

移动IPv6网络及其QoS上下文转移技术
刘楚达 著

移动IPv6网络及其 QoS上下文转移技术

刘楚达 著



国防科技大学出版社

TN915.04/80

版社

TN915.04/80

2007

移动 IPv6 网络及其 QoS 上下文转移技术

刘楚达 著

国防科技大学出版社

湖南·长沙

内 容 提 要

本书以移动 IPv6 网络为对象,结合作者的研究工作,系统地介绍了 QoS 在移动 IPv6 网络中采用上下文转移的技术和方法。讨论的中心问题是在移动 IPv6 网络中给流媒体应用提供 QoS 保障时如何运用上下文转移技术来改善应用流的 QoS 性能。内容包括 IP 网络的 QoS 技术、移动环境中提供 QoS 保障面临的问题、移动 IPv6 协议及性能分析,以及集成服务、区分服务、MPLS 与区分服务相结合的 QoS 模型中的 QoS 上下文转移方法。

本书可作为有关大学高年级学生、研究生以及科研人员学习移动 IPv6 网络中 QoS 保障的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

移动 IPv6 网络及其 QoS 上下文转移技术/刘楚达著. —长沙:国防科技大学出版社, 2007.10

ISBN 978-7-81099-450-7

I. 移… II. 刘… III. 移动通信—通信网 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 143484 号

国防科技大学出版社出版发行

电话: (0731) 4572640 邮编: 410073

<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑: 唐卫葳

新华书店总店北京发行所经销

湘潭市鸿泰彩色印务有限公司印装

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 11.5 字数: 266 千字

2007 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数: 1-1500 册

ISBN 978-7-81099-450-7

定价: 22.00 元

前 言

未来的 4G 移动通信网络将基于一种全 IP 架构,将异构的无线接入技术,如无线个人域网 (WPAN)、无线局域网 (WLAN)、UMTS、陆地无线接入网 (UTRAN) 和 3G 与 Internet 融合。随着两者的融合,新的服务、增加的带宽、无处不在的连通性的需求将不断增长。这种融合的目的是给基于 IP 的移动/无线主机在异构接入技术中漫游时提供无缝的多媒体服务。因此,全 IP 网络的概念使得如何保障多媒体应用(如移动电话、多媒体会议、移动 Web 访问)的服务质量(QoS)成为研究热点。为支持接入技术的异构性和在 Internet 中为主机提供移动性,移动 IPv6 能提供较好的解决方案。现有的 QoS 技术有:基于资源预留(RSVP)的集成服务模型(IntServ)、基于优先级的区分服务模型(DiffServ)以及多协议标签交换(MPLS)。这些模型能在有线环境中为实时应用提供 QoS 保障,但它们在无线移动环境下提供 QoS 保障将面临巨大的挑战。

目前,在移动环境下提供移动节点的 QoS 支持,许多研究工作集中在把已有的 QoS 技术(如,IntServ、DiffServ 和 MPLS)应用到移动环境中,即如何增加移动性支持,如何适应移动环境下的无线链路特征等。在这些方法中,节点移动后通过重新发起信令或在移动节点将访问的位置冗余预留资源等,给移动节点提供 QoS 保障,这将不可避免地增加协议的信令开销,浪费宝贵的无线带宽,提高协议的复杂性,产生较大的时延和丢包等。

最近,由 IETF 的 Seamoby 工作组提出了上下文转移的概念,它是移动节点无缝切换的一个研究热点。上下文信息是指,主机移动到新的子网后,不需要重新执行整个协议即可重建服务所需要的当前服务状态信息。上下文转移则是把相关的上下文信息从切换前的接入路由器转移到切换后子网中新

的接入路由器的机制,这种上下文转移机制能快速重建上下文转移候选服务,而不需要移动主机为建立这些服务而重新执行整个协议。上下文转移的主要目的是减少因节点移动所带来的延迟、丢包和避免重新发起来自或去往移动节点的信令。上下文转移候选服务主要包括认证、授权与计费、头压缩、QoS 和安全等。

