

## RSVP协议在移动IPv6网络中的扩展性研究<sup>\*</sup>

孙毅<sup>1,2+</sup>, 张玉成<sup>3</sup>, 冯斌<sup>4</sup>, 方更法<sup>1</sup>, 石晶林<sup>1</sup>, DUTKIEWICZ Eryk<sup>5</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院 计算技术研究所,北京 100190)

<sup>2</sup>(中国科学院 研究生院,北京 100049)

<sup>3</sup>(电子科技大学,四川 成都 610054)

<sup>4</sup>(北京邮电大学,北京 100876)

<sup>5</sup>(University of Wollongong of Australia, NSW 2522, Australia)

### Research of Extensions to RSVP for Mobile IPv6 Networks

SUN Yi<sup>1,2+</sup>, ZHANG Yu-Cheng<sup>3</sup>, FENG Bin<sup>4</sup>, FANG Geng-Fa<sup>1</sup>, SHI Jing-Lin<sup>1</sup>, DUTKIEWICZ Eryk<sup>5</sup>

<sup>1</sup>(Institute of Computing Technology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

<sup>2</sup>(Graduate University, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

<sup>3</sup>(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

<sup>4</sup>(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

<sup>5</sup>(University of Wollongong of Australia, NSW 2522, Australia)

+ Corresponding author: E-mail: sunyi@ict.ac.cn

**Sun Y, Zhang YC, Feng B, Fang GF, Shi JL, Dutkiewicz E. Research of extensions to RSVP for mobile IPv6 networks. *Journal of Software*, 2008,19(7):1731–1742. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/19/1731.htm>**

**Abstract:** Aiming at the features of wireless mobile communication, this paper proposes a new resource reservation scheme, Fast RSVP (resource reservation protocol), to guarantee the QoS of sessions for mobile IPv6. The scheme adopts cross-layer design, it cooperates two modules at different layers: Mobile IP module and RSVP module. By adding some primitives, the scheme lets the two modules work together to guarantee the QoS of sessions for mobile users. Fast RSVP imports a series of new mechanisms such as advanced resource reservation on neighbor tunnels, resource reservation on optimized routes, resource reservation for handover sessions, path merging etc. Simulation results show that Fast RSVP scheme, compared with other traditional RSVP extensions for mobile environments, has the following advantages: (1) it realizes a mobile node handover with QoS guarantees; (2) it avoids resource wasting caused by triangular routes and duplicate reservations in mobile IP handover process; (3) it distinguishes different types of reservation requests, greatly reducing the handover session forced termination rate while maintaining high performance of the network.

**Key words:** resource reservation; mobile IPv6; quality of service (QoS); cross-layer; multimedia

**摘要:** 针对无线移动通信的特点,提出了一种在移动IPv6网络中保障用户通信服务质量的资源预留新方案 Fast

\* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.A60273021 (国家自然科学基金); the National Basic Research Program of China under Grant No.2007CB310702 (国家重点基础研究发展计划(973)); the Beijing Science and Technology Program of China under Grant No.D0105006040131 (北京市科技计划项目)

Received 2006-10-30; Accepted 2007-03-07

RSVP.该方案采用跨层设计的思想,将两个不同层次的模块:移动 IPv6 模块和 RSVP 模块结合起来,通过在两个模块之间增加一些原语使得二者配合工作以保证移动用户的通信业务质量.Fast RSVP 方案引入了邻居隧道提前资源预留、优化路径资源预留、切换预留、路径融合等一系列新机制.仿真实验结果表明,与其他移动环境中的 RSVP 扩展方案相比,该 Fast RSVP 方案在支持无线移动通信方面具有如下优势:(1) 能够实现移动节点带有服务质量保证的快速切换;(2) 能够避免移动 IP 切换过程中三角路由和重复预留造成的资源浪费;(3) 能够区分不同类型的切换预留请求,在保证网络整体性能的前提下显著降低因为切换而导致的服务中断率.

关键词: 资源预留;移动 IPv6;服务质量;跨层;多媒体

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

未来新一代网络(next generation network,简称NGN)将是一个支持多种移动接入方式的全IP网络.然而,当前的移动IP<sup>[1]</sup>技术仅仅保证了用户在移动环境中通信的连续性,对于如何保障移动通信服务质量(quality of service,简称QoS)的问题并没有太多关注.伴随着无线通信技术的发展和无线传输带宽的增加,在下一代移动 IPv6 网络上承载多媒体业务已成为一种必然趋势.如何保障这些多媒体实时业务的服务质量就成为当前移动互联网领域一个亟需解决的问题.

