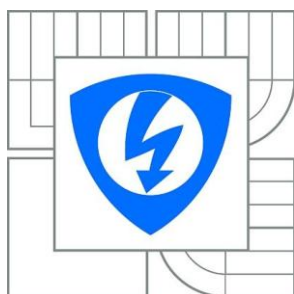


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MOBILITA SÍTÍ V MOBILE IP

NETWORK MOBILITY IN MOBILE IP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL HAVELKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL SKOŘEPA

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Michal Havelka

ID: 121022

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Mobilita sítí v Mobile IP

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte problematiku mobility sítí (NEMO) v protokolech Mobile IPv4 a Mobile IPv6 a porovnejte klíčové aspekty implementace v těchto dvou protokolech. Popište všechny možné situace, které mohou nastat při kombinaci mobility sítí a mobility jednotlivých uzlů. V simulačním prostředí OPNET Modeler vytvořte model sítě implementující protokol MIPv4 (v případě dostupnosti modelů i MIPv6) a demonstrující základní situaci mobility sítí.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] KOODLI, R. S., PERKINS, C. E. Mobile Inter-networking with IPv6: Concepts, Principles and Practices. Wiley-Interscience, 2007. 365 pages. ISBN 978-0471681656
- [2] DEVARAPALLI, V., WAKIKAWA, R., PETRESCU, A., THUBERT, P. Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol. The Internet Engineering Force Task RFC 3963, January 2005
- [3] JOHNSON, D. B., PERKINS, C. E., ARKKO, J. Mobility support in IPv6. The Internet Engineering Force Task RFC 3775, June 2004

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 2.6.2011

Vedoucí práce: Ing. Michal Skořepa

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
Předseda oborové rady

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou mobility sítí (NEMO) v protokolech Mobile IPv4 a Mobile IPv6. Popisuje základní princip činnosti protokolů Mobile IP, definuje rozdíly mezi mobilitou uzlů a mobilitou sítí a navrhuje různé situace, které mohou nastat při kombinaci užití těchto dvou protokolů. Dále definuje rozdíly mezi základním protokolem mobility sítí (RFC3936) pro IPv6 a jeho rozšířením (RFC 5177) pro IPv4.

Praktická část práce spočívá v simulaci různých scénářů mobilních sítí v aplikaci OPNET Modeler a v diskusi výsledků zjištěné na základě této simulace. Navrhuje různé cesty packetů sítí a při různých změnách v topologii sítě pozoruje vliv těchto změn na zpoždění, spolehlivost přenosu, potřebou režii, délku handoverů a dalších parametrů.

KLÍČOVÁ SLOVA

MIP, NEMO, mobilita, simulace, OPNET

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on issue network mobility (NEMO) being extension of protocols Mobile IPv4 and Mobile IPv6. It describes basic principle function of protocols Mobile IP, defines differences between mobility of nodes and mobility of network and suggest various situations, which may occur in combination these two protocols. Further, it describes differences between basic protocol network mobility (RFC 3936) for IPv6 and it's extension (RFC 5177) for IPv4.

Practical part of work consist in simulation scenarios network mobility in application OPNET Modeler and discussion of results, which has been discovered on the base of this simulation. It proposes various paths of packets through the network and observes influence of changes in topology on delay, transfer reliability, control data, time of handovers and other attributes.

KEYWORDS

MIP, NEMO, mobility, simulation, OPNET

HAVELKA,M. Mobilita sítí v Mobile IP. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací, 2010. 46 s.. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Skořepa.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Mobilita sítí v Mobile IP jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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 30.5.2011

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Skořepovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 30.5.2011

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	x
Úvod	1
1 Mobile IP	2
1.1 Pojmy Mobile IP	2
1.2 Činnost Mobile IP IPv4	3
1.3 Implementace Mobile IPv4.....	5
1.3.1 Zprávy Agent Advertisement	5
1.3.2 Agent Solicitation	8
1.3.3 Zprávy Registration Request	8
1.3.4 Zprávy Registration Reply.....	10
1.4 Odlišnosti Mobile IPv6 a MobileIPv4	13
1.5 Optimalizace cesty	13
2 NEMO	15
2.1 Základní principy činnosti NEMO	16
2.1.1 Vnořené mobilní sítě.....	17
2.2 Základní rozdíly NEMOv4 a NEMOv6.....	17
2.3 Implementační rozdíly NEMOv4 a NEMOv6.....	18
2.3.1 Registrační žádosti HA (Mobile Network Request Extension)	18

2.3.2	Registrační odpovědi HA (Mobile Network Acknowledgment Extension)	20
2.4	Modely a kombinace mobilních uzlů a mobilních sítí.....	21
2.4.1	Model 1	22
2.4.2	Model 2	26
2.4.3	Model 3	29
2.5	Simulace mobilních sítí v OPNET Modeler	31
2.5.1	Model Mobile IP	32
2.5.2	Model NEMO	36
2.5.3	Model 1	40
2.5.4	Model 2	44
3	Závěr	45
	Seznam použité literatury	46

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Standardní síťová komunikace uzlu se serverem	3
Obrázek 2 Komunikace mobilního uzlu se serverem po migraci do jiné sítě	4
Obrázek 3 Diagram zpráv zasílaných při migraci mobilního uzlu	5
Obrázek 4 Optimalizace cesty pomocí trojúhelníkového směrování	14
Obrázek 5 Optimalizace cesty pomocí přímého směrování	15
Obrázek 6 Migrace mobilní sítě.....	16
Obrázek 7 Model 1: Výchozí stav	23
Obrázek 8 Model 1: Migrace sítě	24
Obrázek 9 Model 1: Migrace uzlu	25
Obrázek 10 Model 1: Migrace uzlu do původní destinace	26
Obrázek 11 Model 2: Výchozí stav	27
Obrázek 12 Model 2: Migrace sítě	28
Obrázek 13 Model 2: Migrace sítě do původního umístění	29
Obrázek 14 Mapa mytných bran ČR	30
Obrázek 15 Schéma simulace MIPv4	33
Obrázek 16 Atributy mobilního uzlu	34
Obrázek 17 Výsledky simulace MN	35
Obrázek 18 Schéma simulace mobilní sítě	37
Obrázek 19 Schéma mobilního subnetu	37
Obrázek 20 Nastavení mobilního routeru	38
Obrázek 21 Výsledky simulace mobilní sítě	39
Obrázek 22 Schéma simulace modelu 1	41
Obrázek 23 Schéma mobilního subnetu modelu 1	41
Obrázek 24 Výsledky simulace modelu 1	42
Obrázek 25 Výsledky simulace modelu 1 při nastavení HA/FA.....	43

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Struktura zprávy Mobility Agent Advertisement	7
Tabulka 2 Struktura zprávy Registration Request	9
Tabulka 3 Struktura zprávy Registration Reply	11
Tabulka 4 Struktura zprávy Mobile Network Request Extension pro NEMO IPv4	18
Tabulka 5 Struktura hlavičky IPv6 packetu pro zprávy binding	19
Tabulka 6 Struktura zprávy binding pro NEMO IPv6.....	19
Tabulka 7 Struktura zprávy Mobile Network Acknowledgment pro NEMO IPv4	20
Tabulka 8 Struktura zprávy Mobile Network Acknowledgment pro NEMO IPv6	21

ÚVOD

S postupným vývojem internetu, komunikačních a mobilních technologií se možnost připojit se kdykoliv a odkudkoliv stala jedním ze základních uživatelských požadavků. Technologie Wi-fi zaznamenala v 90. letech obrovský boom a s ní se ruku v ruce rozvíjely i další technologie umožňující připojit přenosná zařízení k internetu. Těmito technologiemi byly např. WiMAX a další různé druhy připojení pomocí GSM či satelitních sítí. Po úspěšném rozšíření těchto technologií přišly další požadavky, mj. i na vysokou spolehlivost spojení. Služby jako multimediální streaming či peer-to-peer spojení se stávaly pro mnohé uživatele nutností. Tyto služby však vyžadují nepřerušované spojení, kterého bychom standardními způsoby nedokázali dosáhnout. Řešení tohoto problému bylo zadáno expertní skupině v rámci organizace IETF, která později zadefinovala standard pro řešení. Tímto standardem se stal protokol MobileIP, který se dočkal implementace jak pro protokoly IPv4, tak IPv6, a také mnoha dalších rozšíření jako je např. NEMO – mobilita sítí. Protože MobileIP je jedním z protokolů implementovaných do technologie LTE, která má v budoucnosti nahradit stávající GSM či pozdější UMTS, zaměřuje se práce na měření praktických parametrů, na něž uživatelé kladou největší nároky. Těmi jsou hlavně délka handoverů, zpoždění přenosu, spolehlivost přenosu a další.

1 MOBILE IP

Hlavním cílem technologie Mobile IP (zkráceně MIP) je zajistit kontinuitu spojení. Tok packetů nesmí být přerušen bez ohledu na to, kde se síťové zařízení právě nachází či jakým způsobem se momentálně pohybuje. Nejtypičtější situací je pohybující se bezdrátový uzel (např. v dopravním prostředku), který díky omezenému dosahu přilehlých access-pointů neustále mění síť, pod kterou spadá, a tím i opakovaně mění svou IP adresu. Díky tomu se logicky spojení na určitý čas přeruší do doby, než uzel získá novou IP adresu a nežli se služba přizpůsobí novým podmínkám spojení. Pro definici popisu jak protokol Mobile IP musíme vyhradit následující pojmy.

1.1 Pojmy Mobile IP

Mobile Node (MN) – Mobilní uzel, který se pohybuje v rámci internetu a neustále tak mění své fyzické připojení k síti.

Mobile Router (MR) – Mobilní router, který spravuje mobilní síť.

Local Fixed Node (LFN) – Uzel, který je připojen k mobilní síti.

Correspondent Node (CN) – Cílový uzel v síti, se kterým MN či LFN komunikuje.

Home Agent (HA) – Domácí agent, fyzicky se jedná nejčastěji o router v domácí síti, který se stará o tunelování packetů k mobilnímu uzlu či routeru.

Foreign Agent (FA) – Cizí agent, který má za úkol odstranit dvojitou hlavičku z tunelovaného packetu a směrovat jej ke správnému uzlu. Nejčastěji se jedná o okrajový router cizí sítě.

Home Network (HN) – Domácí síť, ve kterém se MR či MN standardně vyskytuje, pokud není v pohybu.

Home Address – IP adresa přiřazená MR či MN v případě, že se nachází ve své domácí síti.

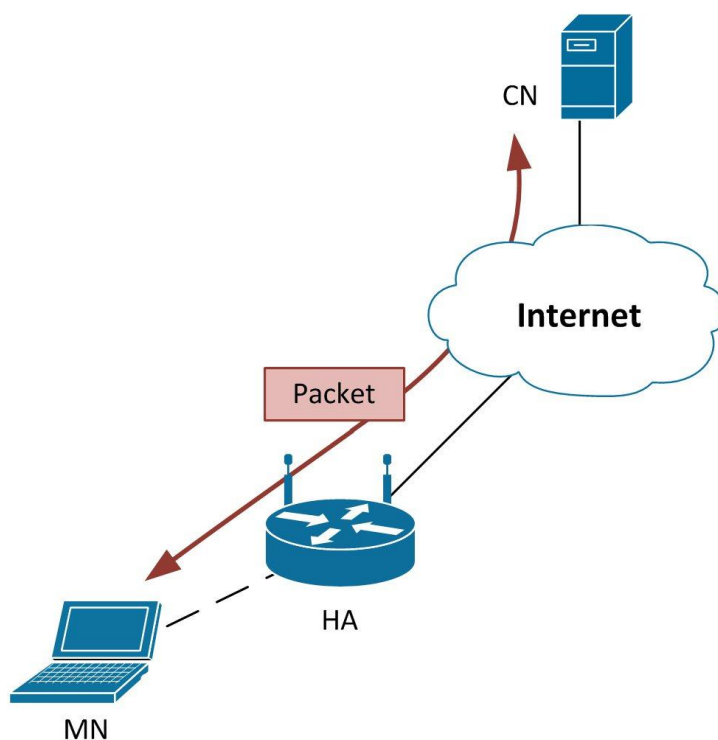
Care of Address (CoA) – IP adresa uzlu, který přeposílá mobilnímu uzlu packety (zbavené dvojité hlavičky) určené jeho domovské IP adrese. V klasické podobě se jedná o adresu okrajového routeru (FA) v cizí síti.

Co-located Care of Address (CoCoA) – Jedná se o IP adresu uzlu kdekoliv na síti internet, která plní stejnou funkci jako CoA, nejedná se však o okrajový router cizí sítě.

1.2 Činnost Mobile IP IPv4

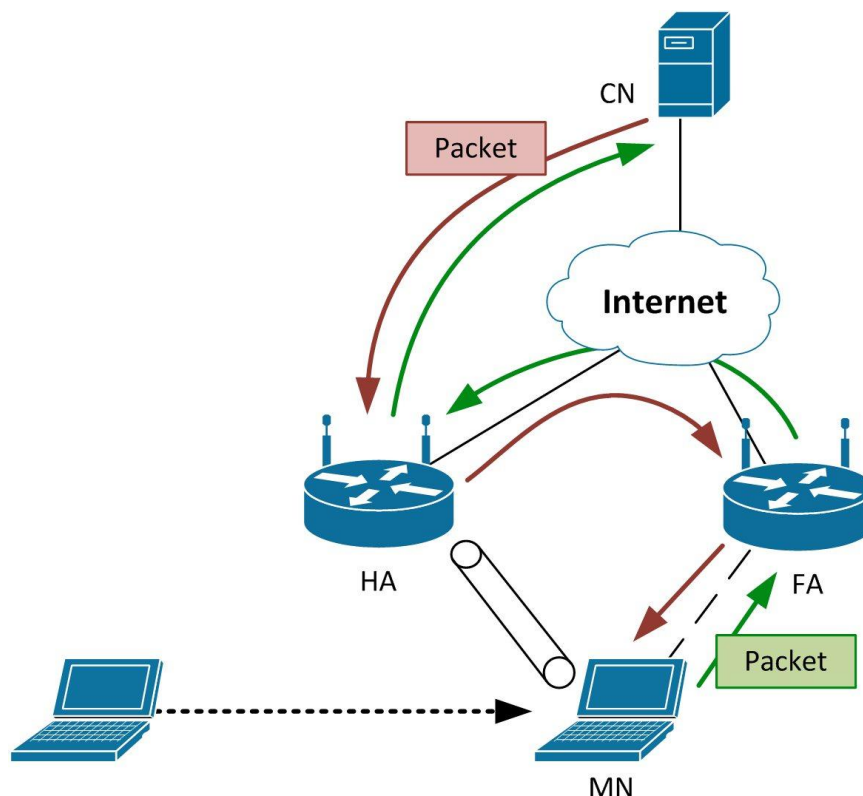
Protože obsah práce není primárně zaměřen na Mobile IP v jeho široké formě, popisuje činnost Mobile IPv4 pouze obecně. Pro pochopení problematiky mobility sítí je však důležité znát základní principy mobility uzlů. Kompletní specifikaci Mobile IP IPv4 lze nalézt v RFC 3344 [3].

Pokud se MN nachází ve své domovské síti, komunikuje s ostatními uzly v síti Internet zcela standardním způsobem, jak zobrazuje následující náčrt.



Obrázek 1 Standardní síťová komunikace uzlu se serverem

Jiná situace nastane, pokud MN svou síť opustí a připojí se k cizí síti. MN získá topologicky správnou IP adresu cizí sítě. K zajištění kontinuity služeb, musí zůstat MN dostupný pod IP adresou své domovské sítě.



Obrázek 2 Komunikace mobilního uzlu se serverem po migraci do jiné sítě

Po té, co se MN připojí k jiné síti čeká dobu t_1 , zda-li mu nepřijde zpráva **Agent Advertisement**. Pokud se tak nestane, vyšle multicast či broadcast žádost **Agent solicitation** o získání CoA adresy. Na tuto žádost odpoví HA či FA zprávou **Agent advertisement**. Tato zpráva má následující účel:

- Umožňuje detekci HA či FA
- Obsahuje jednu či více dostupných CoA
- Informuje MN o speciálních funkcích FA
- Poskytuje MN znalost, zda-li se nachází v domovské či cizí síti

Po té, co MN získá svoji CoA adresu, vyšle MN zprávu **CoA registration request** k HA či FA obsahující informace k vytvoření obousměrného tunelu mezi HA a CoA.