本书系统地介绍了在移动 IPv6 网络中怎样对现有的 QoS 模型进行 QoS 上下文转移来保证实时应用端到端的 QoS 需求。所介绍的内容大多是 20 世纪末发展起来的,所研究的内容得到国家 863 重点项目“新一代互联网综合试验环境”和湖南省教育厅科研项目的资助,并得到我的博士生导师西安交通大学钱德沛教授和副导师刘轶博士的悉心指导,以及许多同行的支持和帮助,在此一并致以深深的谢意。

书中内容遗漏和错误难免,敬请批评指正。

作者

2007 年 6 月于长沙

缩 略 语

3G	Third Generation of Cellular System
4G	Fourth Generation of Cellular System
AAA	Authentication, Authorization and Accounting
ACK	ACKnowledgement
AF	Assured Forwarding
API	Application Programming Interface
AR	Access Router
AS	Autonomous Systems
ATM	Asynchronous Transfer Mode,
BA	Behavior Aggregate
BB	Bandwidth Broker
BE	Best Effort
BGP	Border Gateway Protocol
BGRP	Border Gateway Reservation Protocol
BS	Base Station
BT	Base Terminal
BU	Binding Updating
CBR	Constant Bit Rate
CDB	Context Data Block
CLEP	Control Load Ethernet Protocol
CN	Correspondent Node
CoA	Care-of-Address
COPS	Common Open Policy Service
CPC	Central Policy Controller
CT	Context Transfer
CTAR	Context Transfer Active Request
CTD	Context Transfer Context Transfer Data
CTDR	Context Transfer Data Reply

CTP	Context Transfer Protocol
CTR	Context Transfer Request
DEC	Decision
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DiffServ (DS)	Differentiated Services
DSCP	Differentiated Services Code Point
EDF	Earliest Deadline First
EF	Expedited Forwarding
FA	Foreign Agent
FHMIP	Fast Handover for Hierarchical Mobile IP
FHMIPv6	Fast Handover for Hierarchical Mobile IPv6
FLOWSPEC	Flow Specification
FMIPv6	Fast Handover for Mobile IPv6
FNA	Fast Neighbor Advertisement
FO	Fast handOver
FPT	Feature Profile Type
FTM	FEC-to-NHLFE
FTP	File Transfer Protocol
GFA	Global Foreign Agent
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System For Mobile Communication
HA	Home Agent
HACK	Handover ACKnowledgement
HC	Header Compression
HI	Handover Initiation
HMIPv6	Hierarchical Mobile IPv6
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
ICMP	Internet Control Message Protocol
ILM	Label-to-NHLFE
IntServ	Integrated Services
IPsec	IP Security
IR	Intermediate Router

IRTF	Internet Research Task Force
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
LAN	Local Area Network
LCoA	Local Care-of-Address
LDAP	Lightweight Directory Access Protocol
LDP	Label Distribution Protocol
LEMA	Label Edge Mobility Agent
LER	Label Edge Router
LERG	Label Edge Router Gateway
LFIB	Label Forwarding Information Base
LMQA	Label Mobility QoS Agent
LSP	Label Switching Path
LSR	Label Switching Router
MAP	Mobility Anchor Point
MF	Multi-Field
MIB	Management Information Base
MIP	Mobile IP
MIPv4	Mobile IPv4
MIPv6	Mobile IPv6
MN	Mobile Node
MPLS	Multi-Protocol Label Switching
NA	Neighbor Advertisement
NAACK	Neighbor Advertisement ACKnowledgement
NACK	Non-ACKnowledgement
NAR	New Access Router
NCoA	New Care-of-Address
NHLFE	Next Hop Label Forwarding Entry
NLCoA	New Local Care-of-Address
OSPF	Open Shortest Path First
PAN	Personal Area Network
PAPI	Policy Application Programming Interface
PAR	Previous Access Router