对于用户通信的服务质量保障问题,互联网工程任务组(Internet Engineering Task Force,简称IETF)提出了资源预留协议<sup>[2]</sup>(resource reservation protocol,简称RSVP).资源预留协议RSVP的工作机制是让整个通路中所有节点都为多媒体会话预留一定的资源,从而为会话提供了端到端的服务质量保证.然而,该协议假定通信两端位置固定,IP地址不变,中间路由器能够用通常的IP路由方法建立资源预留路径等.在移动环境下,这些假设都不再成立,因而传统的RSVP协议无法在无线移动环境中为多媒体实时业务进行资源预留.

近些年来,国内外专家学者对传统的RSVP协议进行了一系列扩展性研究,以使其适用于无线移动环境,并提出了一系列方案<sup>[3-8]</sup>,这些方案部分地解决了传统RSVP协议存在的问题,但依然存在一些重大缺陷.

文献[3]中提出了一种建立并利用 RSVP 隧道的方案——RSVP Tunnel.该方案很好地解决了资源预留无法穿越隧道的问题,但却具有以下缺陷:(1) 无提前预留机制,并且切换后隧道资源预留建立过程由端到端的控制刷新消息触发,因而移动节点在切换后较长一段时间内的服务质量无法得到保障;(2) 存在三角路由且无路由优化措施,当家乡代理与外地代理距离较远时,需要在三角路径上进行资源预留由此带来了网络资源浪费;(3) 不区分切换用户和新用户的预留请求,导致会话因切换而中断的概率较高.

MRSVP方案<sup>[4]</sup>增加了资源预留对移动性的支持.它引入了两个新的概念:移动清单(mobility specification,简称MSPEC)和活动/被动预留(active/passive reservation).该方案为多媒体会话在切换的目标小区提前进行了资源预留,因此可以实现有服务质量保证的快速切换.然而,该方案具有如下缺点:(1) 一般情况下,要求在所有邻居小区都提前进行被动资源预留,这种过度预留的做法导致资源浪费严重,进而严重影响了网络的性能;(2) 当移动节点发生切换后并没有充分利用原先小区内已预留的资源,从而降低了切换后资源预留路径建立成功的概率;(3) 不区分切换用户和新用户的预留请求,导致会话因切换而中断的概率较高.

Chen 在文献[5]中提出了利用 IP 多播机制实现移动环境下的资源预留(multicast RSVP 方案).每一个多媒体会话都分配了一个多播地址,当移动节点切换到一个新小区时,该小区内的移动代理会通知所有邻居小区的移动代理加入同一个多播组,这样,邻居小区就可以为多媒体会话提前进行资源预留.基于多播的移动资源预留机制与 MRSVP 方案存在同样的优点和缺陷.

为了克服 MRSVP, Multicast RSVP 等方案中因为过度预留所带来的资源浪费问题,近些年来,研究人员考虑利用移动切换预测技术确定切换的目标小区,从而仅在目标小区为移动节点提前进行资源预留,而无须在所有邻居小区都进行预留.文献[6]提出了一种利用 802.11b 二层信息进行切换预测从而在切换目标小区采用多播机制提前进行资源预留的方案(link layer assisted multicast-based mobile RSVP,简称 LM-MRSVP 方案).该方案可以有效地避免过度预留所造成的资源浪费,但是也存在一定的缺陷:(1) 当移动节点发生切换后并没有充分利用原先小区内已预留的资源,从而降低了切换后资源预留路径建立成功的概率;(2) 该方案基于多播机制实现

预留,当预测发生错误时,需要重新建立一条多跳的资源预留路径,该路径建立时间较长导致会话在此期间内服务质量无法得到保障;(3) 不区分切换用户和新用户的预留请求,导致会话因切换而中断的概率较高。