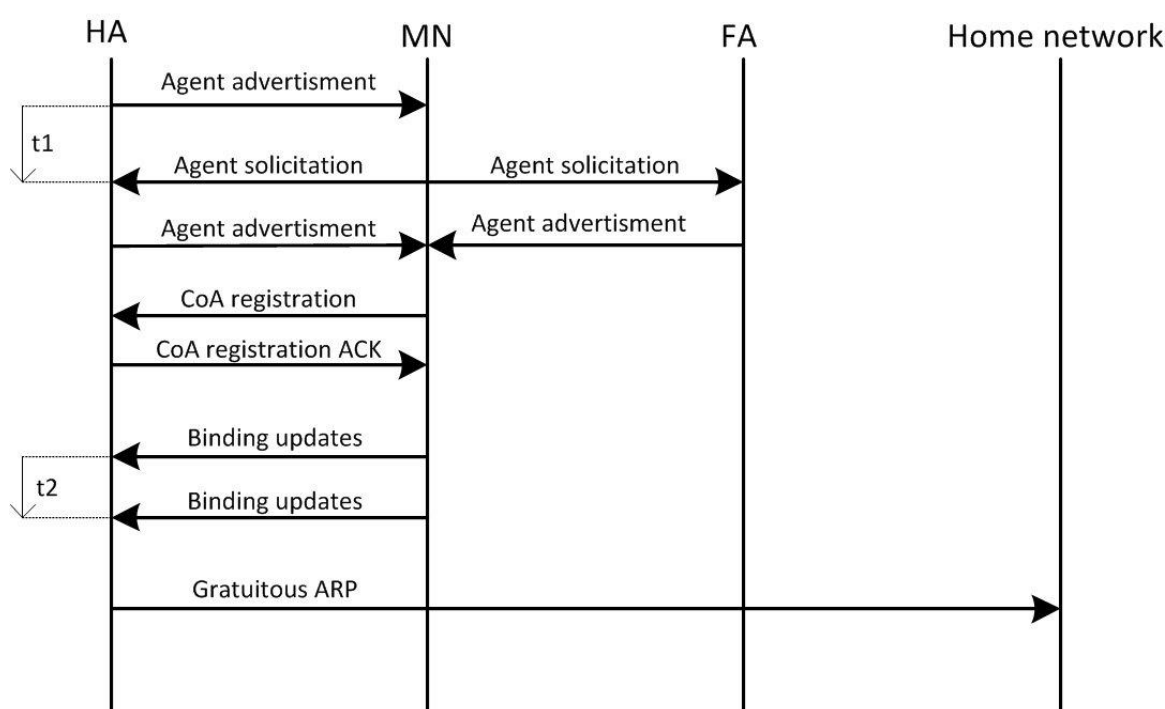
Na tuto zprávu HA odpovídá zprávou **CoA registration ACK**, která nese informace o úspěšnosti vytvoření tunelu k CoA. Po ustanovení tunelu je MN nadále dostupný pod svou domovskou adresou.

Komunikace probíhá tak, že CN vyšle packet určený pro MN s cílovou adresou MN v jeho domovské síti. Tento packet zachytí HA, který mu přiřadí další hlavičkou s cílovou adresou CoA a je tunelován k uzlu s CoA. Uzel hlavičku opět odstraní a zašle packet na topologicky správnou adresu MN. Pokud neužíváme jednu z technik

optimalizace cesty, pakety putují stejnou cestou i zpět k CN.

MN také posílá k HA v pravidelných intervalech zprávy **Binding updates**, které obsahují informace o aktuálním CoA a také čas **t2**, po jaký bude adresa CoA pro daný MN platná, tzv. **registration lifetime**.

Pro vyhnutí se konfliktům a smyčce musí HA zaslat všem uzlům v domácí síti zaslat nucenou ARP žádost **Gratuitous ARP** s IP adresou mobilního uzlu. Všechny uzly v domácí síti následně zjistí, že se uzel fyzicky nenachází v jejich síti a aktualizují své ARP tabulky. Signály popsané výše jsou zobrazeny i v následujícím signálovém diagramu:



Obrázek 3 Diagram zpráv zasílaných při migraci mobilního uzlu

1.3 Implementace Mobile IPv4

1.3.1 Zprávy Agent Advertisement

Zprávy Agent Advertisement (informace o agentovi) jsou zasílány mobilními agenty (tedy HA či FA), aby všechny uzly připojené v síti věděly o poskytovaných službách mobilního agenta. Jedná se o zprávu ICMP Router Advertisement, která obsahuje rozšíření Mobility Agent Advertisement Extension a volitelně Prefix-lengths extension (určené pro mobilní sítě), One-Byte Padding Extension či další.

Pole na linkové vrstvě

Destination address (cílová adresa) musí být stejná jako adresa uzlu, který zprávu vysílá.

Pole na IP vrstvě

Time-to-live (doba zahození) packetu musí být nastavena na 1.

Destination address musí obsahovat buď multicastovou adresu typu „všechny uzly na lince“ (224.0.0.1) nebo adresu typu „limitovaný broadcast“ (255.255.255.255). Pokud je zpráva vysílána jako unicast, cílová adresa by měla být stejná jako domovská adresa mobilního uzlu.

ICMP pole

Code

- 0 Mobilní agent se chová jako běžný router a umí směřovat všechny přenos, tedy i ten, který není určen pro mobilní uzel.
- 16 Mobilní agent nevystupuje jako běžný router a nesměruje všechny přenos, ale musí směřovat minimálně přenos z mobilního uzlu.

Lifetime udává maximální dobu, po kterou zpráva Agent Advertisement bude považována za validní. Do konce této doby musí MN obdržet další zprávu Agent Advertisement.

Router address/es (Adresa routeru/ů) – volitelné pole. Pokud se agent rozhodne vložit nějakou adresu do tohoto pole, musí se jednat pouze o jeho adresu.

Počet adres – volitelné pole. Pokud se agent nerozhodne vložit adresu do předchozího pole, nastaví počet na 0.

Rozšíření Mobility Agent Advertisement

Byte	0	1	2	3							
	Type	Length	Sequence number								
	Registration lifetime		R	B	H	F	M	G	r	T	Reserved
	Zero or more Care-of Address										

Tabulka 1 Struktura zprávy Mobility Agent Advertisement

Type

16

Length

$6+4*N$, kde N značí počet uvedených CoA

Sequence Number

Počet zpráv od doby, kdy agent byl agent inicializován.

Registration lifetime

Nejdelší doba (měřená v sekundách), kdy je agent schopen přijmout zprávu Registration Request. Pokud je nastavena na 0xffff, znamená to nekonečno.

R Vyžaduje registraci. Registrace k tomuto FA (popř. jinému na stejné lince) je vyžadována i v případě, že je užita Co-located Care-of address.

B Zaneprázdněn. Tento FA není schopen přijmout žádnou registraci od jakéhokoliv MN.

H Home Agent. Agent je schopen poskytnout služby Home Agentu na lince, na kterou byla zpráva zaslána.

F Foreign Agent. Agent je schopen poskytnout služby Foreign Agentu na lince, na kterou byla zpráva zaslána.

M Minimální zapouzdření. Agent je schopen přijmout tunelované datagramy, které užívají techniku minimálního zapouzdření.

G GRE zapouzdření. Agent je schopen přijmout tunelované datagramy, které užívají techniku GRE zapouzdření.

r Nastaveno na 0, příjemcem je ignorováno. Žádná jiná hodnota by neměla být zaslána.

T Foreign agent podporuje obousměrný tunel (reverse tunneling)

Reserved

Nastaveno na 0, ignorováno příjemcem.

Care-of Address

Obsahuje Care-of Address, která obsluhuje Foreign Agenta. Musí obsahovat minimálně jednu adresu.

1.3.2 Agent Solicitation

Zprávy Agent Solicitation (vyžádání agenta) jsou zasílány mobilním uzlem v případě, že MN nezíská žádného agenta, pomocí kterého by mohl komunikovat. Jejich struktura je úplně stejná jako zpráva ICMP Router Solicitation popsaná v RFC 1256 [10] až na pár výjimek:

- Pole TTL na IP vrstvě musí být nastaveno na hodnotu 1
- Mobilní uzel může vysílat tyto zprávy častěji než jednou za 3 sekundy
- Mobilní uzel, který není připojen k žádnému agentovi, může vyslat více zpráv, než je specifikováno jako MAX_SOLICITATIONS

1.3.3 Zprávy Registration Request

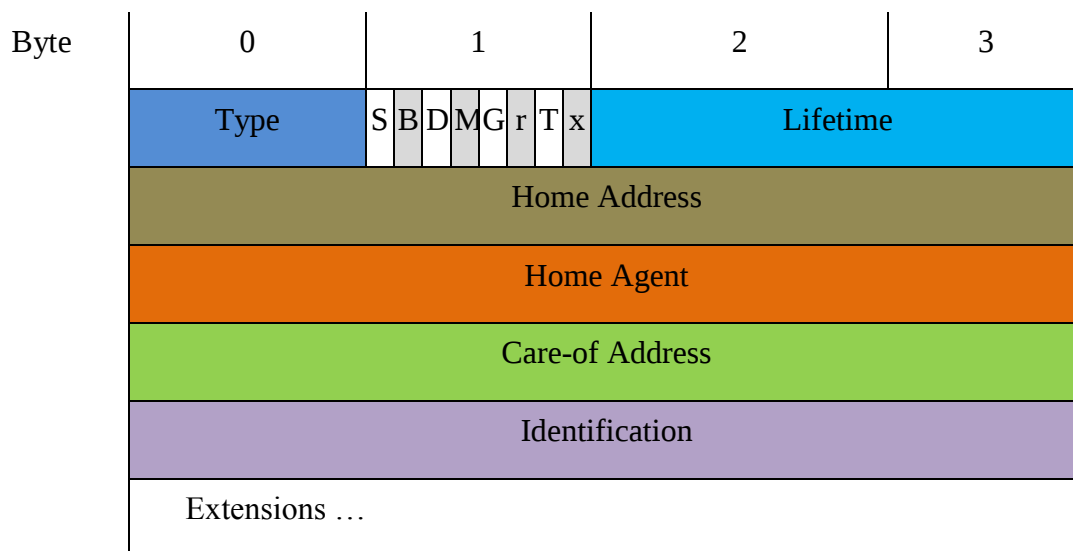
UDP zprávy Registration Request (nebo také žádost o registraci) jsou iniciovány mobilním uzlem k Home Agentovi. Home Agent následně vytvoří nebo upraví svůj záznam v paměti pro tento mobilní uzel (např. s novým časem registration lifetime). Žádost o registraci je zasílána Foreign Agentem, ke kterému je mobilní uzel registrován nebo je zasílán přímo v případě, kdy mobilní uzel užívá Co-located Care-of adresu.

Pole na IP vrstvě

Zdrojová adresa je typicky nastavena na síťové rozhraní, ze kterého je zpráva zasílána. Cílová adresa náleží Home Agentovi.

Pole na UDP vrstvě

Zdrojový port je volitelný, cílový port na který jsou zprávy zasílány je 434. Za UDP hlavičkou následuje pole Mobile IP, které vypadá následovně:



Tabulka 2 Struktura zprávy Registration Request

Type

1 (Žádost o registraci)

S Průběžná binding aktualizace. Pokud je hodnota bitu 1, home agent bere zprávu jako průběžnou aktualizaci svého záznamu v paměti. V opačném případě agent záznam smaže a nahradí jej hodnotami uvedenými ve zprávě Registratrion Request.

B Datagramy typu broadcast. Pokud je hodnota 1, mobilní uzel vyžaduje po Home Agentovi, aby mu tuneloval veškeré datagramy typu broadcast.

D Odpouzďřování packetů mobilním uzlem. V případě, že je hodnota 1, mobilní uzel sám odpouzďřuje packety, které byly zaslány na jeho Care-of adresu. Mobilní uzel tedy využívá Co-Located Care-of adresy.

M Minimální zapouzdření. Mobilní uzel žádá Home Agentu, aby užil techniku minimální zapouzdření pro tunelování diagramů.

G GRE zapouzdření. Mobilní uzel žádá Home Agentu, aby užil techniku GRE zapouzdření pro tunelování diagramů.

r Nastaven na 0, ignorován příjemcem. Neměl by být využíván pro jiné účely.

- T** Je vyžadováno zpětné (či obousměrné) tunelování.
- x** Nastaven na 0, ignorován příjemcem.

Lifetime

Udává dobu v sekundách, za kterou bude registrace považována za promlčenou. Hodnota 0 znamená žádost o odregistrování. Hodnota 0xffff znamená nekonečno.

Home Address

IP adresa mobilního uzlu na domácí lince.

Home Agent

IP adresa Home Agentu.

Care-of Address

IP adresa hraničního uzlu, kde končí tunel.

Identification

64 bitové číslo vygenerované mobilním uzlem. Užívá se pro párování registračních žádostí s registračními odpověďmi a také jako ochrana proti útokům pomocí registračních zpráv.

Extensions

Rozšíření užívané např. pro autentizace či autorizace, které překračují rámec této práce.

1.3.4 Zprávy Registration Reply

Zprávy Registration Reply (tedy odpověď na registrační žádost) jsou zasílány Home agentem mobilnímu uzlu. Obsahují nezbytné informace, které uzel informují o stavu vyřízení jeho žádosti společně s dobou Lifetime, která může být menší, než byla uvedena v žádosti.

Pole na IP vrstvě

Zdrojová adresa je až na výjimky kopií cílové adresy z registrační žádosti. Cílová adresa je naopak kopií zdrojové adresy z žádosti.

Pole na UDP vrstvě

Zdrojový port je volitelný, cílový port je opět kopírován ze žádosti. UDP hlavička je následována následující strukturou:

Byte	0	1	2	3
	Type	Code	Lifetime	
	Home Address			
	Home Agent			
	Identification			
	Extensions ...			

Tabulka 3 Struktura zprávy Registration Reply

Type

3 (odpověď na žádost o registraci)

Code

Hodnota tohoto pole informuje o výsledku vyřízení žádosti, viz dále.

Lifetime

Udává dobu v sekundách, za kterou bude registrace považována za promlčenou.

Hodnota 0 znamená žádost o odregistrování. Hodnota 0xffff znamená nekonečno.

Home Address

IP adres mobilního uzlu na domácí lince.

Home Agent

IP adresa home agenta.

Identification

64 bitové číslo vygenerované home agentem v závislosti na čísle uvedeném v žádosti. Způsob, jakým je číslo generováno přesahuje rámec této práce.

Extensions

Rozšíření, musí obsahovat pole pro autorizaci.

Následující hodnoty a jejich významy jsou užívány v poli Code.

Úspěšná registrace:

- 0 Registrace úspěšně zpracována
- 1 Registrace úspěšně zpracována, ale průběžné binding aktualizace nejsou podporovány

Neúspěšná registrace zaslána Foreign Agentem:

- 64 Důvod neznámý
- 65 Zakázáno administrátorem
- 66 Nedostatečné prostředky
- 67 Selhala autentizace mobilního uzlu
- 68 Selhala autentizace Home Agentu
- 69 Vyžadována doba Lifetime je příliš dlouhá
- 70 Špatně zformovaná žádost
- 71 Špatně zformovaná odpověď
- 72 Vyžadovaná technika zapouzdření není k dispozici
- 73 Zaneprázdněn a nedostupný
- 77 Neplatná Care-of adresa
- 78 Registrace vypršela
- 80 Domácí síť nedostupná
- 81 Uzel nedostupný
- 82 Port Home Agentu nedostupný
- 88 Home Agent nedostupný

Neúspěšná registrace zaslána Home Agentem:

- 128 Důvod neznámý
- 129 Zakázáno administrátorem
- 130 Nedostatečné prostředky
- 131 Selhala autentizace mobilního uzlu
- 132 Selhala autentizace Foreign Agentu
- 133 Pole identifikace není správné
- 134 Špatně zformovaná žádost
- 135 Příliš mnoho průběžných binding aktualizací
- 136 Neznámá adresa Home Agentu

1.4 Odlišnosti Mobile IPv6 a MobileIPv4

Zatímco IPv4 bylo standardizováno v roce 1981, IPv6 se začalo vyvíjet až v roce 1992 a první standardizace přišla roku 1996. Z předchozího lze sledovat, že obě verze protokolu budou značně odlišné, což lze reflektovat i v jejich užitích a rozšířeních, jako např. právě Mobile IP. MIPv6 je robustnějším, komplexnějším a modernějším protokolem, jehož odlišnosti od MIPv4 lze shrnout do níže uvedených bodů. Jedná se však o nekompletní seznam obsahující výčet pouze významných změn.