PCoA	Previous Care-of-Address
PCTD	Predictive Context Transfer Data
PDA	Personal Digital Assistant
PDP	Policy Decision Point
PEP	Policy Enforce Point
PHB	Per-Hop Behavior
PIB	Policy Information Base
PLCoA	Previous Local Care-of-Address
PSB	Path State Block
PSC	PHB Scheduling Class
QB	QoS Broker
QGS	QoS Global Server
QLN	QoS Local Node
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Area Network
RAR	Radio Area Router
RCoA	Region Care-of-Address
RESV	RESeVation
RFC	Request For Comments
RPT	RePorT
RSB	Resevation State Block
RSVP	Resource Reservation Protocol
SLA	Service Level Agreement
SLS	Service Level Specification
TCA	Traffic Conditioning Agreement
TCS	Traffic Conditioning Specification
TCSB	Traffic Control State Block
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual Private Network
WAP	Wireless Application Protocol

WCDMA	Wide band Code Division Multiple Access
WFQ	Weighted Fair Queuing
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 概 述	(1)
1.2 国内外研究热点及现状	(5)
1.3 本书组织	(8)
参考文献	(9)
第二章 IP 网络的 QoS 技术	(12)
2.1 QoS 及其相关的概念	(12)
2.2.1 IP QoS 背景	(12)
2.2.2 QoS 定义	(12)
2.2.3 QoS 参数	(14)
2.2 QoS 处理模型	(16)
2.2.1 QoS 规范	(16)
2.2.2 QoS 映射	(16)
2.2.3 QoS 执行	(18)
2.3 IP QoS 模型	(18)
2.3.1 集成服务(IntServ)	(19)
2.3.2 区分服务(DiffServ)	(22)
2.3.3 多协议标签交换(MPLS)	(25)
2.4 IP QoS 机制	(27)
2.4.1 数据通道机制	(28)
2.4.2 控制通道机制	(30)
2.5 本章小结	(32)
参考文献	(32)
第三章 移动 IP 的 QoS 问题	(35)
3.1 移动环境中提供 QoS 保障面临的问题	(35)
3.2 RSVP 的移动性支持	(36)
3.2.1 移动环境下支持 RSVP 的问题	(36)
3.2.2 IntServ 的移动性支持扩展	(37)
3.3 DiffServ 的移动性支持	(39)
3.3.1 移动环境下支持 DiffServ 的问题	(39)
3.3.2 DiffServ 的移动性支持扩展	(40)

3.4 MPLS 的移动性支持.....	(43)
3.4.1 MPLS 的移动性支持特点.....	(43)
3.4.2 MPLS 的移动性支持扩展.....	(44)
3.5 本章小结.....	(46)
参考文献.....	(47)
第四章 移动 IPv6 协议及性能分析.....	(50)
4.1 概 述.....	(50)
4.1.1 移动 IPv4 的产生背景.....	(50)
4.1.2 移动 IPv4 协议.....	(51)
4.1.3 IPv6 支持移动性的特征.....	(53)
4.2 移动 IPv6 基本协议.....	(54)
4.2.1 常用术语.....	(54)
4.2.2 移动 IPv6 的消息/选项格式.....	(55)
4.2.3 对 IPv6 邻居发现机制的修改.....	(70)
4.2.4 移动 IPv6 操作.....	(75)
4.2.5 对 IPv6 节点的要求.....	(102)
4.3 移动 IPv6 的增强协议.....	(105)
4.3.1 层次移动 IPv6 移动管理协议 HMIPv6.....	(105)
4.3.2 快速切换移动 IPv6 协议 FMIPv6.....	(107)
4.3.3 快速层次移动 IPv6 协议 F-HMIPv6.....	(108)
4.4 F-HMIPv6 协议与其他协议的性能比较和评价.....	(109)
4.4.1 相关工作.....	(109)
4.4.2 仿真建立.....	(109)
4.5 本章小结.....	(113)
参考文献.....	(113)
第五章 移动 IPv6 中端到端的 RSVP 上下文转移.....	(115)
5.1 引 言.....	(115)
5.1.1 上下文转移概述.....	(115)
5.1.2 问题的提出.....	(118)
5.2 端到端的 RSVP 上下文转移的设计目标与假设.....	(118)
5.3 端到端的 RSVP 上下文转移框架.....	(119)
5.3.1 网络模型.....	(119)
5.3.2 端到端 QoS 上下文转移方案.....	(120)
5.4 仿真实验及结果分析.....	(123)
5.4.1 对 ns2 的扩展.....	(123)
5.4.2 仿真模型及假设.....	(123)
5.4.3 仿真结果分析.....	(124)