其他类似的改进方案<sup>[7,8]</sup>也被提了出来,但是它们并没有克服上面列出的各种基本方案的内在缺陷。

本文提出了一套新的针对移动 IPv6 网络的资源预留方案——Fast RSVP.该方案能够有效地保障多媒体实时会话在移动环境中的服务质量,并能合理利用网络资源,减少资源浪费.同时,该方案在不损害网络整体性能的基础上能够显著降低会话因为切换而导致的服务中断概率。

本文第 1 节阐述 Fast RSVP 方案.第 2 节对 Fast RSVP 方案中采用的各项新机制进行仿真实验并分析它们对系统性能的影响.第 3 节对全文作出总结。

## 1 方案详述

在无线移动环境中,移动切换分为两种情形:域内移动和域间移动.域内移动(intro-domain)的资源预留通常是由移动终端和基站(或接入点)之间交互一些链路层信令来实现的,因而它与具体的链路层接入技术有关.域内移动的资源预留并不是本文的研究内容.本文的研究重点是在发生跨域(inter-domain)切换后,节点的 IP 地址发生改变时,如何快速重建资源预留路径,保证移动节点的通信服务质量.换句话说,Fast RSVP 方案解决的问题是在移动节点的接入路由器发生改变后,研究如何克服 IP 地址变更对 RSVP 协议的影响,为移动节点快速重建资源预留路径。

Fast RSVP 方案设计的出发点如下:(1) 通过提前在目标小区建立资源预留,实现移动节点带有服务质量保证的快速切换;(2) 通过切换预测机制确定切换目标小区,以避免在所有邻居小区都为移动节点提前预留所造成的资源浪费;同时要求当切换预测发生错误时能在最短时间为移动节点重新建立资源预留路径,从而使移动节点上会话的服务质量受到尽可能少的不利影响;(3) 通过在发生切换的两个邻居小区之间建立资源预留隧道,使得移动节点在切换后能够充分利用原小区路径上已经预留过的资源而无须建立一条全新的资源预留路径,从而显著降低因为切换导致的资源预留路径建立失败概率;(4) 配合移动 IPv6 协议的路由优化机制实现优化路径上的资源预留,避免三角路由造成的资源浪费,当优化路径上的资源预留过程完成后,会话数据流被无缝切换到优化路径上;(5) 优化路径资源预留过程中,避免在新旧路径共享的节点和链路上进行重复预留,以节省网络资源;(6) 区分不同类型用户发来的预留请求,给切换用户赋以更高的优先级,在不损害网络整体性能的前提下降低因切换而导致的通话中断率。

在本文所提方案中,一次带有服务质量保证的切换过程可分为两个阶段:邻居资源预留隧道建立和优化路径资源预留.如图 1 所示,当移动节点(mobile node,简称 MN)切换事件发生后,它首先利用在切换原小区(previous access router,简称 PAR)和新小区(new access router,简称 NAR)两个邻居小区之间提前建好的资源预留隧道与对端节点(corresponding node,简称 CN)进行通信(图 1 中实线所示).因为隧道上已经为 MN 的多媒体会话预留了资源,因而通信的服务质量可以得到保证.此后,当 MN 在新小区中稳定后,启动优化路径资源预留过程.该过程完成后,MN 和 CN 之间的通信被无缝切换到优化路径上(图 1 中虚线所示)。

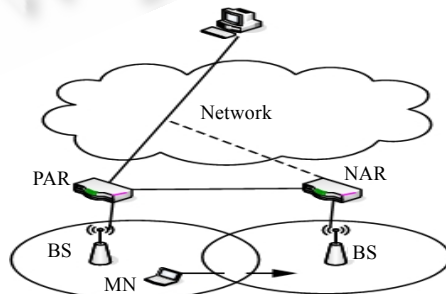


Fig.1 Illustration of fast RSVP

图 1 Fast RSVP 方案示意图

Fast RSVP 方案的实现需要对各实体上两个不同层次的模块(移动 IP 模块和 RSVP 模块)进行修改.通过在两个模块之间增加一些原语使得两个模块能够协调工作,从而实现移动节点带有服务质量保障的无缝切换,避免重复预留和三角路由造成的资源浪费,区分不同用户发来的预留请求以减少切换造成的通话中断.