- MIPv6 nepotřebuje Foreign Agent. Protokol je schopen pracovat v jakémkoliv umístění bez speciální podpory lokálního routeru.
- Podpora pro optimalizaci cesty je nativní součástí protokolu MIPv6, není potřeba žádných nestandardizovaných rozšíření.
- Bezpečnou optimalizaci cesty lze zajistit i bez předem připravených bezpečnostních opatření. Standard je nastaven tak, že optimalizace cesty bude funkční nezávisle na mobilním uzlu MN či korespondenčním uzlu CN.
- Díky nativní podpoře je optimalizace cesty zajištěna i v případě, že router lokální síť aplikuje ingress filtering, tedy filtraci paketů na vstupním rozhraní.
- Paket putující sítí putuje absolutní většinu cesty se standardní IPv6 hlavičkou. Značně tak omezuje pravděpodobnost přetížení uzlu, který užívá standardní IPv4 tunel a je nucen hlavičky paketů upravovat.
- MIPv6 nemá žádná omezení ze strany linkové vrstvy. Nepoužívá standardní IPv4 ARP requesty, ale inovovaný Neighbor Discovery Protocol.
- Dynamický mechanismus zjišťování dostupného Home Agentu zajišťuje návrat pouze jedné odpovědi k mobilnímu uzlu oproti přímému broadcastovému zjišťování v IPv4, kde odpovědi k uzlu přicházejí od každého HA odděleně v různých časech.

1.5 Optimalizace cesty

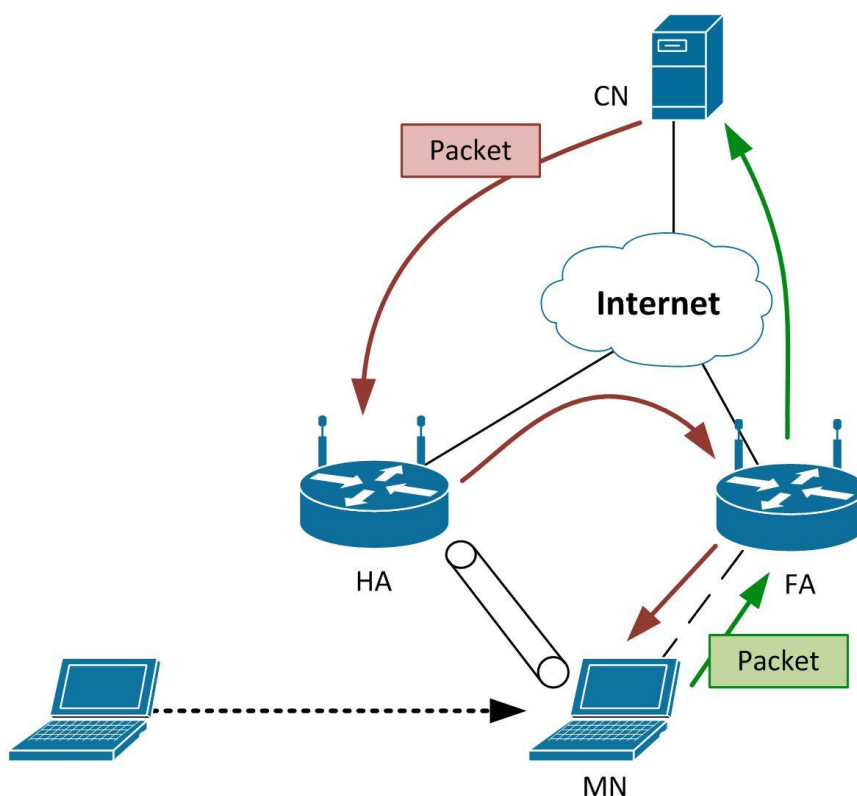
V předcházejících podkapitolách byl často užíván pojem optimalizace cesty (route optimization). Tento postup je využíván k minimalizaci ztrátovosti paketů, snížení latence na nejnížší možnou úroveň a snížení zatížení síťových prvků podílejících se na sestavení mobilního spojení. V zásadě paket může sítí putovat třemi způsoby:

První využívá klasický obousměrný tunel (bi-directional či reverse tunnel) a cesta packetu sítí je již popsána v základním MIPv4 protokolu. Tento způsob směřování není

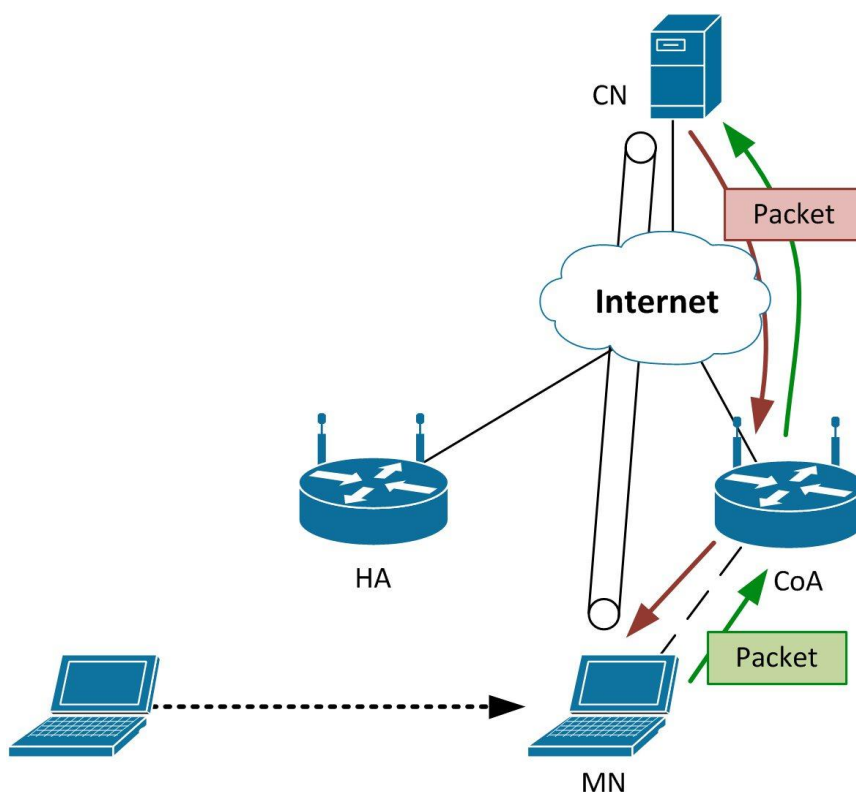
standardně využívaný a využívá se pouze v případě specifických požadavků (např. z důvodu nastavení firewallu) lze nastavit směrování odchozího provozu zpět do HA.

Druhý využívá tzv. trojúhelníkového směrování, kdy packet směrem k mobilnímu uzlu putuje od CN skrz HA, CoA až k MN. Packet směrem od mobilního uzlu už nevyužívá služeb HA a putuje tedy pouze přes CoA přímo k CN. Tento způsob směrování zajišťuje FA ve spolupráci s HA, nastaví jako zdrojovou IP adresu adresu příslušného HA a zpětné směrování jde pak opět přes HA.

Třetí optimalizace cesty využívající registrace u CN je standardizovaná pouze u sítě IPv6. Využívá přímého routování, kde packety putují síti přímo pouze přes CoA a nevyužívají meziuzlu HA. Tato metoda využije podporu mobility u CN, který si podobně jako HA vytváří paměťové záznamy o jednotlivých mobilních uzlech, jejich CoA a HA. První metoda je znázorněna na obrázku 2, další dvě metody můžeme vidět na obrázcích níže.



Obrázek 4 Optimalizace cesty pomocí trojúhelníkového směrování



Obrázek 5 Optimalizace cesty pomocí přímého směrování

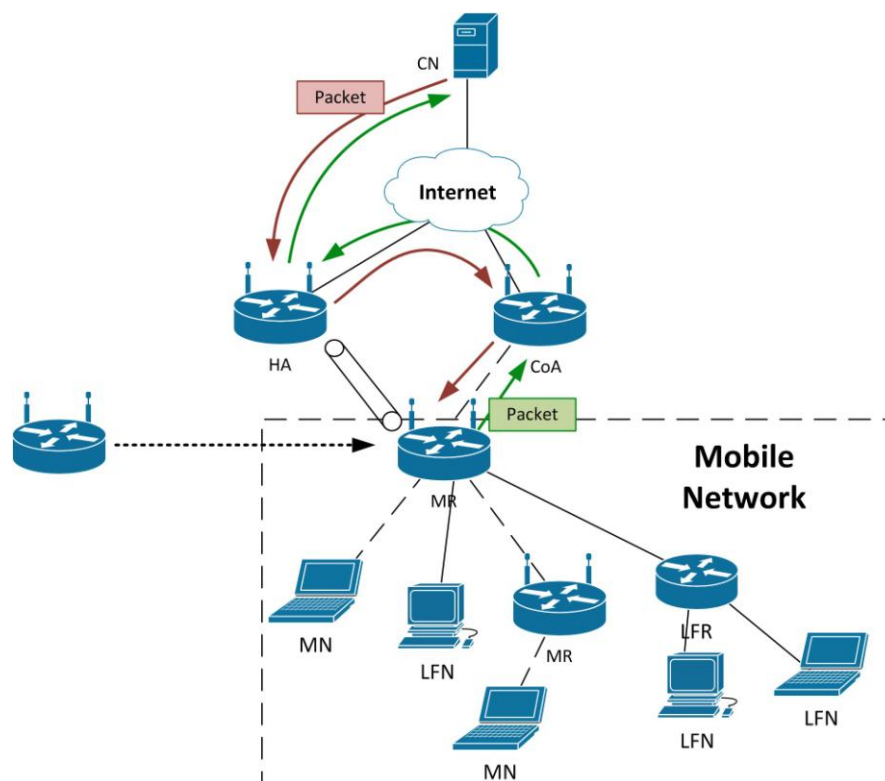
2 NEMO

NEMO nebo také Network Mobility rozšiřuje protokol Mobile IP o implementaci mobility sítě. Existuje ve verzi pro IPv4 i IPv6.

Mobilní síť nazýváme segment, popř. subnet, který se může pohybovat a připojovat se k příslušným bodům síťové infrastruktury. Mobilní síť je přístupná pouze skrz specifické brány, které nazýváme mobilní routery. Každá mobilní síť obsahuje minimálně jeden takový router. Mobilní router vytváří oboustranný tunel s Home Agentem, který integruje mobilní síť do infrastruktury celkové sítě. Mobilní Router slouží také jako výchozí brána pro uzly mobilní sítě.

Každý mobilní router vlastní unikátní adresu (nazývanou Home Address nebo také domovská adresa) skrz kterou je dostupný jakmile se úspěšně zaregistruje u svého Home Agentu. Pokud se mobilní router vzdálí ze své domácí sítě a připojí se k novému přístupovému routeru, vyžádá si Care-of adresu z této cizí sítě. Mobilní router může

kdykoliv vystupovat jako mobilní host (MN) či jako mobilní router (MR). Do mobilní sítě může být taktéž připojen uzel, který podporuje mobiltu, uzel, který ji nepodporuje, ale stejně tak i další mobilní router a jeho síť či další pevný router. Příklad rozsáhlejší mobilní sítě můžeme vidět na obrázku.



Obrázek 6 Migrace mobilní sítě

2.1 Základní principy činnosti NEMO

Hlavní implementační rozdíl mezi MIP a NEMO spočívá v registraci mobilních sítí, tzv. network prefixes. Každý MR může spravovat několik mobilních sítí. Pokud je MR v domovské síti, už v tu dobu musí mít ke každé ze svých sítí přiřazen prefix, který eviduje HA. HA tedy spravuje tabulku prefixů a ví, který MR je přiřazen ke kterému prefixu. Zpráva CoA registrace a pravidelné binding aktualizace zasílané MR pak musí obsahovat prefixy, které chce u HA registrovat (platí pouze pro explicitní mód). Na základě těchto zpráv pak HA vytvoří obousměrný tunel, který zajišťuje spojení mezi MR a HA. Z výše uvedeného vyplývá, že HA, který nepodporuje rozšíření NEMO, nebude schopen takové zprávy zpracovat a spojení mobilní sítě se tak stane nefunkční.

Podpora NEMO je tedy základní požadavek na HA.

Výše je zmíněn pojem explicitní mód. Registrace MR k HA může pracovat právě dvěma způsoby, tedy ve dvou módech:

V explicitním módu MR informuje svého HA pomocí zpráv obsahující tzv. network prefix, jakým způsobem má nastavit směrovací protokol.

Implicitní mód s žádnými takovými zprávami nepočítá a HA tak nastavuje směrování dle jiných vstupních informací, např. statickým nastavením, pomocí AAA serveru či skrz dynamický směrovací protokol.

2.1.1 Vnořené mobilní sítě

Oba protokoly principiálně podporují tzv. vnořování či zanořování dalších mobilních sítí pod již existující mobilní síť. Mobilní router MR2 se připojí k už existující mobilní síti mobilního router MR1 a následující výměna zpráv probíhá podobně jako při připojení ke standardní mobilní síti. Nevýhoda této metody spočívá v několikanásobném zapouzdření packetů, z čehož vyplývá i několikanásobný nárůst zátěže na HA a CoA (popř. LFN), které zapouzdřování a odpouzdřování packetů mají na starosti. To může vést až k přetížení těchto zařízení a nestabilitě mobilního spojení. Mj. i z těchto důvodů IETF doporučuje maximálně 4 úrovně vnořených sítí, ačkoliv samotný standard toto číslo nijak neomezuje.

2.2 Základní rozdíly NEMOv4 a NEMOv6

Rozdíly mezi NEMOv4 a NEMOv6 nejsou tak zásadní jako MIPv4 a MIPv6, ale v nich lze nalézt jisté paralely. I zde platí, že NEMOv6 je modernějším a robustnějším protokolem. Hlavní rozdíly v bodech jsou:

- NEMOv6 vyžaduje použití zabezpečení na síťové vrstvě pomocí IPSec, u NEMOv4 je tato možnost volitelná
- NEMOv4 může vyžadovat užití FA, u NEMOv6 tato potřeba zcela odpadá
- V závislosti na použité CoA může NEMOv4 vyžadovat dvojité zapouzdření packetů (na cestě MR-HA i na FA-HA), NEMOv6 užívá pouze tunelu MR-HA
- Mechanismus tunelování u NEMOv4 je založen na principu zapouzdření

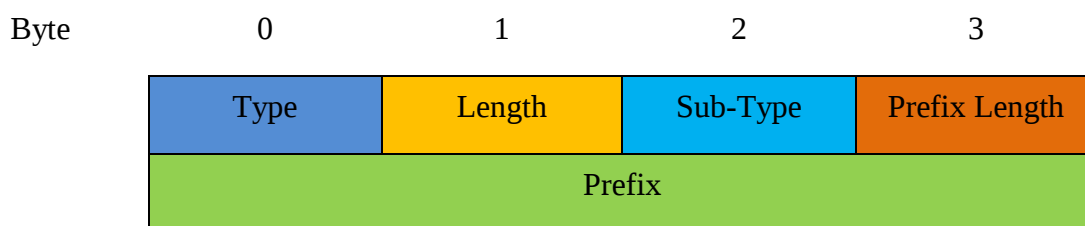
packetů, NEMOv6 je řešeno sofistikovanější metodou „Routing header“ viz RFC 2473 [7]

- Signalizační zprávy u NEMOv4 jsou zasílány klasickými UDP packety, u NEMOv6 je použito rozšíření IP hlavičky (Mobility Extension Header)
- Prefixy sítí jsou v případě NEMOv4 zasílány ve více zprávách, NEMOv6 může obsahovat vše ve zprávě jedné

2.3 Implementační rozdíly NEMOv4 a NEMOv6

2.3.1 Registrační žádosti HA (Mobile Network Request Extension)

NEMOv4 nevyužívá k registraci hlavičky IP packetu, ale strukturovaný UDP packet. Struktura packetu vypadá následovně:



Tabulka 4 Struktura zprávy Mobile Network Request Extension pro NEMO IPv4

Type

148 Mobile Network Extension

Length

6

Sub-Type

0 Mobile Network Request

Pole Type označuje o jaký typ žádosti se jedná. Hodnota (po přepočtu do decimálního vyjádření) 148 označuje právě žádost typu NEMO. Pokud HA tuto hodnotu nezná, odpoví na žádost chybou (viz dále).