5.5 本章小结	(126)
参考文献	(127)
第六章 移动环境中 RSVP 上下文抽取	(128)
6.1 引言	(128)
6.2 RSVP 路由器的存储结构	(129)
6.3 RSVP 上下文抽取和校验试验	(131)
6.3.1 RSVP 上下文抽取	(131)
6.3.2 RSVP 上下文校验试验	(132)
6.4 包含 RSVP 上下文信息的消息结构	(134)
6.4.1 IPv6 的逐跳选项报头	(134)
6.4.2 CTD 消息	(136)
6.4.3 上下文数据块(Context Data Block)	(137)
6.4.4 包含 RSVP 上下文信息的逐跳选项报头	(138)
6.5 本章小结	(138)
参考文献	(139)
第七章 端到端的 DiffServ QoS 上下文转移	(140)
7.1 引言	(140)
7.2 DiffServ 的 QoS 信令	(141)
7.2.1 概述	(141)
7.2.2 SLS 磋商协议	(142)
7.2.3 COPS-SLS 协议	(143)
7.3 端到端的 DiffServ QoS 上下文转移	(144)
7.3.1 网络参考模型	(144)
7.3.2 端到端的 DiffServ QoS 转移框架	(145)
7.3.3 模拟实验与结果分析	(147)
7.4 DiffServ 的 QoS 上下文状态信息	(151)
7.5 本章小结	(153)
参考文献	(153)
第八章 端到端 Differv/MPLS QoS 上下文转移方法	(155)
8.1 问题的提出	(155)
8.2 相关工作	(156)
8.2.1 DiffServ 和 MPLS 结合	(156)
8.2.2 移动环境中 DiffServ 和 MPLS 结合的 QoS 保障	(156)
8.2.3 移动 IPv6 中端到端的 DiffServ QoS 上下文转移	(158)

8.3 端到端的 DiffServ/MPLS QoS 上下文转移方法	(158)
8.3.1 设计目标与假设	(158)
8.3.2 网络参考模型	(159)
8.3.3 端到端的 DiffServ/MPLS QoS 上下文转移方法	(160)
8.4 模拟实验与结果分析	(164)
8.4.1 对 ns2 的扩展	(164)
8.4.2 网络模拟拓扑及配置	(164)
8.4.3 模拟结果	(165)
8.5 本章小结	(168)
参考文献	(169)

第一章 绪 论

1.1 概 述

当今, Internet 已经演变为一个提供数据、语音、视频综合服务的信息基础设施。IETF^[1,1]开发和标准化 IP 协议栈,包括基本的 IP 协议和基于 IP 的协议,如 TCP、UDP 和 HTTP 等。IP 协议提供的分组交换是 Internet 中信息传输的基础,大多数的私有网络也都基于 IP 协议。

