frame Relay z Příkladu 4

Je třeba si uvědomit, že virtuální přepínače Frame Relay a ATM nedisponují žádnými pokročilejšími funkcemi, nepodporují signalizaci pro SVC okruhy a jsou schopny pouze zprostředkovat konektivitu mezi rozhraními směrovačů. U přepínače Frame Relay toto zpravidla postačuje, u ATM to však přináší omezení, že není možné na Dynamipsu testovat žádné technologie závislé na použití SVC, jako je např. emulace LAN (LANE).

3.2 Komunikace s okolním světem

Jak již bylo uvedeno v kap. 1, umožňuje Dynamips přemostovat provoz virtuálního rozhraní emulovaného směrovače nebo i simulovaného přepínače na externí systém pomocí NetIO. Z implementovaných NetIO kanálů se jako nejzajímavější jeví NIO_gen_eth pro přemostění na síťovou kartu hostitelského systému, NIO_unix pro propojení na UNIX socket a NIO_udp pro navázání na UDP stream, který může být ukončen v libovolném vzdáleném systému. Například napojení virtuálního rozhraní f2/0 emulovaného směrovače R1 na UDP stream z lokálního UDP portu 10001 na adresu 1.2.3.4:10002 lze předepsat zápisem

```
[[ROUTER R1]]
f2/0 = NIO_udp:10000:127.0.0.1:10001
```

3.3 Další možnosti Dynagenu

Nástavba Dynagen je koncipována tak, aby mohla pracovat i v režimu klient-server ve více-serverovém prostředí a distribuovat emulaci jednotlivých směrovačů na více hostitelských Dynamips serverů pracujících v režimu hypervisoru. Tyto servery tak poskytují univerzální platformu pro emulaci libovolné topologie podle požadavků řídicího klienta Dynagen. S hostitelskými systémy komunikuje Dynagen klient přes TCP/IP. Firewally ochraňující jednotlivé hostitelské servery musí propustit provoz Dynagen klienta na hypervisor (implicitně 7200/TCP), přístup uživatele na konzolové porty směrovačů (2000+/TCP) a provoz virtuálních propojů mezi rozhraními simulované topologie (UDP/10000+).

Zajímavým rozšířením v posledních verzích Dynagenu je možnost modifikovat emulovanou topologii za běhu bez restartu Dynagenu a emulovaných směrovačů.

Kromě emulace směrovačů Cisco s využitím Dynamips podporuje Dynagen také emulátor PEmu [6] založený na QEmu [7] emulující firewally Cisco PIX, nověji také i Cisco ASA. Díky tomu lze v popisech topologií pro Dynagen i při běhu samotné emulace obě platformy libovolně kombinovat.

4. Grafické nástavby Dynagen

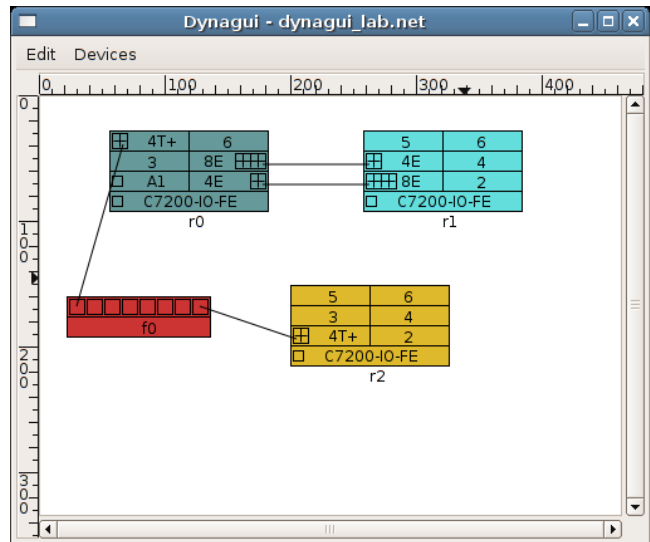
Přestože je způsob popisu požadované topologie konfiguračními soubory pro Dynagen i ovládací konzola poskytovaná Dynagenem velmi dobře použitelné, navázaly na Dynagen další open-source projekty, které umožňují uživateli požadovanou topologii nakreslit v grafickém editoru, popřípadě během celé emulace ovládat z integrovaného grafického řídicího prostředí. Jedná se zejména o nástavby gDynagen, Dynagui a nejrozsáhlejší a patrně nejvyužívanější GNS3. Jejich možnosti stručně shrneme v následujících odstavcích.

4.1 gDynagen

Jednoduchou nadstavbou pro Dynagen je menší projekt gDynagen [9]. Jeho smyslem je omezit počet samostatných oken při práci s větším množstvím emulovaných směrovačů a integrovat konzole těchto směrovačů spolu s CLI Dynagenu do jednoho GUI. Gdynagen je napsán v Pythonu s podporou knihovny pygtk a v současné době je odladěn pouze pro systém Linux.