NEMOv6 využívá k registraci vyhrazené části standardizované hlavičky IPv6 packetu. Struktura pak vypadá následovně:

bit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
																	Sequence #																
A	H	L	K	M	R	Reserved											Lifetime																
Mobility options																																	

Tabulka 5 Struktura hlavičky IPv6 packetu pro zprávy binding

Oproti standartní části známé z MIPv6 zde přibyla ještě jeden signalizační bit (flag) (R). Tento znak značí, že se jedná o mobilní router, nikoliv uzel. Vyhrazené pole mobility options slouží pro další upřesnění zprávy. Oproti NEMOv4 nerozlišuje NEMOv6 zprávy na binding a Agent Advertisement. Vždy se jedná zprávu o binding, která se vkládá do pole mobility options. Ta vypadá pak následovně:

Byte	0	1	2	3
	Type	Length	Reserved	Prefix Length
	Mobile Network Prefix			

Tabulka 6 Struktura zprávy binding pro NEMO IPv6

Type

6

Length

Těchto osm bitů je bezznaménkový integer definující proměnnou délku polí type a length. Je nastaven na hodnotu 18.

Reserved

Toto pole je prozatím nevyužívané. Hodnota musí být odesilatelem nastavena na 0 a příjemce je povinen toto pole ignorovat.

Prefix Length

Bezznaménkový integer indikující délku prefixu v poli Mobile Network Prefix

Mobile Network Prefix

16 bajtů dlouhé pole nesoucí informace o prefixech sítě.

2.3.2 Registrační odpovědi HA (Mobile Network Acknowledgment Extension)

Fungují prakticky na totožném principu jako registrační zprávy. Jejich struktura v NEMOv4 je následující:

Byte	0	1	2	3
	Type	Length	Sub-Type	Code
	Prefix Length	Reserved	Prefix ...	
	... Prefix			

Tabulka 7 Struktura zprávy Mobile Network Acknowledgment pro NEMO IPv4

Type

148 Mobile Network Extension

Length

8 (v decimální vyjádření)

Sub-Type

1 (Explicit Mode Acknowledgement)

2 (Implicit Mode Acknowledgement)

Code

Toto pole udává hodnotu, která udává úspěch či neúspěch zpracování.

0 Úspěšné zpracování

1 Neplatný prefix (MOBNET_INVALID_PREFIX_LEN)

2 Mobilní router není autorizován pro tento prefix

(MOBNET_UNAUTHORIZED)

3 Nastavení směrování selhalo (MOBNET_FWDING_SETUP_FAILED)

147 Neznámá chyba (HA_MOBNET_ERROR)

148 Nastavení směrování pro tento prefix není povoleno

(HA_MOBNET_DISALLOWED)

Prefix Length

Beznaménkový 8-bitový integer udává, jaká část IP adresy z pole Prefix indikuje síť.

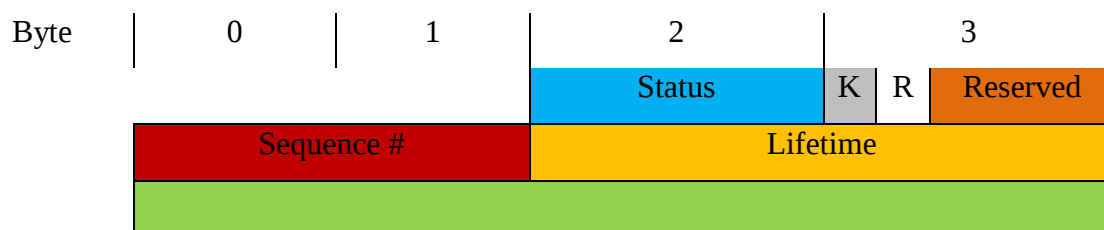
Reserved

Nastavena na 0, ignorován příjemcem.

Prefix

32-bitový bezznaménkový integer obsahující IPv4 adresu, délka překryvu s polem Prefix Length vytváří Mobile Network prefix.

U NEMOv6 je situace následující:



Tabulka 8 Struktura zprávy Mobile Network Acknowledgment pro NEMO IPv6

NEMOv6 definuje pouze následující pole Status (ostatní pole definuje již protokol MIP IPv6):

Status

- 140 Operace mobilního routeru nepovolena
- 141 Neplatný prefix
- 142 Mobilní router není autorizován pro tento prefix
- 143 Nastavení směrování selhalo (prefixy chybí)

2.4 Modely a kombinace mobilních uzlů a mobilních sítí

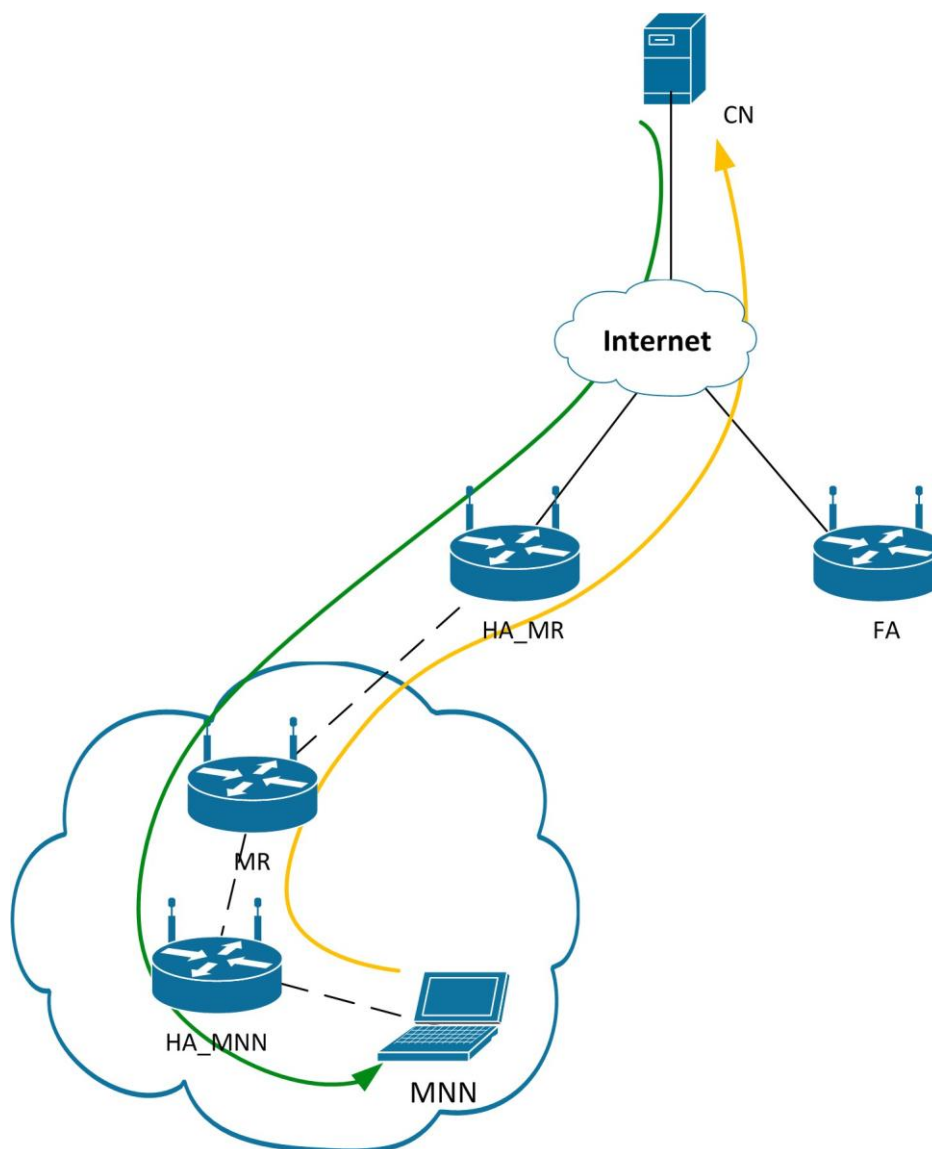
Tato část bakalářské práce se zabývá návrhem rozličných situací, které mohou nastat při různých kombinacích mobilních uzlů a mobilních sítí. Situace, které mohou nastat, ale zdaleka neobsáhnou všechny možné situace, výběr z nich je uveden v bodech níže.

- Připojení běžného mobilního uzlu
- Připojení mobilní sítě
- Připojení mobilní sítě a mobilního uzlu
- Připojení více mobilních sítí a více mobilních uzlů
- Připojení několika vnořených sítí
- Připojení několika vnořených sítí s kombinací mobilních uzlů

Samotné simulační modely a scénáře popsané dále jsou pak zvoleny tak, aby jednoduchým a názorným způsobem demonstrovaly chování protokolu NEMO v různých situacích. Cesty paketů v jednotlivých modelech jsou naznačeny pro IPv4 a obsahují standardní – trojúhelníkové směrování. Pokud to bude možné, modely budou simulovány i pro protokol IPv6 a příslušné cesty pak budou komunikovat přímo mezi uzly. Příslušné modely mohou být v případě potřeby v budoucnu rozšířeny o další tak, aby postihovaly další typické situace.

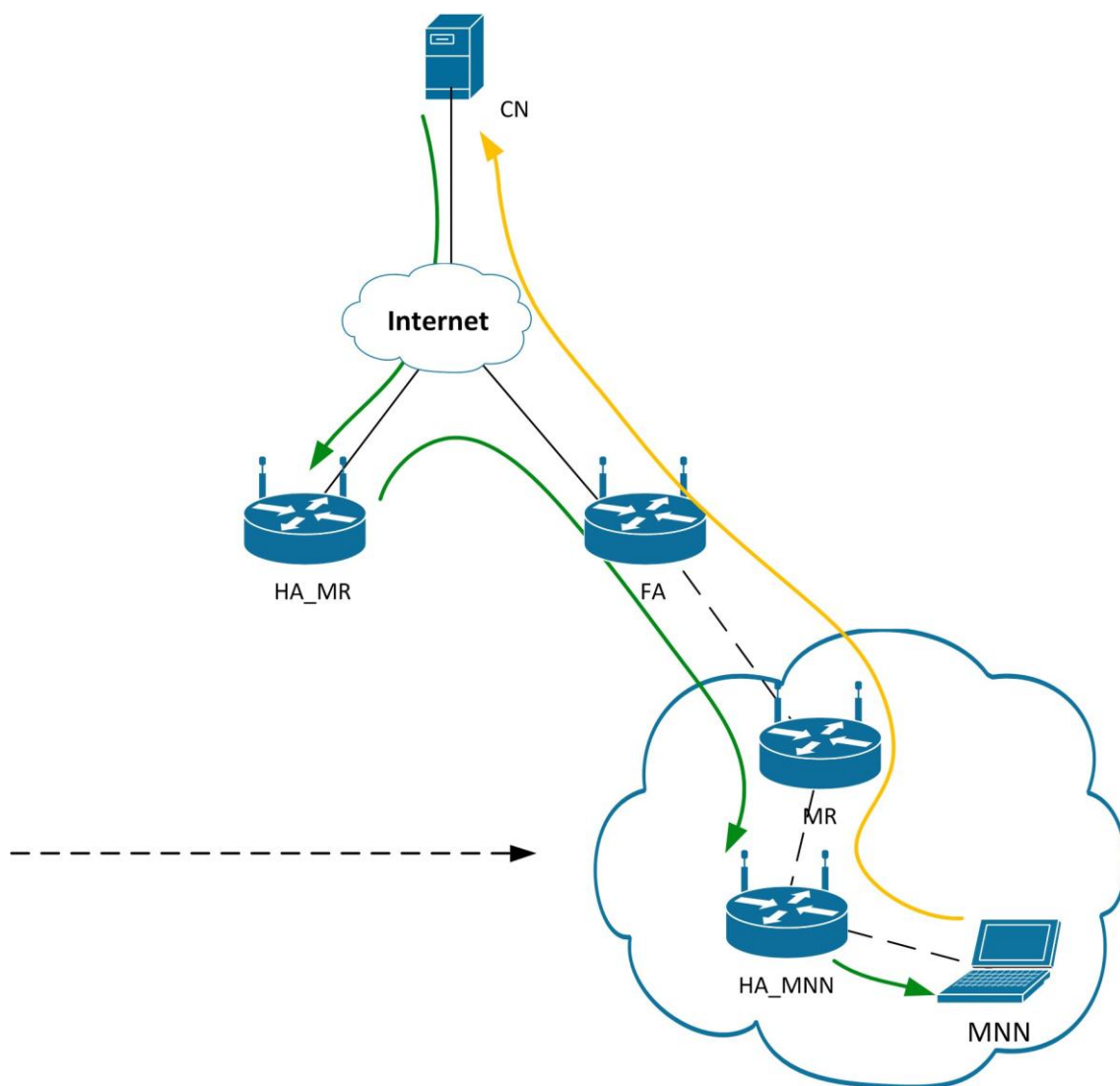
2.4.1 Model 1

První model je tvořen jednou mobilní sítí, ve které se zároveň nachází domácí agent pro volný mobilní uzel. Tento uzel pak komunikuje se serverem CN. Výchozí stav je znázorněn na obrázku níže.



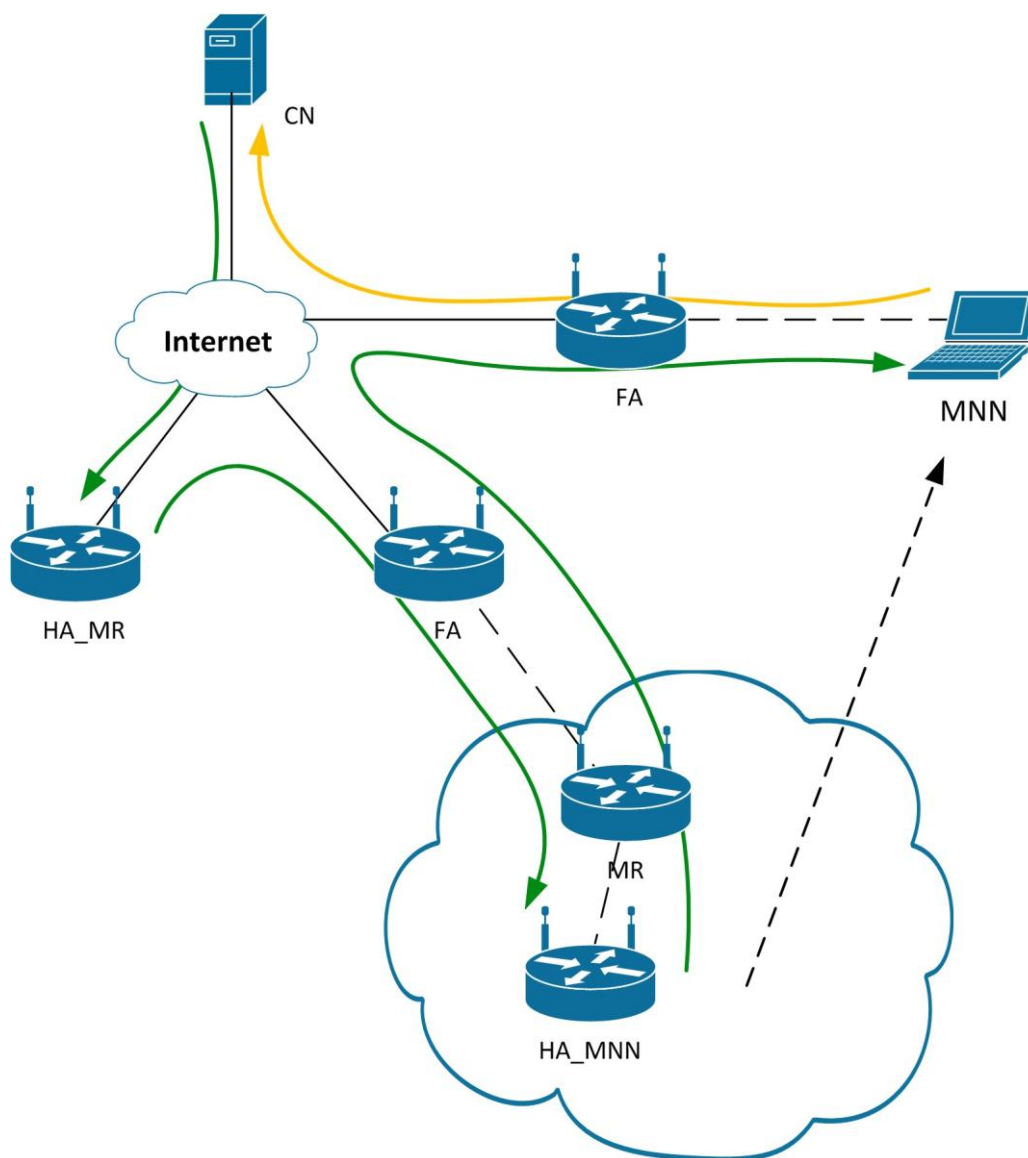
Obrázek 7 Model 1: Výchozí stav

Tento model budeme následně různě upravovat, což tvoří několik scénářů pohybu. První scénář představuje pohyb celé sítě. Takovou síť si můžeme prakticky představit jako autobus, ve kterém je umístěn mobilní router. Autobus pak migruje postupně ze sítě do sítě i se svými připojenými uzly, tento pohyb pak představuje první scénář na obrázku níže. MR přemigruje do jiné sítě, což vytvoří klasické trojúhelníkové směrování a díky tomu nastane určité zpoždění doručení packetů. Packety z uzlu MNN jdou přímou cestou k CN.