基于 IP 的网络互联获得巨大成功的主要原因有:其一,经济方面获益于 IP 的灵活性,使之能适应各种通信环境。IP 能用于有线和无线网络,比传统的电路交换网络有更高的经济性。许多公司和研究机构提供基于 IP 的组件和解决方案,来不断降低网络实体的费用和为运营商快速部署新的基础设施。另外, IETF 定义的 IP 协议没有知识产权和任何使用方面的费用。其二,工程化方面从电信提供商使用的网络技术中获益,如 ISDN、ATM 等技术。IP 协议栈也已经成为 GPRS 和 3G 移动网络的一个通用模块。IP 构建的主要思想是使网络简单化和模块化,并且在每个功能模块之间定义了开放的接口,这样使网络基础设施部署更容易,新的方法和技术能被更迅速地利用。其三,从端用户方面来说,移动网络向基于 IP 的接入基础设施方向发展,意味着相同的端用户应用能在有线网络和移动网络中运行。为了一种产品只需要开发一种基本的实现代码,有了这种基本实现,基于 IP 的客户端/服务器应用可以不考虑网络类型而进行通信。当然,在移动和无线环境中可能需要一些特殊的优化以提供更高效的连接。而且,应用需要适应不同的操作环境,如掌上电脑、PDA、移动电话等。

近年来,各种应用在 IP 网络中急剧增加。除了传统的 E-mail、文件传输、web 浏览应用,各种实时多媒体应用也越来越普及,这些应用发送音频和视频流,需要不同的带宽和延时要求。另外,对于关键服务的远程监控、电子商务和网上银行应用中的网络控制和信令消息不需要严格的带宽保障,但这些应用需要非常高的可靠性和较快的分组路由。不同的应用导致在传输网络中业务负载的异构性。

在分组交换网络中,数据包的转发典型地采用尽力传送的方式,而突发业务流会导致网络暂时的拥塞,拥塞会使应用在接收端产生延时和丢包。新的多媒体、远程监控和控制应用有不同的延时和带宽需求,这要求分组转发提供 QoS 保障。视频应用要求数据

包即时到达以正确地显示视频, 延时和丢失的数据包不能被重新发送, 因为丢失的数据再到来时应用已经经过了。而电子商务和网上银行应用要求所连接的接入网络提供可靠的服务, TCP 提供可靠的数据传输, 但不保障即时地传输数据。从而, 有保障的分组转发也可以从基于 TCP 的应用中获益。

克服网络拥塞的一个办法是提供高于目前流量需求带宽的网络容量, 即提供绝对带宽, 在面向连接和无连接的网络中均可以采用这种办法。在面向连接的网络中, 为了提供更大的数据传输容量, 可以通过给节点增加连接数目, 给 GSM 网络增加基站数目来增加同时接入的用户数目。然而, 通常用户传输数据只在某一时间段进行, 这样会使整个网络的资源利用率较低。在无连接网络中, 网络资源能更高效地被利用, 但不能绝对地保障连接的质量。增加共享媒体的带宽只能提供较好的服务保障, 不能防止拥塞的发生。

绝对带宽是非常昂贵的方法, 对无线链路也不一定可行。无线链路比有线链路更具有不可预计性, 有更高的位差错率和丢包率。移动节点(Mobile Node, MN)在不同的接入点移动时, 如果新的接入点有更多的移动节点共享媒体, 则新的接入点会产生拥塞。因此, 我们需要有效的方法来鉴别单个的数据包, 并通过机制给选定的分组流提供服务质量(Quality of Service, QoS)保障。

未来的 4G 移动通信网络将基于一种全 IP 架构, 将异构的无线接入网络, 如无线个人域网(WPAN)、无线局域网(WLAN)、UMTS、陆地无线接入网(UTRAN)、3G 通信网络, 与 Internet 融合。随着两者的融合, 新的服务、无处不在的连通性需求将不断增长。这种融合的目的是给基于 IP 的移动/无线主机以异构接入技术漫游提供流媒体服务。因此, 全 IP 网络的概念致使开发和研究保障多媒体应用的 QoS 成为研究热点。

在 4G 全 IP 网络中, 两个重要的问题仍需解决: 即如何维护网络的连通性, 如何确保提供足够的网络资源给移动节点。移动通信系统中移动管理的重要任务是保证移动用户在任何时候都具有连通性。移动管理由两个部分构成: 位置管理和切换管理。位置管理是指移动节点在 Internet 中当前归属点的注册更新(Registration Update); 而切换管理是指当移动节点改变其归属点时仍保持其连通性。