### 1.1 邻居资源预留隧道建立

在两个邻居小区之间建立资源预留隧道的主要原因是:当移动节点切换到新小区后,相对于在它和对端节点之间建立一条全新的资源预留路径而言,在发生切换的两个邻居小区之间建立一条资源预留隧道更容易取得成功.这是因为邻居隧道的长度通常很短,移动节点只需要在很少的几个路由器上建立资源预留后,就可以充分利用原先在旧路径上已预留过的资源与对端节点通信,由此,因切换而导致的资源预留路径建立失败概率(通话中断率)显著降低.

为了更好地标识移动环境下的多媒体会话,本方案引入了一个新的对象 MSESSION 用以替代传统 RSVP 协议中的 SESSION 对象.MSESSION 对象在 SESSION 对象的基础上增加了家乡地址字段,定义如下:

$$\langle MSESSION \rangle ::= \langle Home Address \rangle \langle Dest Address \rangle \langle Protocol Id \rangle \langle Flags \rangle \langle Dest Port \rangle,$$

其中,Home Address 字段填写的是移动节点的家乡地址,它是固定不变的,能够唯一标识移动节点的身份;而 Dest Address 字段填写的是移动节点的转交地址,该地址在移动节点切换后会发生改变.在移动环境下,RSVP 路由器应该根据 MSESSION 对象的内容标记多媒体会话,从而建立起相应的 Path State 和 Resv State 并预留资源.

与很多已有的方案相同,Fast RSVP 也是建立在移动节点能够对切换行为作出预测的基础之上的.至于切换预测算法本身,并不在本文的讨论范围之内.

当移动节点 MN 的移动 IP 模块作出预测本节点将在近期内发生切换时,它会发送一个切换预测指示消息 HandoverForecast.ind 给 RSVP 模块,该消息包含了 MN 在切换预测目标小区 NAR 中拟使用的转交地址. RSVP 模块利用该地址信息构造 MSESSION 对象并发送 HandoverForecast 消息(包含 MSESSION 对象)给当前路由器 PAR. PAR 收到 HandoverForecast 消息后,首先根据 MSESSION 对象中包含的家乡地址、端口号和协议号查找多媒体会话匹配的 Path State,并提取 Path State 中保存的 SENDER\_TSPEC(描述了会话的业务特征)<sup>[2]</sup>,然后根据 SENDER\_TSPEC 和 HandoverForecast 消息中包含的转交地址,生成 TunnelPath 消息并发送给 NAR. TunnelPath 消息的格式与传统的 Path 消息完全相同,只是在通用头 Common Header 中填写不同的消息类型值,用以指示该消息对应于隧道资源预留而非会话端节点之间的资源预留.

隧道中间的 RSVP 路由器收到 TunnelPath 消息后,根据消息中包含的 MSESSION 对象建立 Path State,并将 TunnelPath 消息继续向下游转发.当切换预测目标小区的路由器 NAR 收到 PAR 发来的 TunnelPath 消息后,会为移动节点的多媒体会话提前在本小区预留资源,并建立相应的 Path State 和 Resv State.本地预留完成后,NAR 回复 Tunnel Resv 消息,Tunnel Resv 消息的格式与传统的 Resv 消息完全相同,只是在通用头 Common Header 中填写不同的消息类型值,用以指示该消息对应于隧道资源预留而非会话端节点之间的资源预留.

隧道中间的 RSVP 路由器收到 Tunnel Resv 消息后,在本地为会话提前预留资源,建立相应的 Resv State,并将 Tunnel Resv 消息继续向上游转发.最终,当 PAR 收到 Tunnel Resv 消息后,从 PAR 到 NAR 的隧道上就提前为移动节点的多媒体会话预留好了资源.

当 MN 发生切换后,它的移动 IP 模块会向 PAR 发送绑定更新 BU 消息,以便发往 PAR 的会话数据包能够转发到 MN 的新位置.此外,MN 的移动 IP 模块需要判断实际切换的小区是否与预测切换的目标小区相一致.如果预测准确,则 MN 和 CN 就可以利用预先建好的资源预留隧道进行通信,此时,移动节点就实现了带有服务质量保证的快速切换;反之,如果预测发生错误,则 MN 的移动 IP 模块会向 RSVP 模块发送切换预测错误指示消息 HandoverForecastError.ind,该消息中包含了 MN 当前实际使用的转交地址和先前预测使用的转交地址.MN 的 RSVP 模块收到 HandoverForecastError.ind 消息后,会向 PAR 发送 HandoverForecastError 消息. PAR 收到该消息后,根据消息中包含的地址信息释放先前错误建立的资源预留隧道,并与 MN 实际切换的小区之间建立新的资源预留隧道.如果 MN 的移动 IP 模块作出切换预测后一段时间内,切换行为并未发生,则它也需要发送 HandoverForecastError.ind 消息通知 RSVP 模块切换预测失败,以便于 RSVP 模块发送 HandoverForecastError

消息给 PAR,释放先前错误建立的资源预留隧道.图 2 和图 3 分别描绘了预测成功和预测失败时的消息流程图.