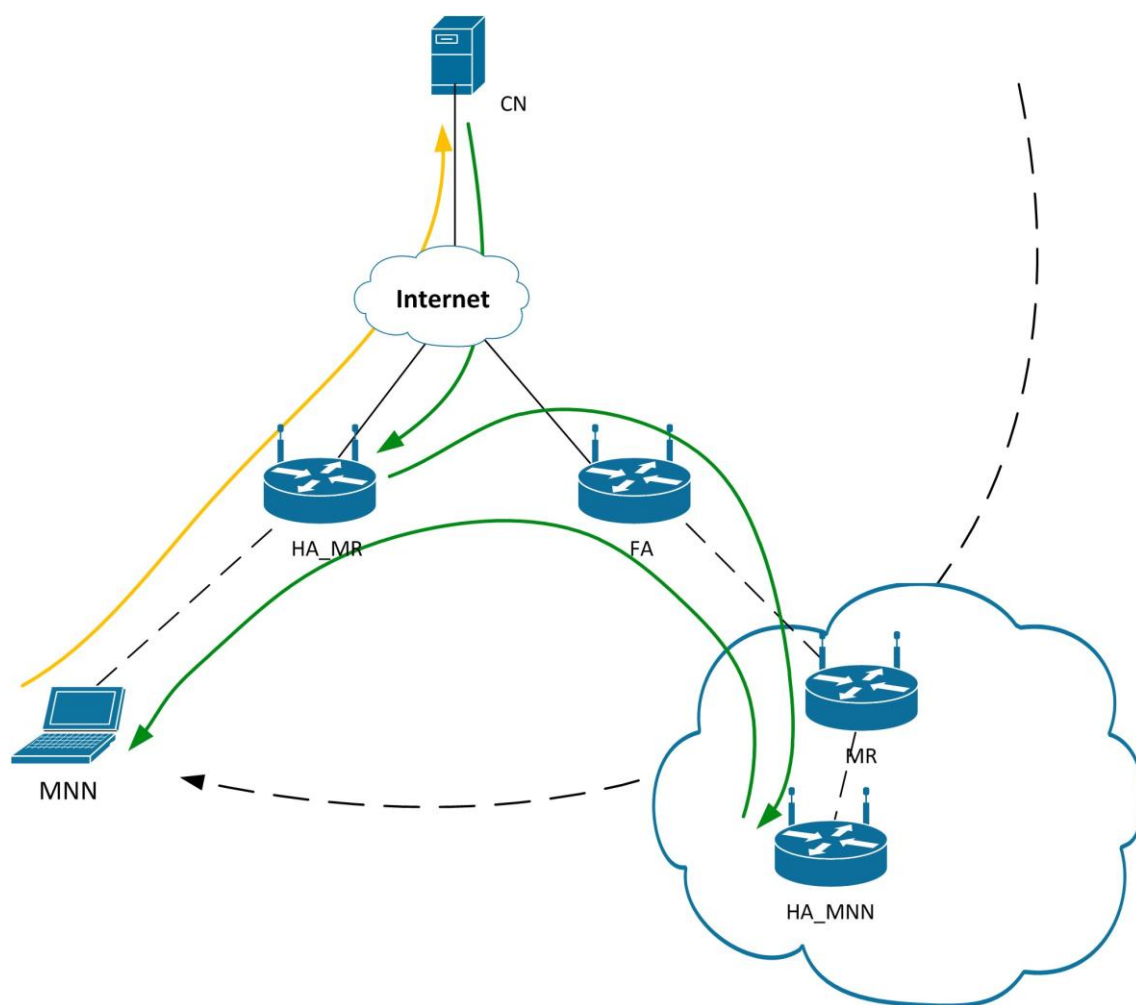
Obrázek 8 Model 1: Migrace sítě

Další scénář představuje migrace pouze mobilního uzlu. Autobus dosáhne během své cesty cílové destinace, cestující se dále pohybuje se svým laptopem a opět změní síť. Jeho HA se však nachází v mobilní síti. Packet od CN tedy bude mít dvojité zapouzdření, napřed putuje k HA mobilní sítě, tento HA packet přesměruje do správného topologického umístění mobilní sítě. Zde ho zachytne HA mobilního uzlu a zjistí, že MNN se v síti nenachází a proto ho přesměruje opět do cizí mobilní sítě dalšího FA. Packet následně bude úspěšně doručen MNN.



Obrázek 9 Model 1: Migrace uzlu

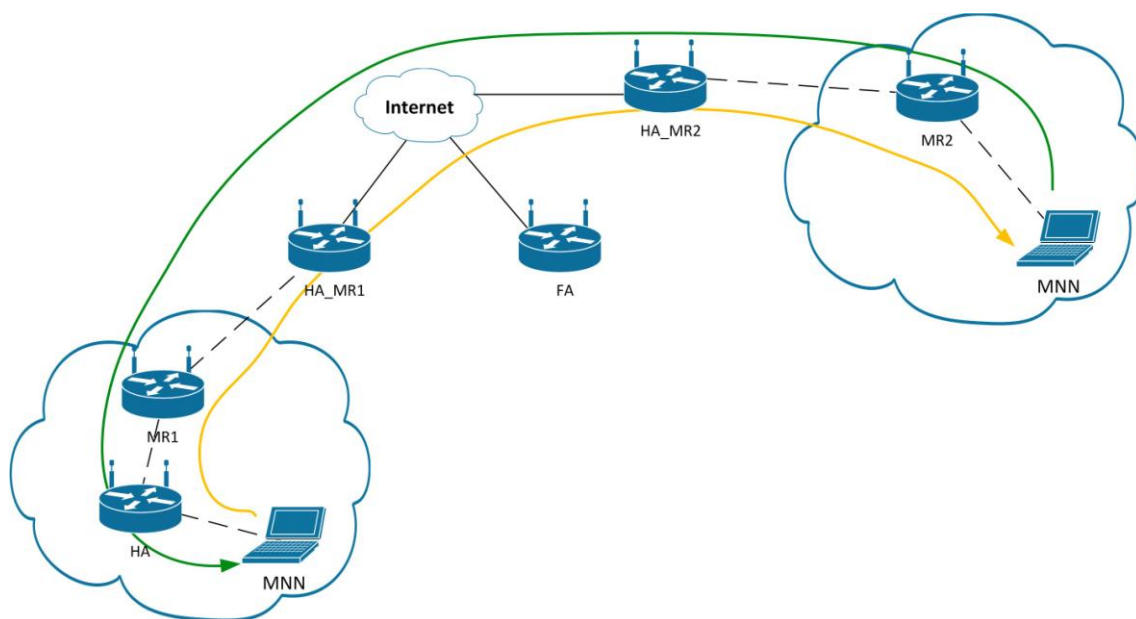
Poslední scénář znázorňuje migraci mobilního uzlu do domovské sítě mobilní sítě. Autobus, ve kterém je MR umístěn zůstane ve své cílové destinaci a nikam se již nepohybuje. Cestující s laptopem tedy nastoupí do jiného autobusu (tento scénář v simulaci neuvažujeme) a vrátí se zpět do místa, odkud původně vyrazil. Zde se připojí k AP HA_MR. Protože se však nejedná o jeho domácí síť, musí se pakety směřovat podobně jako v předchozím případě, nejprve k HA mobilní síti, následně k HA mobilního uzlu a finálně až k mobilnímu uzlu.



Obrázek 10 Model 1: Migrace uzlu do původní destinace

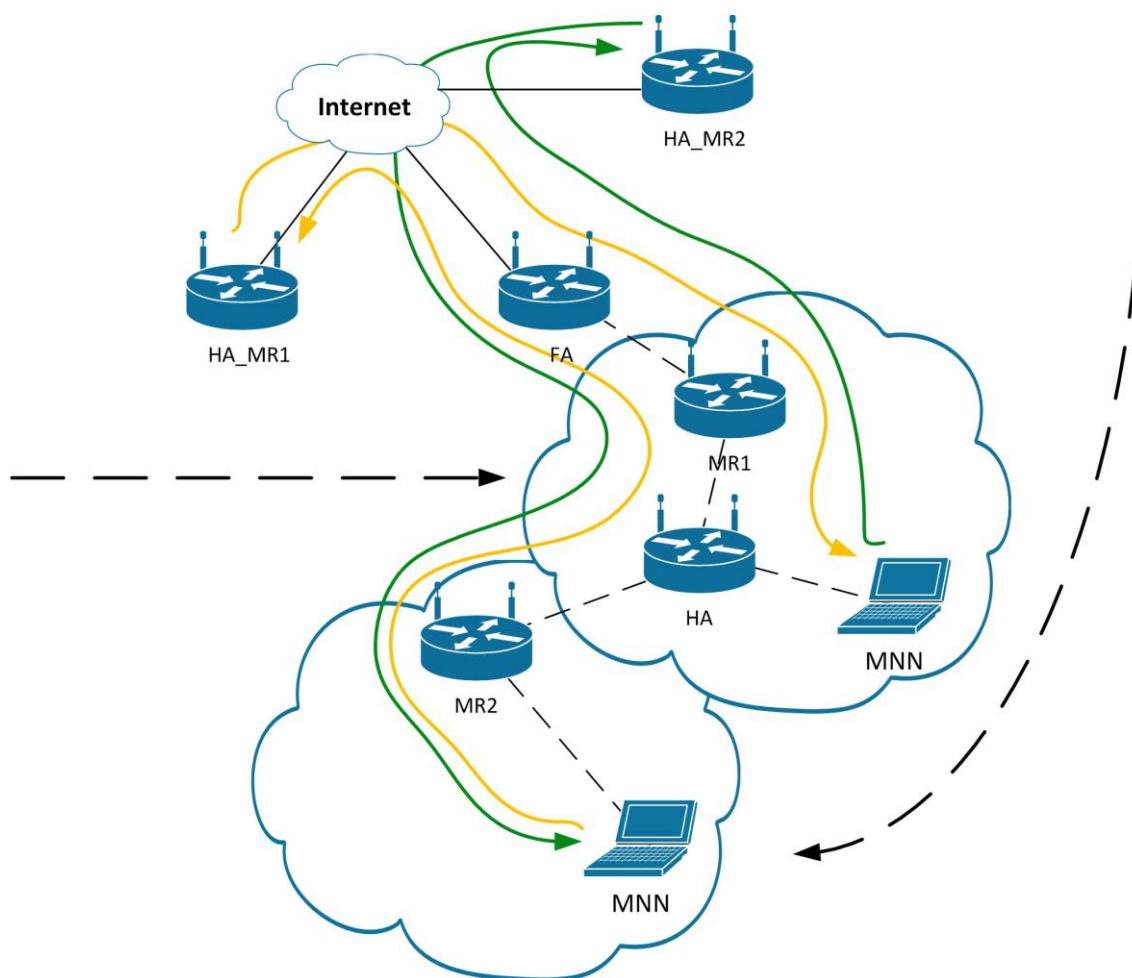
2.4.2 Model 2

Druhý model představuje komunikaci, např. hlasovou či video konferenci mezi dvěma mobilními uzly. Takový scénář se dnes stává zcela standardní situací. Model počítá s již existující sítí z minulého modelu a k ní přidává další mobilní síť, v ní však mobilní uzel nepředstavuje vnořenou mobilní síť se svým HA, ale má společného HA s mobilním routerem. Výchozí stav komunikace představuje následující obrázek.



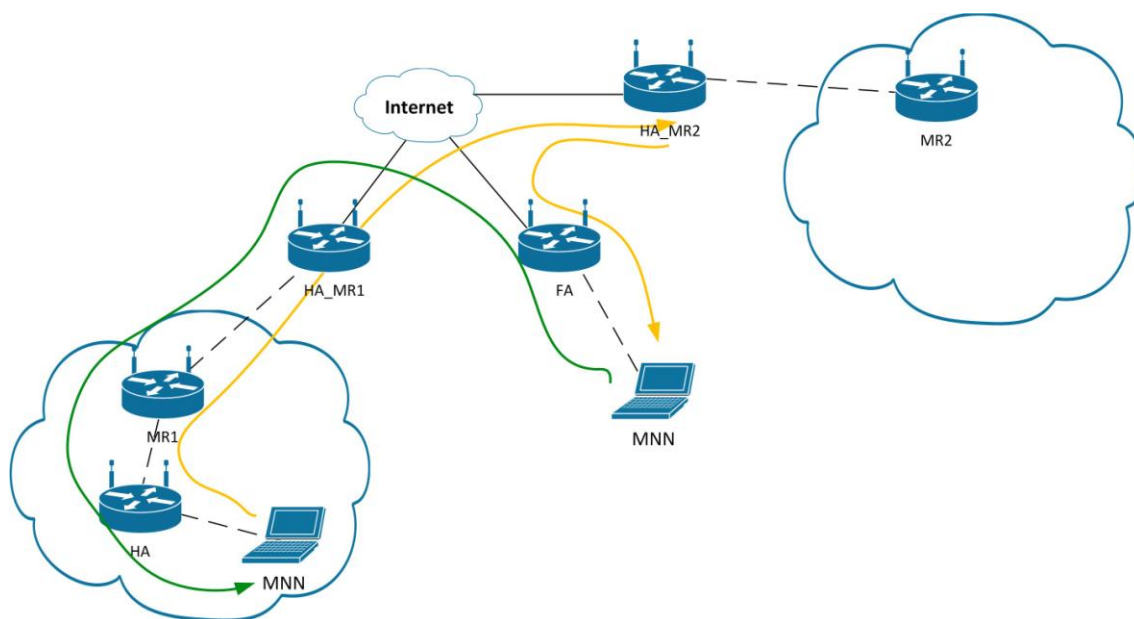
Obrázek 11 Model 2: Výchozí stav

Scénář pokračuje migrací obou sítí na jedno umístění. Můžeme si takovou situaci představit např. tak, že se autobusy, ve kterých jsou MR umístěny, setkají pokud projíždějí kolem sebe, nebo lépe zastaví na stejné cílové zastávce. Sít' druhého mobilního routeru se „vnoří“ do již existující sítě, kterou spravuje MR1. Tuto sít' pak bude spravovat domácí agent HA, který má zároveň nastavenou funkci cizího agenta. Cesta packetu zde bude díky tomuto vnoření nejdelší a mělo by dojít ke znatelnému zvýšení zpoždění. MNN sice bude směřovat packet přímo do sítě MR1, HA však neví, kde se tato sít' reálně nachází, kde je její správná topologická poloha. Proto musí směřovat packety až k HA_MR1 a ten je přesměruje zase zpět do stejné sítě. Obdobná situace nastane i při zpětné komunikaci. Tato situace by nemusela nastat v případě, že by si HA mezi sebou vyměňovali záznamy o tom, kde se která sít' nachází, a tvořili si mapu, podobně jako u směrovacího protokolu OSPF.



Obrázek 12 Model 2: Migrace sítí

Scénář pokračuje tak, že mobilní sítě se dostanou zpět na místo, odkud původně vyrazily. Pouze jediný uzel zůstane připojen k FA – tedy cestující, který vystoupil z autobusu zůstane na stanici, kde oba autobusy měly cílovou stanici. Protože mobilní uzel užívá pevného domácího agenta, který se nepohybuje s žádnou mobilní sítí, dojde zde opět ke klasickému trojúhelníkovému směrování, jak je vidět na obrázku 13.