5. Dynagui

Komplexnější nástavbou nad textově orientovaným Dynagenem je grafický front-end Dynagui [10]. Je opět naprogramován v Pythonu s využitím knihovny pygtk. Jedná se již o plně grafické rozhraní, které obsahuje editor umožňující nakreslit topologii propojených směrovačů, nastavit jejich vlastnosti a řídit běh emulovaných instancí. K tomu účelu Dynagui předpokládá běh Dynamipsu v hypervisoru modu. Nakreslené síťové topologie lze uložit ve formátu pro Dynagen (pouze rozšířeného o parametry reprezentující fyzickou polohu jednotlivých symbolů v obrázku topologie) a opětovně načíst. Prostor podporuje ukládání konfigurace směrovačů, a poskytuje okna pro přístup na konzole jednotlivých směrovačů. Grafické symboly reprezentující směrovače v obrázku topologie jsou systémově orientované, například přímo zobrazují moduly osazené v emulovaném směrovači, jak je vidět z ukázky GUI na obr. 3.



Obr.3 – Ukázka GUI nástavby Dynagui

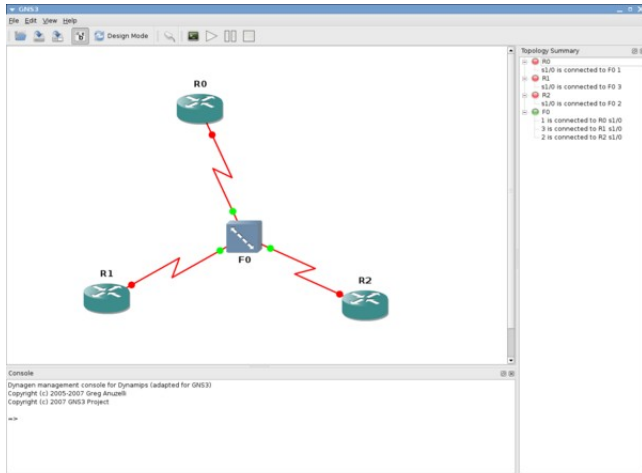
6. GNS3

Za nejpokročilejší z grafických nástaveb nad systémem Dynagui lze považovat systém GNS3 [11], který je dobře použitelný na platformě Linux i Windows. Na rozdíl od Dynagui umožňuje GNS3 pracovat i s emulací Cisco PIX, podporovanou Dynagenem a realizovanou emulátorem PEmu.

GNS3 obsahuje uživatelsky příjemný grafický editor, kterým lze nakreslit síťovou topologii a definovat parametry jednotlivých směrovačů i virtuálních přepínačů Ethernet, Frame Relay a ATM. Je možné popsat i propojení virtuálních síťových rozhraní na rozhraní hostitelského systému, UNIX sockets nebo UDP proudy.

Z GUI GNS3 lze také přímo ovládat běh jednotlivých instancí, přistupovat na jejich konzole a řídit zachytávání paketů na jednotlivých linkách typu Ethernet nebo Serial. Umožňuje také přímo zpřístupnit konzoli Dynagenu. Příjemná je rovněž možnost exportu/importu konfigurací směrovačů do souboru nebo formou snapshotu konfigurací všech zařízení. I GNS3 může samozřejmě využít možnosti provozu Dynagenu v režimu klient-server, kdy front-end GNS3 běží na jiném (typicky klientském) stroji, než

samotný emulátor Dynamips. Ukázka GUI systému GNS3 je vidět na obrázku 4. Topologie vytvářené v GNS3 mohou být ukládány do souborů v INI formátu, které lze přímo použít v Dynagenu. Oproti souborům pro Dynagen jsou v nich pouze doplněny informace pro grafickou prezentaci topologie v GNS3.



Obr. 4.- Ukázka GUI systému GNS3

Instalace a základní nastavení systému GNS3 jsou stručně a výstižně popsány v dokumentaci [12]. Velmi instruktivní je také základní tutoriál [13]. Pro uživatele GNS3 jsou k dispozici i video tutoriály.

7. Praktická využitelnost systému

Systém Dynamips jsme po dobu několika vysokoškolských semestrů využívali ve výuce počítačových sítí jako alternativu laboratorních cvičení pro studenty kombinovaného studia, zpravidla ještě v kombinaci se systémem Virlab [14].

Realizovali jsme výukové topologie zaměřené na problematiku směrování (RIPv2, OSPF, BGP) a odzkoušeli jsme také některé pokročilejší technologie, jako např. MPLS VPN [15]. Systém byl oprávněným uživatelům vzdáleně zpřístupněn nepřetržitě a při jeho provozu jsme nezaznamenali žádné problémy. Zkušenost ukázala, že na běžném starším PC s 1 GB pamětí s OS Linux je reálné simulovat podle použité verze IOSu cca 5 instancí směrovače Cisco 7200 (při běhu nad OS Windows je to poněkud méně).