由 IETF 提出的移动 IP(Mobile IP, MIP)^[1.2-1.4] 和移动 IPv6(Mobile IPv6, MIPv6)^[1.5] 能在基于 IP 的无线移动网络中作为基本的移动管理协议。它们允许节点改变其在 IP 网络中的归属点, 而不影响节点的可达性和可寻址性, 即当节点从一个子网移动到另一子网时仍然维持节点连通性和移动节点与通信节点(Correspondent Node, CN)间正在进行的会话。

随着 Internet 用户数量的猛增和新的应用的需求, IPv4 协议呈现出一些很大的缺陷, 其中地址空间危机是最为严重且迫切需要解决的问题。此外, 还包括路由表爆炸问题、

缺少有效的服务质量保证和安全机制等问题。从短期来看, 这些问题可以通过采取一些补救性措施加以解决或缓解, 但从长远来看, 需要对 IPv4 网络进行升级, 才能从根本上解决目前 IPv4 网络中遇到的种种问题。20 世纪 90 年代初, IETF 就开始探讨下一代网络协议, 提出过多个替代 IPv4 的协议, 最终 IPv6^[1,6] 得到广泛的认可, 被 IETF 选为下一代互联网络协议。IPv6 为 IPv4 所暴露出来的各种弊端提供了良好的解决方案, 尤其是其地址数量几乎无限, 使得移动终端海量的地址需求得以满足, 并且其移动性也比 IPv4 增强了许多。IPv6 在制定之初就考虑到了要解决移动性问题, 因此它的基本理论中就有许多是为解决移动问题而提出的, 这使得移动 IPv6 成为解决移动性问题的根本方案。IPv6 有许多适用于解决移动性问题的新特性, 这些特性都是 IPv4 所不具备的, 因此 IPv6 能够更好地解决移动性问题。从技术上对移动 IPv6 与移动 IPv4 进行比较, 移动 IPv6 的优势非常明显, 主要体现在以下几个方面:

(1) 移动 IPv6 为每个移动节点分配了全球的 IP 地址, 无论它们在何处连接到互联网上, 为移动节点服务的链路要预留足够多的 IP 地址来给移动节点, 在 IPv4 地址短缺的情况下, 要预留足够多的全球 IPv4 地址是不太可能的。

(2) 使用 IPv6 的 any-cast 地址使得某个节点能够发送数据包给有该地址的几个系统中的某一个, 移动 IPv6 有效利用这一原理实现动态家乡代理发现机制, 通过发送绑定更新给家乡代理的 any-cast 地址来从几个家乡代理中获得最合适的一个响应, IPv4 无法提供类似的方法。

(3) 使用无状态地址自动配置和邻居发现机制之后, 移动 IPv6 既不需要 DHCP, 也不需要外区链路上的外区代理来配置移动节点的转交地址。

(4) 移动 IPv6 可以为所有安全的要求使用 IPSec, 如授权、数据完整性保护和重发保护。

(5) 为了避免由于三角路由造成的带宽的浪费, 移动 IPv6 指定了路由优化的机制, 路由优化是移动 IPv4 的一个附加功能, 却是移动 IPv6 的完整组成部分之一。

(6) 在互联网中有个别路由器是对它们转发的数据包实行入口过滤(Ingress-Filtering)的, 它们检查该源地址来的数据包是否应该送到接收该数据包的接口处, 移动 IPv6 能够与这种入口过滤方式毫无问题地并存, 一个在外区链路上的移动节点使用其转交地址作为数据包的源地址, 并将其家乡地址包含在其家乡地址目标选项中, 由于在外区链路中转交地址是一个有效地址, 所以数据包将顺利通过入口过滤。

移动 IPv6 使用户、运营商以及设备商获得全新的体验和商机:

(1) 对于最终用户来说, 移动 IPv6 将会带来全新的即时信息业务(IMS), 用户将获得更高性能、更加经济的网络服务。

(2) 对于运营商来说, 移动 IPv6 意味着可以降低资本开支和运行开支, 运营商可以