



Anderson Oliveira da Silva

Global Mobility Architecture

TESE DE DOUTORADO

Thesis presented to the Postgraduate Program in Computer Science of the Departamento de Informática, PUC-Rio as partial fulfillment of the requirements for the degree of Doutor em Ciências em Informática.

Adviser: Prof. Luiz Fernando Gomes Soares
Co-Adviser: Prof. Sérgio Colcher

Rio de Janeiro
July 2009



Anderson Oliveira da Silva

Global Mobility Architecture

Thesis presented to the Postgraduate Program in Computer Science, of the Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio, as partial fulfillment of the requirements for the degree of Doutor.

Prof. Luiz Fernando Gomes Soares

Adviser

Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof. Sérgio Colcher

Co-Adviser

Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof. Markus Endler

Departamento de Informática – PUC-Rio

Profa. Noemi de La Rocque Rodriguez

Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof. Antônio Tadeu Azevedo Gomes

LNCC

Profa. Luci Pirmez

UFRJ

Prof. José Eugenio Leal

Coordinator of the Centro Técnico Científico da PUC-Rio

Rio de Janeiro, ____/____/____

All rights reserved

Anderson Oliveira da Silva

Graduated in Computer Engineering from Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio in 1995, and obtained the degree of Mestre at PUC-Rio in Computer Science in 1999. He is professor and senior support analyst of the Departamento de Informática da PUC-Rio.

Bibliographic data

da Silva, Anderson Oliveira

Global Mobility Architecture / Anderson Oliveira da Silva; adviser: Luiz Fernando Gomes Soares; co-adviser: Sérgio Colcher. – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Informática, 2009.

v., 128 f.: il. ; 29,7 cm

Tese (Doutorado em Ciências em Informática) – Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia.

1. Informática – Teses. 2. Mobilidade IP. 3. GMA. 4. GMP. 5. MIP. 6. HMIP. 7. FMIP. I. Soares, Luiz Fernando Gomes. II. Colcher, Sérgio. III. Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

CDD:004

Para minha esposa, Ana Lucia, que com especial amor e carinho
mais uma vez me apoiou e incentivou.

Para meus pais, Francisco e Sandra, que não mediram esforços
para me proporcionar a melhor formação moral e acadêmica.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Sérgio Colcher, mais que um orientador, um amigo. Obrigado pelo seu total apoio e confiança na realização deste trabalho. Que venham os projetos!

À Equipe de Suporte do DI que sempre me apoiou nos momentos em que estive ausente para me dedicar à concretização deste trabalho.

À todos os professores do DI PUC-Rio, em especial aos Professores Doutores Daniel Schwabe, Arndt Von Staa e Marco Antônio Casanova que em suas gestões na diretoria do DI me proporcionaram a oportunidade e os meios necessários para a conclusão do doutorado.

Aos gestores das bolsas de isenção de taxas para funcionários da PUC-Rio que me proporcionaram cursar o programa de pós-graduação do DI.

À todos os amigos e familiares que direta ou indiretamente se fizeram presentes e sempre torceram pelo meu sucesso.

Resumo

da Silva, Anderson Oliveira; Soares, Luiz Fernando Gomes; Colcher, Sérgio. *Global Mobility Architecture*. Rio de Janeiro, 2009. 128p. Tese de Doutorado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A otimização do handover é uma das áreas de interesse científico crescente com respeito à mobilidade em redes de comunicação. A duração da interrupção do serviço e a quantidade de pacotes perdidos durante períodos de handover impactam diretamente no desempenho da comunicação e são críticos para aplicações onde o QoS é um fator essencial. O protocolo de mobilidade IP tradicional (MIPv6) torna a mobilidade IP possível mas não atende os requisitos de aplicações de tempo real, interativas ou sensíveis ao atraso. Para otimizar o processo de handover L3, alguns aprimoramentos foram padronizados, como o HMIP e o FMIP. Esses protocolos contribuem para melhorar o handover L3 mas suas estratégias são focadas no fluxo de descida (downstream). Para tratar do problema da latência da recuperação do fluxo de subida (upstream), duas estratégias podem ser seguidas: (i) propor mudanças ou adaptações para esses protocolos; ou (ii) propor uma nova arquitetura de mobilidade com um novo protocolo de controle de mobilidade. Neste trabalho, propomos a *Global Mobility Architecture (GMA)*, apresentando suas entidades funcionais e operações para suporte à mobilidade com o uso do *GMA Mobility Protocol (GMP)*. Quando a GMA é comparada às arquiteturas de mobilidade IP tradicionais e aprimoradas, várias vantagens podem ser observadas, como: (i) simplificação do protocolo de sinalização no terminal móvel; (ii) otimização do procedimento de atualização dos bindings; (iii) otimização do procedimento de registro; e (iv) otimização do handover L3. Em seguida, o trabalho apresenta uma avaliação do desempenho das arquiteturas de mobilidade citadas e da GMA com base nos seguintes fatores: (i) perda de pacotes durante uma sessão; (ii) latência do handover para restaurar o fluxo de downstream durante uma sessão; (iii) latência do handover para restaurar o fluxo de upstream durante uma sessão.