Systém Dynamips hodláme i v budoucnu využívat a to zejména pro emulaci pokročilých síťových technologií, které nejsou dostupné ve fyzických směrovačích nižších řad, které máme k dispozici. Pro ty je velmi výhodný jinak pro experimentální účely neúnosně nákladný směrovač Cisco 7200 emulovaný pomocí Dynamipsu. V plánu je také integrace s námi vyvíjeným distribuovaným síťovým experimentálním prostředím Virlab [15] a to i na úrovni importu popisu topologií pro Dynagen do Virlabu, což nám dá možnost využít nepřeberné množství laboratorních úloh vytvořených pro Dynagen, které jsou k dispozici na WWW.

Předpokladem použití Dynamipsu je mít k dispozici firmware pro příslušný směrovač (IOS), jehož běh Dynamips emuluje. Jelikož

však firma Cisco bez příslušného hardware systém IOS neprodává, je použití emulátoru Dynamips z licenčních důvodů poněkud problematické, zejména pro uživatele, kteří nejsou zákazníci firmy Cisco. Jelikož však nejde o produkční ani komerční využití, lze ze strany výrobce IOS předpokládat jistou míru tolerance.

Podle blogů dnes využívají systém Dynamips (zpravidla s nastavbou GNS3) zejména uchazeči o certifikace CCNA/CCNP/CCIE, jimž zdarma poskytují cennou platformu pro nácvik praktické konfigurace i velmi pokročilých vlastností směrovačů Cisco. Je pouze škoda, že vývoj samotného emulátoru Dynamips poněkud ustrnul (na autorově technickém blogu [16] je poslední příspěvek z října 2007), což však může být mimo politických důvodů způsobeno také čím dále větším příklonem výkonných platform směrovačů Cisco⁴ k plně distribuované architektuře, jejíž plnohodnotná emulace je již patrně nad rámec možnosti takového opensource projektu. Komunita kolem Dynamipsu je nicméně velmi živá, jak dokumentuje např. diskusní fórum pro praktické problémy s Dynamips a jeho nastavbami [17], které obsahuje i několik desítek diskutovaných laboratorních úloh pro směrovače Cisco.

8. LITERATURA

- [1] Cisco 7200 Simulator [online] [cit. 2009-10-07]. Available at http://www.ipflow.utc.fr/index.php/Cisco_7200_Simulator
- [2] Cisco 7200 Simulator – Current Status [online] [cit. 2009-10-07]. Available at http://www.ipflow.utc.fr/index.php/Cisco_7200_Simulator#Current_status
- [3] Dynagen - The network configuration generator for Dynamips[online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://dyna-gen.sourceforge.net/>
- [4] Anzelli, G.: Dynamips / Dynagen Tutorial [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://dyna-gen.sourceforge.net/tutorial.htm>
- [5] Jurák, T.: Frame Relay v Dynamipsu. Semestrální projekt předmětu Technologie počítačových sítí, VŠB-TU Ostrava, 2007. [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://www.cs.vsb.cz/grygarek/TPS/projekty/0607Z/DynaMI-PS-FR.pdf>
- [6] PEMU – Free Cisco PIX Firewall Emulator/Simulator [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://www.fir3net.com/Firewalls/Pix-Cisco/pemu-cisco-pix-firewall-emulator-simulator.html>
- [7] Qemu – opens ource processor emulator[online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://www.nongnu.org/qemu/>
- [8] Quagga Routing Suite [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://www.quagga.net>
- [9] gDynagen [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://gdynagen.sourceforge.net/>
- [10] Dynagui Project [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://dynagui.sourceforge.net/>
- [11] GNS3 - Graphical Network Simulator [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://www.gns3.net/>

⁴aktuálně řada Cisco 7600

- [12] Dynagen dokumentace. [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://wiki.gns3.net/index.php/Documentation>
- [13] Fuszner, M.: GNS3-Graphical Network Simulator [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://downloads.sourceforge.net/gns-3/GNS3-0.5-tutorial.pdf?download>
- [14] Wiki projektu Virlab [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://www.virlab.cz>.
- [15] Zeman, M., Wyka, R.: MPLS VPN na systému Dynamips. Semestrální projekt předmětu Technologie počítačových sítí, VŠB-TU Ostrava, 2007 [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://www.cs.vsb.cz/grygarek/TPS/projekty/0607Z/DynaMIPs-MPLS/MPLSstudie1.htm>.
- [16] Cisco 7200 Simulator – Blog [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://www.ipflow.utc.fr/blog>
- [17] Diskusní fórum k projektům Dynamips, Dynagen a jejich nástavbám [online] [cit. 2009-10-07]. Available at <http://7200emu.hacki.at/>