Obrázek 13 Model 2: Migrace sítě do původního umístění

2.4.3 Model 3

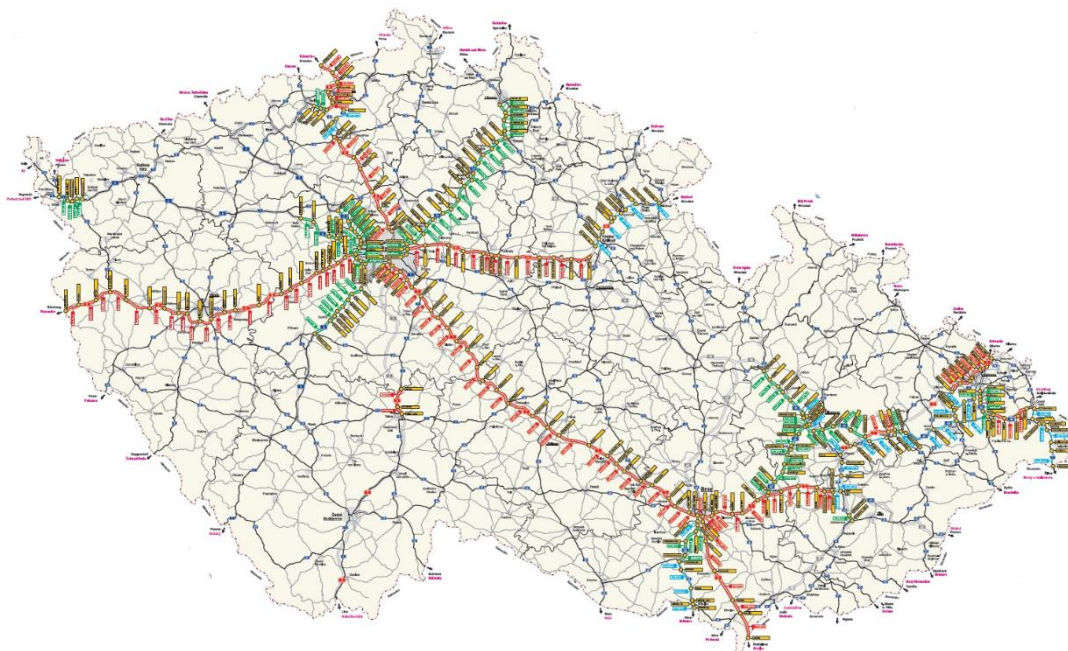
Model 3 je oproti předchozím dvěma modelům pojatý jinak – ryze prakticky. Jeho smyslem je vytvořit podmínky simulace tak, aby se co nejlépe blížili použití technologie v praxi. Masivního rozvoje technologie MIP/NEMO už se za pomoci technologie IPv4 nejspíše nedočkáme, proto má tato technologie budoucnost pouze ve specializovaných užití či po příchodu protokolu IPv6. Jedno z možných speciálních užití je popsáno dále.

Budeme simulovat dostupnost uzlů na nejfrekventovanější české dopravní tepně – na dálnici D1 v úseku mezi Prahou a Brnem. Simulace budou provedeny pouze pro technologii wi-fi, ačkoliv jako nejvýhodnější z hlediska praxe se jeví užití technologie LTE, která pracuje právě s protokolem Mobile IP. Tuto technologii však simulovat nelze, protože by vyžadovala kompletní analýzu technologie LTE a zásadní programovou úpravu simulace a práce by se tak stala velmi obsáhlejší a obtížnější. Pojetí s užití technologie wi-fi počítá s nasazením směrových antén na stávajících instalovaných konstrukcích a to ve dvou scénářích: Přístupových bodů umístěných na instalovaných mytných branách sloužící pro výběr elektronického mýta a přístupových bodů umístěných na stávajících BTS umístěných kolem dálnice.

Údaje o poloze mytných bran jsou dostupné na portálu ŘSD ČR¹. Mapa BTS bohužel

¹ <http://portal.dopravniinfo.cz/elektronicke-myto>

z oficiálních zdrojů není k dispozici, proto je nutno užít zdroje neoficiální, amatérské. Pro tento účel nám vhodně poslouží komunita tzv. „lovců“ BTS, kteří speciálně upravenými programy pro své mobilní telefony zjišťují polohy jednotlivých BTS a ukládají do mapy pomocí aplikace Google Maps².



Obrázek 14 Mapa mýtných bran ČR

Už předem je jasné, že pro funkčnost dostupnosti spojení je potřeba vyšších výkonů než obsahují běžná přenosná zařízení (PDA, notebooky), a to i za použití směrových antén, a proto pro funkčnost je potřeba užít externích zařízení v podobě AP. Volné licenční pásmo mezi frekvencemi 5,35Ghz a 5,75Ghz umožňuje vysílací výkon až 1W, což by měl být výkon dostatečný k pokrytí oblasti, avšak reálné provedení by ukázala až simulace.

Možná simulace obsahuje 4 mobilní uzly (které si představíme jako automobily) a 2 mobilní sítě (které budou představovat autobus a jeho cestující) s několika mobilními uzly a jedním LFN. V téměř každém uzlu pak budeme provozovat klasický http přenos, ve vybraných pak přenos hlasu, videa, FTP přenos, video přenos a náhodný přenos. HA

² <http://www.gsmweb.cz/mapa/>

pro obě mobilní sítě budou společní, pro mobilní uzly rozdílné. Při určování hodnot v tomto i předcházejících modelech už si nevystačíme s přednastavenými hodnotami OPNET Modeleru, ale pro dobré porovnání výsledků už je nutno tyto hodnoty nastavit manuálně pro kvalitní srovnání výsledků simulace.

Tento model je užit jako volná úvaha na rozšíření předchozích dvou modelů do praxe a simulace reálného chování sítě. Protože se nezabývá přímým sestavením spojení, analýzou zpráv a cestou datových packetů, jeho simulace nebyla provedena z důvodu přílišné komplikovanosti simulace v OPNET Modeleru na základě doporučení vedoucího práce.

2.5 Simulace mobilních sítí v OPNET Modeler

Aplikace OPNET Modeler, vyvinutá firmou OPNET Technologies, je propracované simulační prostředí pro návrh a simulaci různých síťových infrastruktur. Jeho velkou výhodou je grafické prostředí, díky němuž se stává návrh a simulace uživatelsky příjemnější a OPNET se tak stává velmi oblíbeným nástrojem pro simulaci sítí. Grafické rozhraní neubírá OPNETu na jeho komplexnosti a možnostech nastavení.

OPNET podporuje editaci celkem ve třech vrstvách. Tou nejnižší z nich je proces. Proces si lze představit jako stavový automat, který obsahuje jeden či více stavů a na základě příchozích či odchozích se tyto stavy mohou měnit. Každý stav je programován v jazyce C nebo C++ a tak není problém jakoukoliv část přeprogramovat dle vlastních potřeb.

Další vrstvou je uzel. Uzel obsahuje řadu modulů, které mezi sebou interagují opět na základě příchozí či odchozí zprávy. Moduly většinou představují prvky jako síťová rozhraní, aplikace, směrovací algoritmy atp. Editor uzlu si tedy můžeme abstraktně představit jako vnitřní architekturu některého prvku, např. počítače.

Poslední a nejvyšší vrstvou je projekt. Projekt obsahuje jednotlivé síťové prvky, jako např. směrovače, přepínače, pracovní stanice atp. V editoru projektu se vytváří konkrétní síťové zapojení, a pokud neexistují specifické požadavky na chování jednotlivých prvků, jedná se o editor, který se využívá nejčastěji. V editoru projektu je pak možné vytvořit i imaginární podvrstvu v podobě subnetu, která sdružuje více síťových prvků do jednoho a umožňuje tak větší přehlednost v rozsáhlých sítích.

Takových podvrstev pak můžeme teoreticky vytvořit až nekonečné množství.

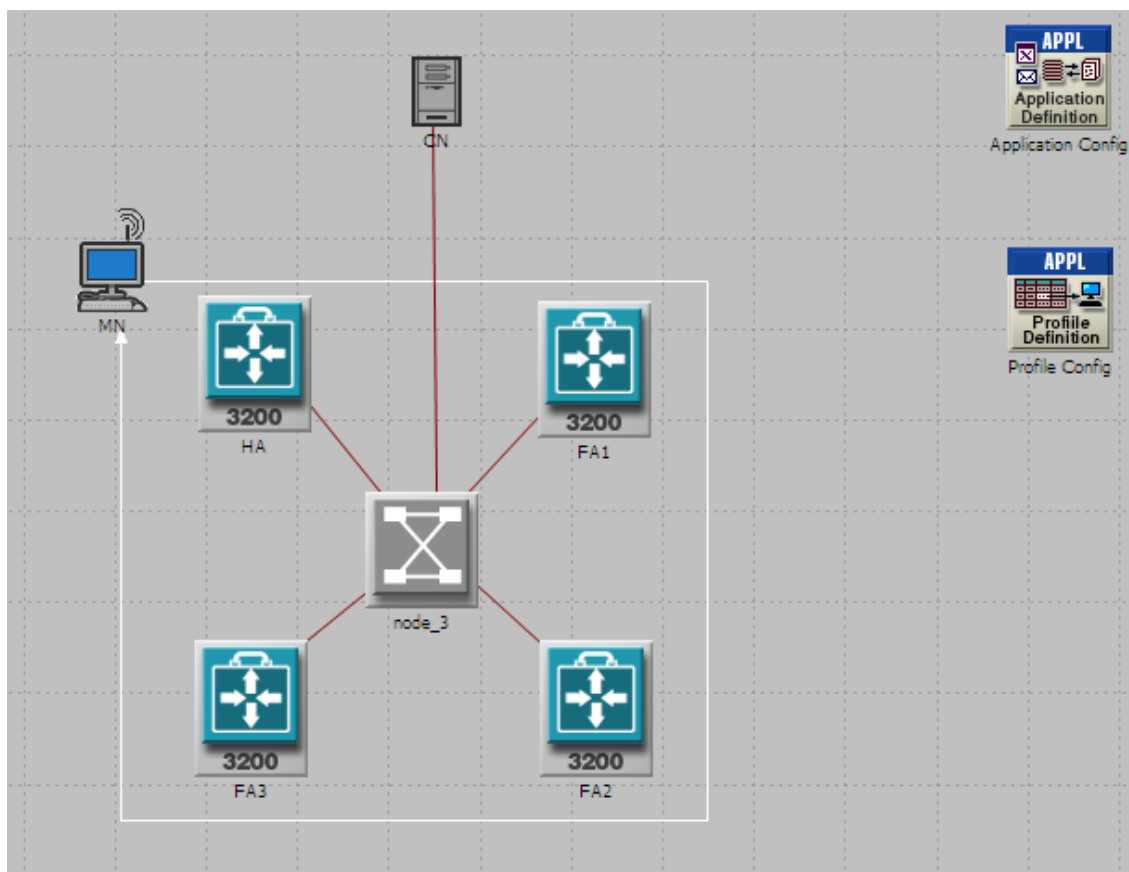
2.5.1 Model Mobile IP

Prvním simulovaným modelem je model pohybu uzlu pod protokolem Mobile IPv4. Uzel je v defaultním stavu je připojen k access-pointu HA. Po startu simulace se uzel začne pohybovat a to tak, že celou svoji dráhu (trajektorii) urazí za 20 minut. V simulaci je spuštěna vysoká zátěž videohovoru (tedy rozlišení 320x240px při 30 snímcích za sekundu). Schéma sítě a pohyb mobilního uzlu MN vidíme na obrázku 15.

Pro správnou funkčnost simulace musíme v attributech jednotlivých uzlů nastavit následující parametry:

- IP adresy bezdrátových rozhraní MN a HA musí být ve stejné síti
- IP adresy ethernetových rozhraní MN, FA a CN musí být ve stejné síti
- BSS identifikátor bezdrátové sítě musí být u HA a MN stejný, u FA musí být rozdílný
- Výkon jednotlivých antén musí být nastaven na 30mW, aby bylo pokrytí mezi uzly dostatečné a zároveň ne tak velké, aby nedošlo k migraci mezi uzly
- MN musí mít zapnutou podporu roamingu
- MN musí mít nastavenou podporu pro Mobile IPv4 a nastavenou domovskou adresu
- Uzly HA a FA musíme nastavit do funkce home a foreign agentů
- V konfiguraci aplikace musíme nastavit video přenos vysoké zátěže, v konfiguraci profilu je nastaven profil pro stejnou aplikaci
- V CN je nastavena aplikace video konference, v MN pak její profil

Protože všechna nastavení není možné zdokumentovat z důvodu přílišného počtu obrázku, je přiložen alespoň obrázek důležitých nastavení mobilního uzlu.

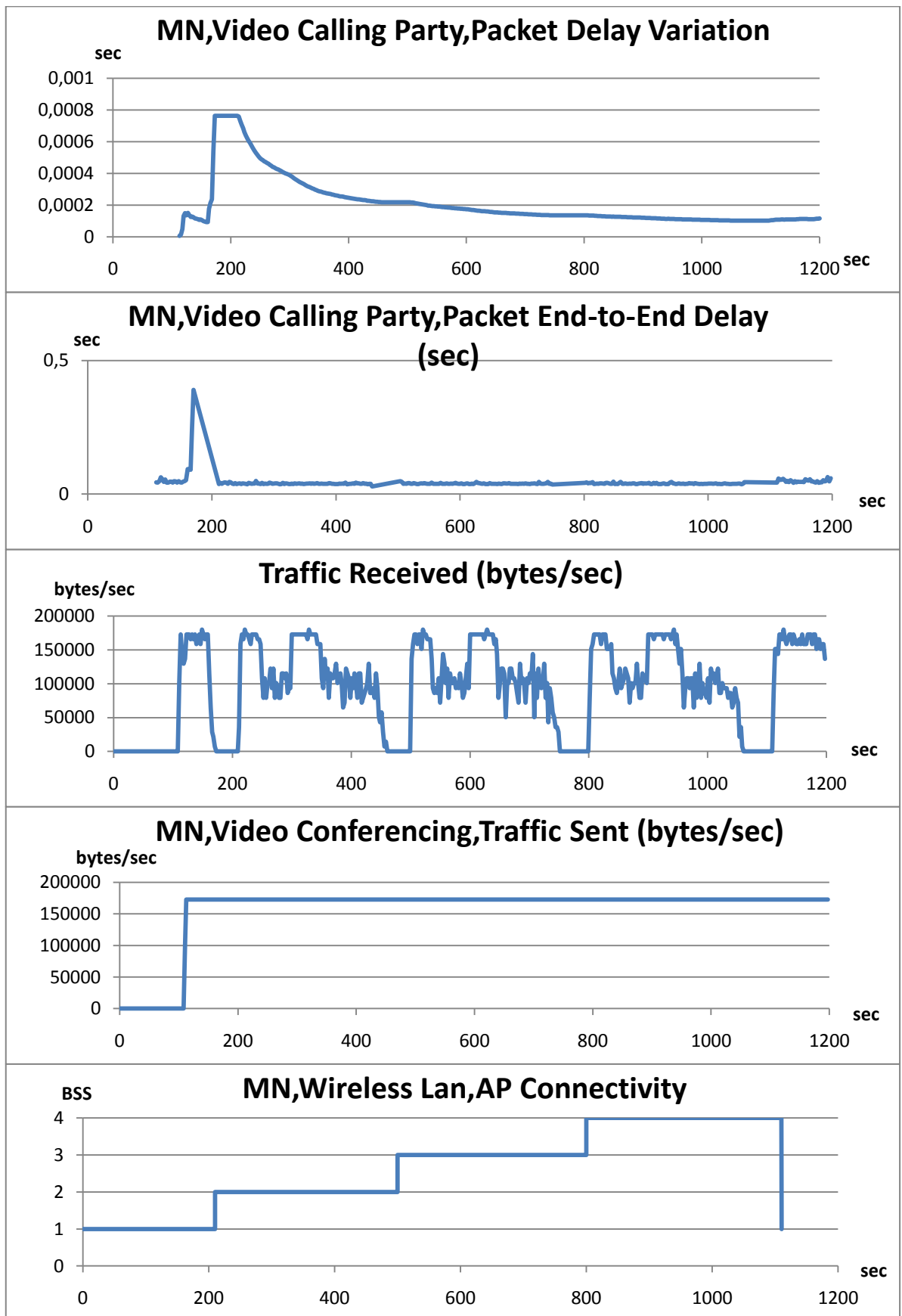


Obrázek 15 Schéma simulace MIPv4

Attribute	Value
name	MN
trajectory	MIPv4_basic
AD-HOC Routing Parameters	
Applications	
Application: ACE Tier Configuration	Unspecified
Application: Destination Preferences	None
Application: Source Preferences	None
Application: Supported Profiles	(...)
Number of Rows	1
Video_profile	
Profile Name	Video_profile
Traffic Type	All Discrete
Application Delay Tracking	Disabled
Application: Supported Services	None
IP	
IP Host Parameters	(...)
Interface Information	(...)
Name	IF0
Address	192.0.2.2
Subnet Mask	255.255.255.0
MTU (bytes)	WLAN
Compression Information	None
IPv6 Parameters	None
Description	N/A
Layer 2 Mappings	None
Passive RIP Routing	Disabled
Default Route	Auto Assigned
Static Routing Table	None
IPv6 Default Route	Auto Assigned
Multicast Mode	Disabled
V6 Static Routing Table	(...)
IP Processing Information	(...)
IP QoS Parameters	None
Mobile IP Host Parameters	
Mobile IPv4 Parameters	(...)
Home Agent IP Address	192.0.2.1
Registration Parameters	(...)
Agent Solicitation	Disabled
Simultaneous Binding Support	Disabled
Mobile IPv6 Parameters	Not Configured
Wireless LAN MAC Address	Auto Assigned
Wireless LAN Parameters	(...)
BSS Identifier	1
Access Point Functionality	Disabled
Physical Characteristics	Direct Sequence
Data Rate (bps)	11 Mbps
Channel Settings	Auto Assigned
Transmit Power (W)	0.030
Packet Reception-Power Threshold...	-95
Rts Threshold (bytes)	None
Fragmentation Threshold (bytes)	None
CTS-to-self Option	Enabled
Short Retry Limit	7
Long Retry Limit	4
AP Beacon Interval (secs)	0.02
Max Receive Lifetime (secs)	0.5
Buffer Size (bits)	256000
Roaming Capability	Enabled
Large Packet Processing	Drop
PCF Parameters	Disabled
HCF Parameters	Not Supported

Obrázek 16 Atributy mobilního uzlu

Jednotlivé výsledky pro chování uzlu MN jsou pak vidět na obrázku níže. Jako měřené charakteristiky jsou zvoleny postupně: kolísání zpoždění, zpoždění, příchozí datový provoz, odchozí datový provoz, konektivita k jednotlivým AP.