são; e (iv) requisito de tamanho de buffer para suporte aos mecanismos de armazenamento e encaminhamento. Por fim, o trabalho apresenta uma análise dos resultados obtidos na avaliação de desempenho e documenta, em seus apêndices, os handlers da entidade de gerenciamento de mobilidade, o formato da mensagem GMP e os tipos de PDUs.

Palavras-chave

Mobilidade IP; GMA, GMP, MIP, HMIP, FMIP.

Abstract

da Silva, Anderson Oliveira; Soares, Luiz Fernando Gomes; Colcher, Sérgio. Global Mobility Architecture. Rio de Janeiro, 2009. 128p. DsC. Thesis - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Handover optimization is one of the areas of growing scientific interest concerning mobility in communication networks. The duration of service disruption and the amount of packet loss during handover periods directly impact on communication performance and are critical to applications in which QoS is an essential factor. The traditional mobile IP protocol (MIPv6) makes IP mobility possible but does not accomplish the requisites for real-time, interactive or delay sensitive applications. To optimize the L3 handover process, some enhancements were standardized, like HMIP and FMIP. These protocols contribute to improve the L3 handover but their strategies are focused on the downstream flow. To address the problem of the latency to restore the upstream flow, two strategies can be followed: (i) to propose changes or adaptations to these protocols; or (ii) to propose new mobility architecture with new mobility control protocol. In this work, we propose the *Global Mobility Architecture (GMA)*, introducing its functional entities and mobility support operations by means of the *GMA Mobility Protocol (GMP)*. When the GMA is compared to traditional and enhanced IP mobility architectures, many advantages can be observed, such as: (i) simplification of the signaling protocol on the mobile node; (ii) optimization of the binding update procedure; (iii) optimization of the registering procedure; and (iv) optimization of the L3 handover. Then, this work presents a performance evaluation of the mobility architectures above-mentioned and the GMA based on the following factors: (i) packet loss during a session; (ii) average handover latency to restore the downstream flow during a session; (iii) average handover latency to restore the upstream flow during a session; and (iv) buffer size requirement for buffering and forwarding mechanisms. Finally, this work presents the result analysis of the per-

formance evaluation and documents, in its appendixes, the handlers of the mobility manager entity, the GMP message format and the types of PDUs.

Keywords

IP Mobility; GMA, GMP, MIP, HMIP, FMIP.

Contents

1	Introduction	16
1.1	Motivation	17
1.2	Organization	18
2	Related Work	20
2.1	Application Layer Handover	20
2.2	Transport Layer Handover	21
2.3	Network Layer Handover	21
2.4	Remarks	22
3	Background	24
3.1	MIPv6 Functionality	24
3.1.1	Bidirectional Tunneling	25
3.1.2	Route Optimization	26
3.1.3	Optimization Proposals to Reduce Handover Latency	27
3.1.3.1	Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)	27
3.1.3.2	Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6)	29
3.2	Media Independent Handover (MIH)	32
4	Global Mobility Architecture	36
4.1	GMA Features	36
4.2	GMA Functional Entities	36
4.3	GMP Operation	39
4.3.1	Registering the MN at the GAN	39