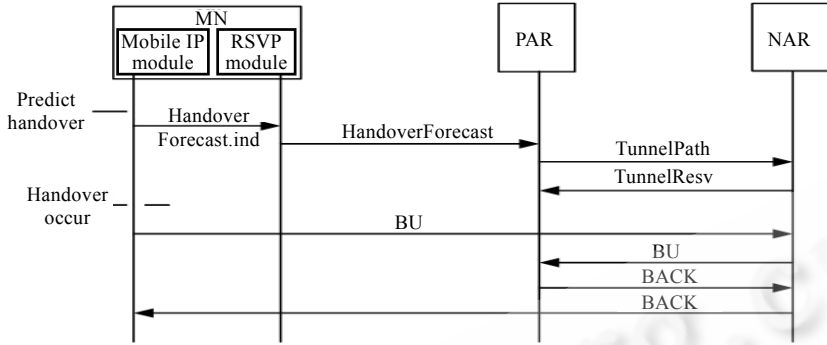


Fig.2 Message flowchart when the handover prediction is successful

图 2 预测成功消息流程图

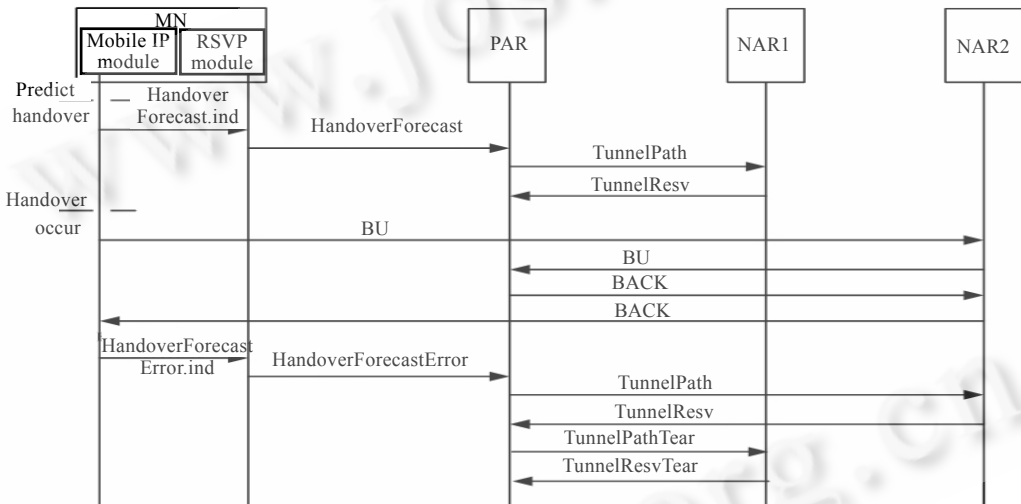


Fig.3 Message flowchart when the handover prediction fails

图 3 预测失败消息流程图

Fast RSVP 方案的一个缺点是方案的性能受到切换预测错误事件的影响.然而,与文献[6]中基于多播的方案相比,本方案在预测失败时,只需重新建立两个邻居小区之间的资源预留隧道(隧道长度短),因而错误恢复时间更短,这使得移动节点上多媒体会话的服务质量在预测错误时受到的不利影响显著降低.

### 1.2 优化路径资源预留

邻居隧道的建立能够实现移动节点带有服务质量保证的快速切换,但是切换完成后,CN和MN之间的通信就形成了效率低下的三角路由,从而造成系统资源的浪费.在移动IPv6 协议<sup>[1]</sup>中,路由优化已经成为一个必选项,因而,Fast RSVP作为移动IPv6 网络上实施的资源预留方案也必须要考虑在优化路径上建立资源预留.本文的方案通过修改移动IP模块和RSVP模块,使得二者协调工作以完成优化路径上的资源预留,并保证会话数据流在新旧路径上实现带有服务质量保证的无缝切换.