Obrázek 17 Výsledky simulace MN

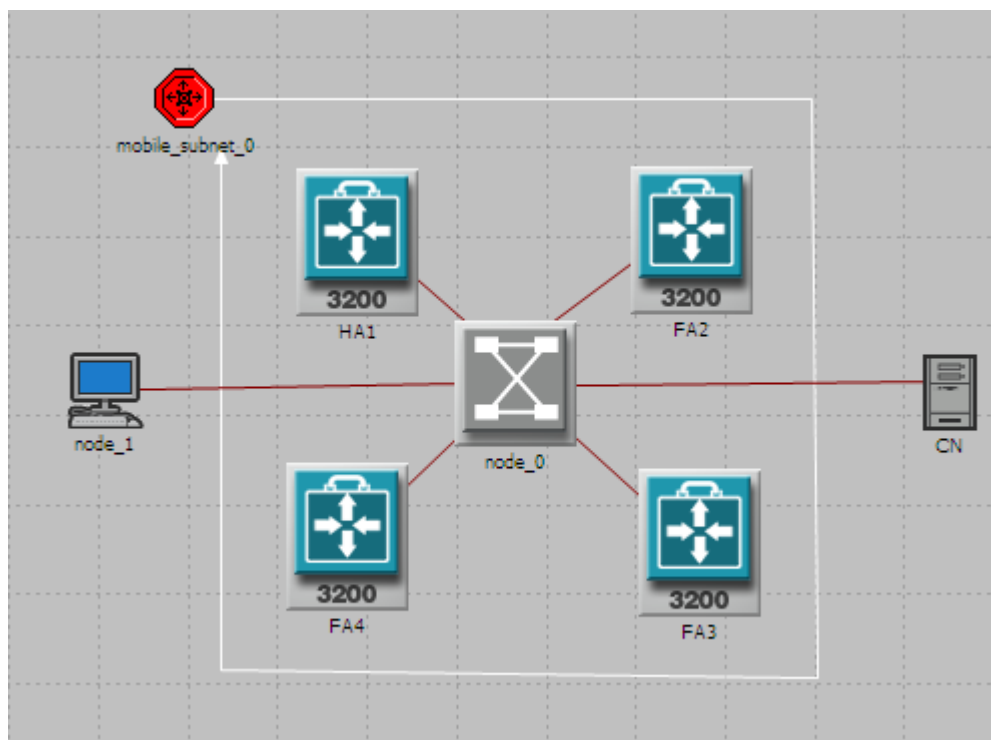
Charakteristika zpoždění ukazuje hodnoty kolem 4ms, což jsou hodnoty pro stabilní bezdrátové spojení očekávané a typické. Kolísání zpoždění je také na minimální úrovni, což v případě, že mobilní agent obsluhuje pouze jeden mobilní uzel a probíhá přenos pouze jednoho typu provozu, lze také očekávat. Charakteristika konektivity k AP zobrazuje zamýšlené přepojování mezi jednotlivými AP (agenty), vertikální osa zobrazuje čísla jednotlivých BSS, které se postupně zvyšují jak uzel postupuje po dráze trajektorie. HA má nastaveno BSS na hodnotu 1, FA1 na 2, atd. Tedy migrace funguje správně.

V příchozí komunikaci můžeme pozorovat výpadky, které jsou způsobeny režii potřebnou pro ustanovení tunelování paketů mezi FA a HA. Tyto výpadky jsou v simulaci delší nežli v reálné praxi.

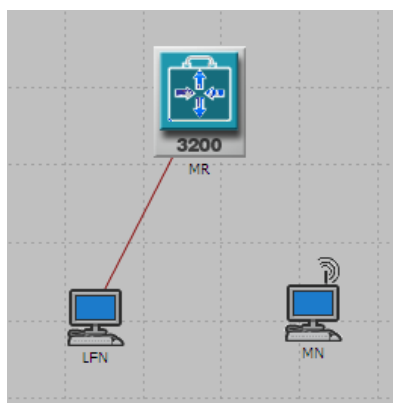
Odchozí komunikace funguje na grafu zcela správně, nedochází k žádnému kolísání ani výpadkům. Tento graf je však pro měření zmatečný, poněvadž podíváme-li se na graf příchozích dat na uzlu CN (graf není k dispozici), uvidíme podobný graf jako v případě přijatých dat MN. Odchozí komunikace tedy v reálném prostředí kopíruje stabilitu spojení, která se odráží v příchozí komunikaci.

2.5.2 Model NEMO

Model NEMO rozšiřuje předchozí model o pohybující se mobilní subnet. V subnetu jsou umístěny uzly MNN (Mobile Network Node), MR (Mobile Router) a LFN (Local Fixed Node). MNN je nezávislý mobilní uzel, který se v této simulaci pohybuje souběžně s MR a postupně se připojuje nezávisle na MR k HA a FA. MR je mobilní router, který zprostředkuje datový tok k LFN, který je s tímto uzlem pevně svázán a pohybuje se tak zároveň s ním. Jako datový tok byl zvolen FTP přenos a video konference ke korespondenčnímu uzlu CN. Výchozí zapojení můžeme vidět na obrázcích níže.



Obrázek 18 Schéma simulace mobilní sítě



Obrázek 19 Schéma mobilního subnetu

Samotné nastavení OPNETu vychází z předchozí simulace, je potřeba provést pouze drobnou úpravu, a to nastavit uzel MR do pozice agenta tak, aby se choval jako mobilní router.

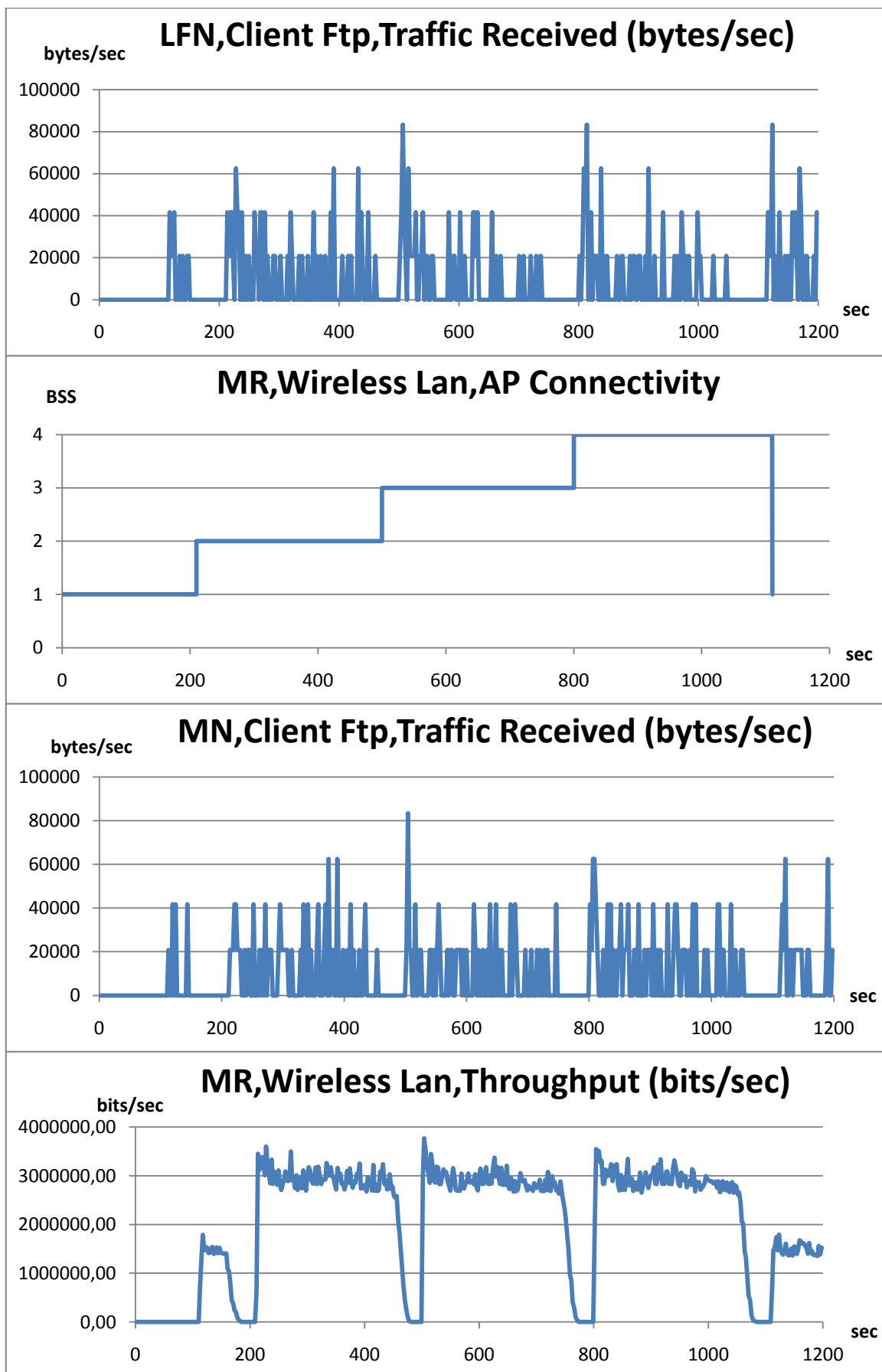
	Mobile IPv4 Parameters	(...)
?	Interface Information	(...)
	... Number of Rows	1
	IF1	
?	... Interface Name	IF1
?	... Agent Type	Mobile Router
?	Agent Configuration	(...)
?	IRDP Parameters	(...)
?	... Max Interval (seconds)	4
?	... Min Interval (seconds)	3
?	... Holdtime (seconds)	3*Max Interval
?	... Lifetime Grant	1800
?	... Maximum Number of Ho...	40
?	... Preference Level	0
?	Mobile Router Configuration	(...)
?	... Home Agent IP Address	192.0.2.1
?	Registration Parameters	(...)
?	... Agent Solicitation	Disabled
?	... Simultaneous Binding Su...	Disabled
?	... Registration Processing Delay (s...	0.0

Obrázek 20 Nastavení mobilního routeru

Pro lepší analýz chyb v simulaci je do schématu přidán ještě referenční uzel (node_1), kterému je zprostředkován datový tok z CN také. Správného chování simulace se po prvotní chybě podařilo dosáhnout. Ačkoliv se uzel MNN (ve schématu pojmenovaný jako MN) choval správně, stejně jako v předchozí simulaci uzel MN, k uzlu LFN už žádná data netekla a to i v případě, že bezdrátové rozhraní mobilního routeru přijímalo v pořádku správné množství dat. Chybu se nakonec podařilo odstranit nastavením správného statického směrování na všech prvcích sítě. Díky nedostatku analytických nástrojů se nepodařilo zjistit, proč dynamické směrování RIP nebylo funkční. Počáteční zpoždění, které lze pozorovat na v první minutě simulace je dáno nastavením simulace o zahájení přenosu.

Výsledky simulace pak lze vidět na obrázku níže, postupně se jedná o:

- Příjem dat protokolu FTP na uzlu LFN
- Příjem dat protokolu FTP na uzlu MNN
- Konektivita uzlu MR k jednotlivých AP – agentům.
- Propustnost bezdrátového rozhraní na uzlu MR



Obrázek 21 Výsledky simulace mobilní sítě

2.5.3 Model 1

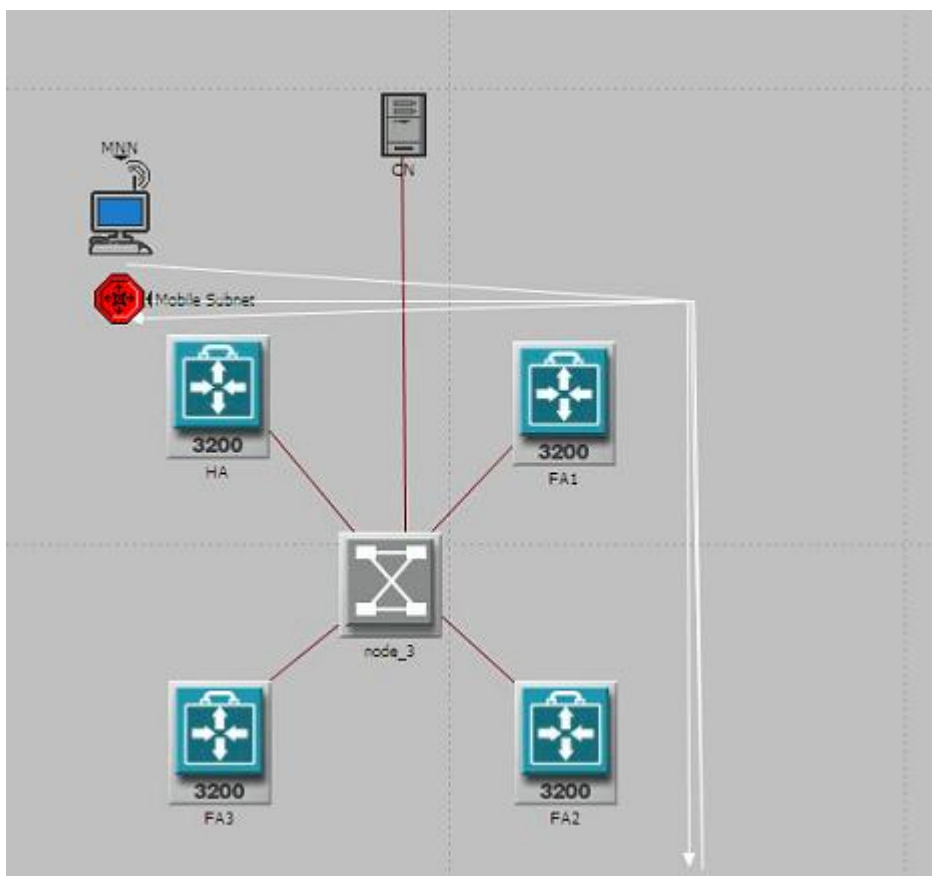
Model 1 opět rozšiřuje předchozí model NEMO. Simulační prostředí oproti reálnému však obsahuje jistá omezení, proto je třeba volit postupy, které se reálnému prostředí přiblíží. Jedním z těchto omezení je nemožnost nastavit MNN, kdy má migrovat do které sítě. V tomto případě toto omezení nemá negativní vliv na průběh simulace – MNN má nastaveno jako výchozí BSS (Basic Service Set, „Wi-fi buňka“) právě BSS svého domovského agenta (BSS č.6), který tvoří zároveň přístupový bod. Handovery v simulaci se pohybují přibližně od 30 do 60 sekund, což neodpovídá reálnému chování, kde se pohybují v řádu desítek milisekund[11]. To může být ovlivněno řadou faktorů, např. problémy s překrýváním frekvenčních pásem, nedokonalou implementaci algoritmu handoveru do simulátoru či jinými nahodilými faktory. Zpoždění není ovlivněno počtem zpráv nutných pro registraci mobilního uzlu do sítě, které je v případě první registrace 34 packetů, v případě již existujícího záznamu pak 1 packet.