4.3.2 Discovering the IP address of the CN	41
4.3.3 Discovering the IP address of the MN	43
4.3.4 Refreshing the record of the MN	45
4.3.5 Communication from the MN to the CN	46
4.3.6 Communication from the CN to the MN	48
4.3.7 Communication between MNs	49
4.3.8 Handover handling in the GMA	50
4.3.8.1 Anticipated Mode of Operation	51
4.3.8.2 Reactive Mode of Operation	54
4.4 GMA Advantages	56
4.4.1 Simplification of the signaling protocol on the MN	56
4.4.2 Optimization of the binding update procedure	57
4.4.3 Optimization of the registering procedure	57
4.4.4 Optimization of the L3 handover	58
5 Performance Evaluation	59
5.1 Packet loss during a session	61
5.2 Average handover latency to restore the downstream flow during a session	63
5.3 Average handover latency to restore the upstream flow during a session	65
5.4 Buffer size requirement for buffering and forwarding mechanisms	68
5.5 Result Analysis	69
6 Conclusion	78
7 References	80
Appendix A Mobility manager handlers	83
A1 – MN_L2-Trigger_Handler(Trigger)	93
A2 – MN_Message_Handler(Message)	94
A3 – MN_Timer_Handler(Time)	95
A4 – AR_Message_Handler(Message)	96

A5 – LRS_Message_Handler(Message)	104
Appendix B GMP message format	111
B1 – GMP message structure	111
B1 – GMP message fields	112
Appendix C GMP Protocol Data Unit (PDU) Types	114
C1 – C2N_RegistrationRequest	114
C2 – N2C_RegistrationResponse	115
C3 – N2N_RegistrationRequest	116
C4 – N2N_RegistrationResponse	117
C5 – C2N_RegistrationRefresh	118
C6 – N2N_RegistrationRefresh	119
C7 – N2N_BindingNotification	120
C8 – N2N_BindingCheckRequest	121
C9 – N2N_BindingCheckResponse	122
C10 – C2N_HandoverInitiate	123
C11 – C2N_HandoverFinish	124
C12 – N2C_HandoverAcknowledge	125
C13 – N2N_HandoverIndication	126
C14 – N2N_HandoverForward	127
C15 – N2N_HandoverAcknowledge	128

List of figures

Figure 1– Modes for communication in MIPv6	26
Figure 2 – Hierarchical MIPv6 Schema	29
Figure 3 – Fast Handover: predictive mode of operation.....	31
Figure 4 – Fast Handover: reactive mode of operation	32
Figure 5 – MIH Function Architecture [5].....	33
Figure 6 – TLV format for MIH Information Element representation [5].....	35
Figure 7 – GMA Scenario	38
Figure 8 – Registering of the MN at the GAN of a different administrative domain	41
Figure 9 – Discovering the IP address of the CN.....	42
Figure 10 – Discovering the IP address of the MN	44
Figure 11 – Refreshing the record of the MN	46
Figure 12 – Packet sent by the MN to the CN (MN’s CoA registered at the CN’s AR)	47
Figure 13 - Packet sent by the MN to the CN (MN’s CoA not registered at the CN’s AR).....	48
Figure 14 - Packet sent by the CN to the MN (MN’s CoA registered at the CN’s AR)	49
Figure 15 – Communication between MNs at different GANs.....	50
Figure 16 – Handover at the GMA - anticipated mode of operation of the GMP. 53	
Figure 17 – Handover at the GMA - reactive mode of operation of the GMP.....	56
Figure 18 – Network environment scenario used for the evaluation.....	59
Figure 19 – Dx-y values used in the analysis.....	71
Figure 20 – Downstream flow packet loss versus transmission rate.....	74
Figure 21 – Buffer size requirement for upstream/downstream flow	75

Figure 22 – Average downstream-flow restore latency	76
Figure 23 - Average upstream-flow restore latency	76
Figure 24 – GMP message structure	111

List of tables

Table 1 – Mobility binding cache of the AR2 after registering the MN at the GAN	41
Table 2 - Mobility binding cache of the AR2 after discovering the IP address of the mobile CN.....	43
Table 3 - Mobility binding cache of the AR3 after receiving the <i>N2N_BindingNotification</i> message	43
Table 4 - Mobility binding cache of the AR3 after discovering the IP address of the MN.....	44
Table 5 – Parameters used in the analysis	60
Table 6 – Parameters settings used in the first approach of the analysis	71
Table 7 – Average time values calculated to the three parts of the handover process	72
Table 8 – Parameters settings used in the second analysis.....	73
Table 9 – Description of the GMP message fields	112