Topologické zapojení a pohyby jednotlivých uzlů, je možné vidět na obrázcích níže. Pohyb mobilního subnetu je zvolen souběžně s pohybem MNN. MNN se pak vrací po stejné dráze na své původní místo. Obrázek 24 zobrazuje výsledky simulace, kde jsou graficky znázorněny následující průběhy:

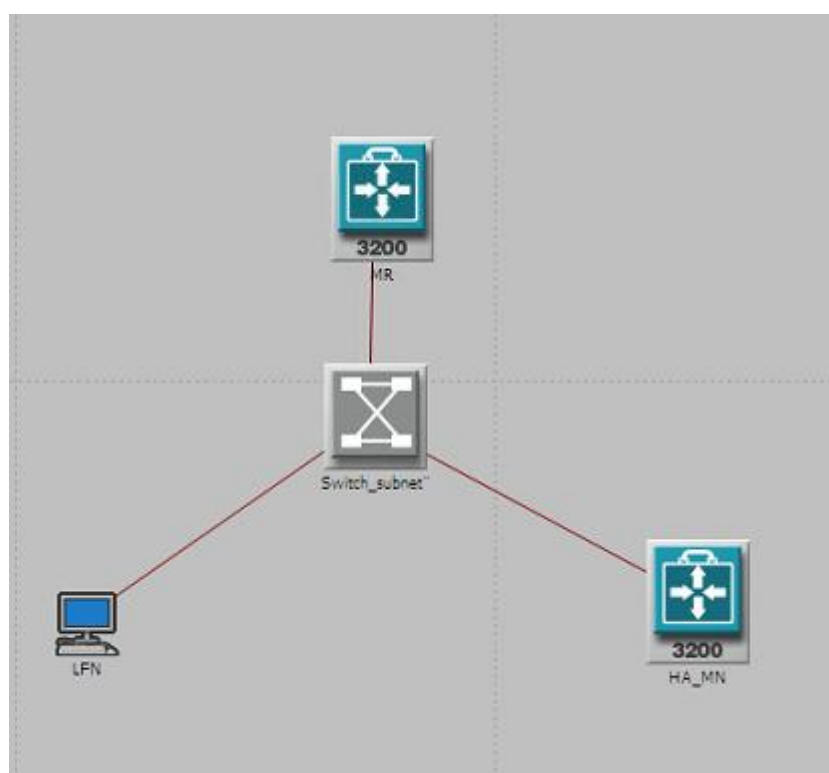
- Příjem dat protokolu FTP na uzlu MNN
- Počet packetů odpovídajících protokolu Mobile IP
- Konektivita uzlu MNN k jednotlivých AP – agentům
- Konektivita uzlu MR k jednotlivých AP – agentům

V tomto modelu se nepodařilo postihnout případ posledního scénáře (obrázek 10). Pro správnou funkčnost by uzel HA_MR musel podporovat funkce jak Home Agent, tak Foreign Agent. Opnet tyto funkce sice podporuje, avšak přenosy se začnou chovat nelogicky, okamžitě přeteče buffer, naroste zpoždění a simulace se stane nefunkční. Z výsledků je možnost pozorovat zpoždění přenosu na bezdrátovém rozhraní, které je zcela zanedbatelné, v řádu milisekund. I tyto výsledky jsou přiloženy na obrázku 25 s následujícími průběhy:

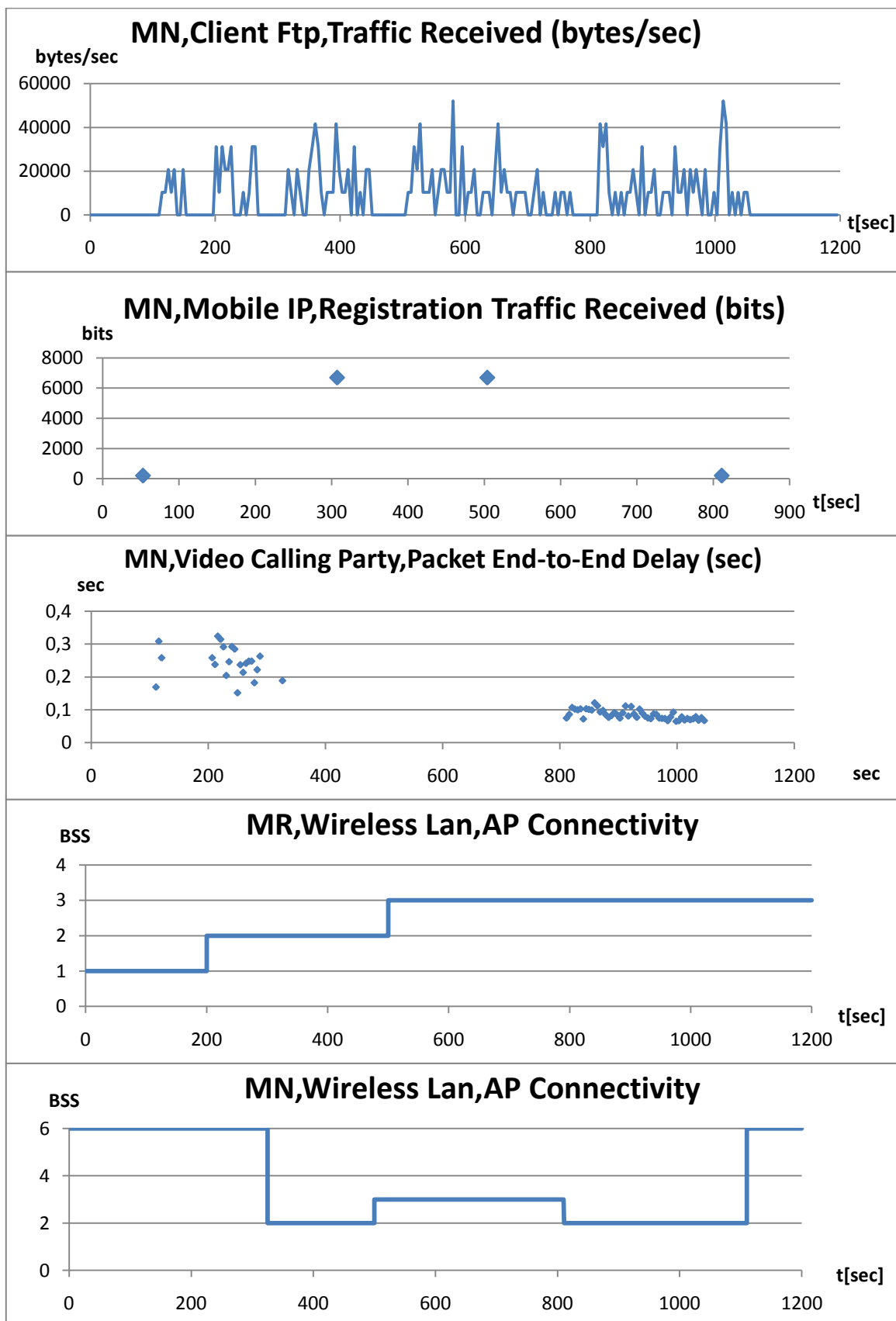
- Přetečení bufferu HA/FA (ve schématu označen jako HA)
- Zpoždění přístupu k bezdrátovému rozhraní HA/FA
- Zpoždění koncového zpoždění video konference
- Propustnost bezdrátového rozhraní HA/FA
- Příjem dat protokolu FTP na uzlu MNN



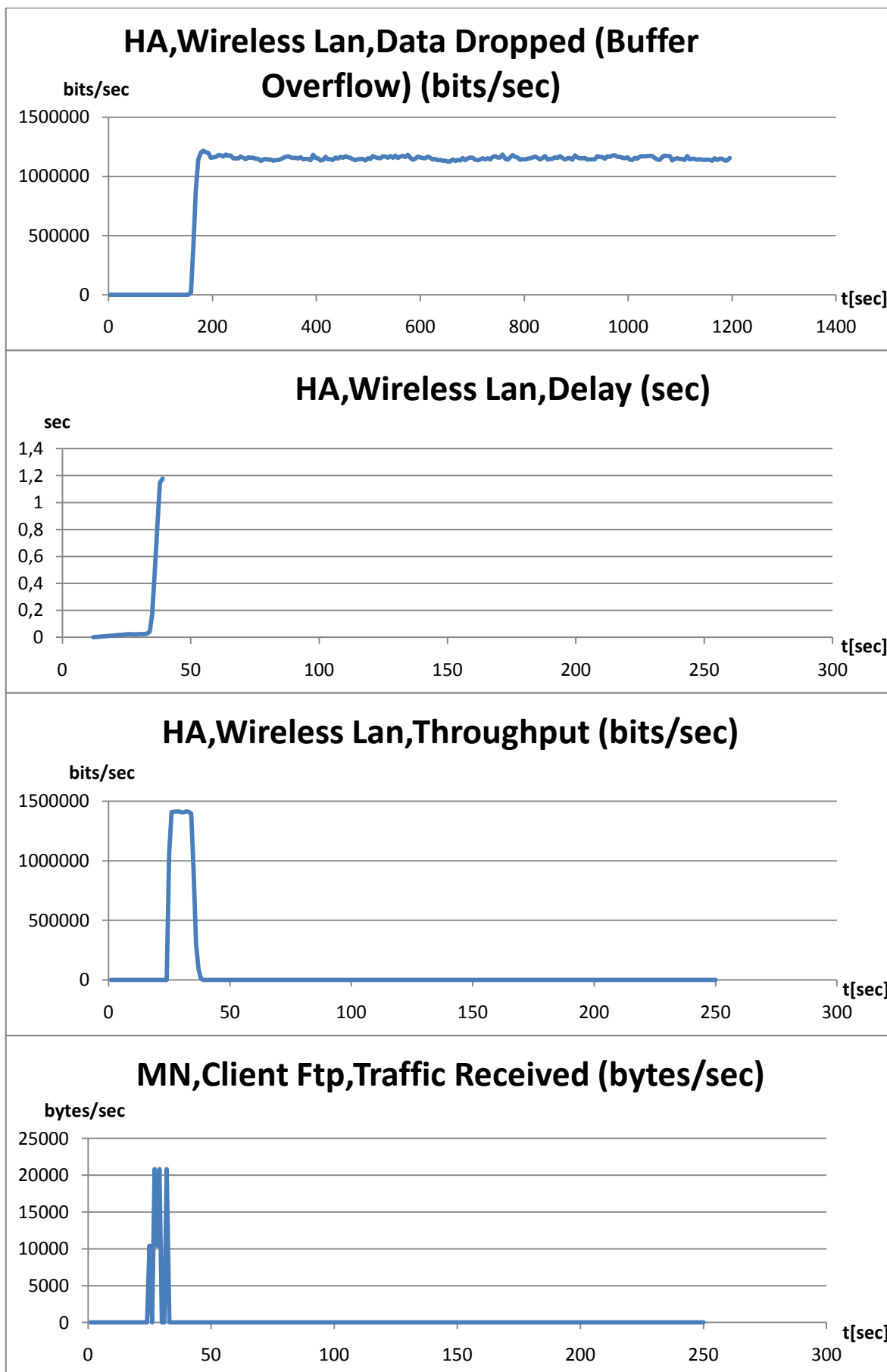
Obrázek 22 Schéma simulace modelu 1



Obrázek 23 Schéma mobilního subnetu modelu 1



Obrázek 24 Výsledky simulace modelu 1



Obrázek 25 Výsledky simulace modelu 1 při nastavení HA/FA

2.5.4 Model 2

Druhý model rozšiřuje předchozí o další prvky – konkrétně o další mobilní subnet. Bohužel zde již narazíme na omezení řízení mobilní stanice při migrování do jednotlivých sítí. MNN se ještě před svým prvním scénářem musí zaregistrovat u svého domovského agenta, který musí být ve stejné síti, jako MNN. Tento stav není problém zajistit, migraci do další (cizí) sítě však již ano. Proto je třeba k hlavnímu switchi připojit bridge s ethernetovým i bezdrátovým rozhraním, který následně odstraníme pomocí konfigurace selhání uzlů.

Bohužel tuto konfiguraci se nepodařilo uvést do funkčního stavu, protože skrz bridge netečou žádná data. Tento dlouhodobý problém se nepodařilo odstranit. Jako alternativní prvek k bridge lze zvolit router. Po nastavení dvou rozhraní do stejné sítě však dojde k překrytí sítí (IP overlap), díky čemuž router přestane správně vykonávat své směrovací funkce a spojení tak opět není funkční.

3 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce popisuje principy fungování protokolu MobileIP a jeho konkrétní implementaci do IP packetů. Podobně definuje i rozšíření tohoto protokolu pro mobilitu sítí, srovnává výhody těchto protokolů pro IPv4 a IPv6. Navrhuje několik mobilních scénářů pro simulační prostředí OPNET Modeler. Práce obsahuje provedené základní simulace MIP a NEMO pro IPv4, stejně tak simuluje navržené modely mobilních sítí s různými scénáři pohybu. Srovnává jejich výsledky a problémy, které při simulacích nastaly.

I přes to, že se nepodařilo odsimulovat všechny navržené scénáře i modely, zdařilo se dosáhnout porovnatelných výsledků. Z nich lze říci, že protokol MobileIP je protokol rychlý a nenáročný na přenos režijních dat. Zpoždění packetů i při nejnáročnějším několikacestném přesměrování a dvojitým zapouzdření se prodloužilo z 5 na cca 20-30ms, což je stále přijatelná hranice pro přenos dat v reálném čase. Protokol tak lze doporučit pro nasazení technologie v praxi.

Při zpracování práce se objevilo několik problému a chyb. Některé se podařilo vyřešit, jiné nikoliv. Nefunkční směrování vyřešilo nastavení statického směrování místo dynamického, stejně jako nastavení dopočítání masky – při vyplnění správné masce směrování není funkční. Výkony bezdrátových rozhraní je třeba volit pečlivě tak, aby spojení bylo funkční, ale zároveň interferenční rušení nebylo příliš velké.

Mezi nevyřešené chyby pak lze zařadit nefunkční přepínání na bezdrátovém bridge a chybné volání paměti při konfiguraci selhání uzlů.

V případě, že práce bude doporučena k pokračování v diplomové práci, bude se zabývat praktickou implementací do fyzických zařízení a pokusí se simulované modely a scénáře analyzovat v reálných podmínkách, které vyloučí chyby algoritmizace simulačního prostředí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PRASAD R. A., PRASAD R. N., *802.11 WLANs and IP Networking: : security, QoS, and mobility*, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 2005, 315s., ISBN 1-58053-789-8.
- [2] PRAGYA L., *Network Mobility*, Research seminar on hot topics in internet protocols, University of Helsinki, Department of Computer Science, 6s.
- [3] PERKINS, C., *IP Mobility Support for IPv4*, The Internet Engineering Task Force RFC 3344, 2002.
- [4] LEUNG, K., DOMMETY, G., NARAYANAN, V., PETRESCU A., *Network Mobility (NEMO) Extensions for Mobile IPv4*, The Internet Engineering Task Force RFC 5177, 2008.
- [5] JOHNSON, D., PERKINS, C., ARKKO, J., *Mobility Support in IPv6*, The Internet Engineering Task Force RFC 3775, 2004.
- [6] DEVARAPALLI, V., WAKIKAWA, R., PETRESCU, A., THUBERT, P., *Network Mobility (NEMO) Basic Support Procol*, The Internet Engineering Task Force RFC 3963, 2005.
- [7] CONTA, A., DEERING, S., *Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification*, The Internet Engineering Task Force RFC 2473, 1998.
- [8] *IPv6 (IPng) vs. IPv4 | Network Dictionary* [online]. [cit. 14.12.2010].
< <http://www.networkdictionary.com/networking/IPv6vsIPv4.php>>.
- [9] MOCER, P., *Enabling Network Mobility: A Survey of NEMO*, [online]. Aktualizováno květen, 2006 [cit 14.12.2010].
< http://www1.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/network_mobility/>.
- [10] DEERING, S., *ICMP Router Discovery Messages*, The Internet Engineering Task Force RFC 1256, 1991.
- [11] SHARMA, S., *Low-Latency Mobile IP Handoff for Infrastructure-Mode Wireless LANs*, [online]. Vystaveno 2004 [cit. 30.5.2011].
< <http://www.ecsl.cs.sunysb.edu/tr/latency.pdf>>.