在 Fast RSVP 方案中,CN 的移动 IP 模块除了维护 Binding Cache 以外,还需要维护一个新缓冲区 Pending Cache,该缓冲区中的每个表项都是形如(家乡地址,转交地址)的地址对.当 CN 的移动 IP 模块收到 MN 发来的 BU 消息后,只是在 Pending Cache 中记录该地址更新,而并不更新 Binding Cache 的对应表项;只有当 CN 的移动

IP 模块收到 RSVP 模块发来的会话切换指示消息 SessionHandover.ind 后,才会更新 Binding Cache 中 MN 对应的表项.由于在 IP 层收到上层发来的数据时,仅仅查询 Binding Cache 以决定向哪个地址发送,因而对于数据流何时切换到优化路径,完全由 RSVP 模块控制.只有当 RSVP 模块在优化路径上完成资源预留并发送 SessionHandover.ind 后,Binding Cache 中的表项才会更新,会话数据流才能切换到新的优化路径上.而在优化路径上的资源预留未完成之前,CN 和 MN 的通信仍然使用旧的已预留资源的路径(邻居隧道),这样就保证了 CN 和 MN 之间的多媒体会话具有连续的服务质量保证.具体过程如下:

当 MN 移动到新小区并且稳定后,向 CN 的移动 IP 模块发送 BU 消息,CN 的移动 IP 模块收到 BU 消息后,在 Pending Cache 中添加一项,并发送会话切换查询消息 SessionHandover.req,询问 RSVP 模块是否可以把数据流切换到新优化路径上,RSVP 模块查看 SessionHandover.req 消息中指明的移动节点 MN 上是否有多媒体会话需要进行资源预留,如果没有,则直接发送 SessionHandover.ind 消息通知移动 IP 模块更新 Binding Cache、切换数据流;否则,说明此 MN 上有多媒体会话需要进行资源预留,则 RSVP 模块必须先为多媒体会话在优化路径上预留足够资源后,再发送 SessionHandover.ind 消息通知移动 IP 模块切换数据流.

CN 的 RSVP 模块通过向 MN 发送 Path 消息发起优化路径上的资源预留,它从移动 IP 模块发来的 SessionHandover.req 消息中提取出 MN 的新转交地址和家乡地址,生成 MSESSION 对象,并由此封装 Path 消息发送给 MN.路径上中间路由器的 RSVP 模块收到 Path 消息后,会根据 MSESSION 对象中的家乡地址、端口号和协议号字段判断本地是否已含有此会话的 Path State,如果有,则刷新状态;否则,建立此会话的 Path State.同时,路由器的 RSVP 模块负责通知移动 IP 模块 MN 的家乡地址,供移动 IP 模块在对 Path 消息进行重新封装时填入类型 2 的路由头.当 MN 的 RSVP 模块收到 Path 消息后,回复相应的 Resv 消息.路径上中间路由器的 RSVP 模块收到 Resv 消息后,同样根据 MSESSION 对象中的家乡地址、端口号和协议号字段判断本地是否已含有此会话的 Resv State,是否已为会话预留了资源,如果是,则仅需更新相应状态;否则,为多媒体会话建立 Resv State 并尝试在本地预留资源.最终,当 CN 的 RSVP 模块收到 Resv 消息后,优化路径上的资源预留就建立完成了,此时,RSVP 模块给移动 IP 模块发送会话切换指示消息 SessionHandover.ind,移动 IP 模块收到此指示后,更新 Binding Cache 表项,从而把上层会话数据转到优化后的路径上.

由上述处理过程可见,在 MSESSION 对象中增加家乡地址字段后,中间路由器能够根据家乡地址、端口号、协议号等字段内容明确判断出本地是否已经为移动节点的多媒体会话预留过资源,从而避免了在优化路径和旧路径共享的节点和链路上进行重复预留而造成的资源浪费.优化路径资源预留的消息流程如图 4 所示.

在第 2.1 节、第 2.2 节的描述中,我们都假定移动节点是会话的接收端.对于移动节点是会话发送端的情况,遵循相似的步骤,由于篇幅所限这里不再详述.

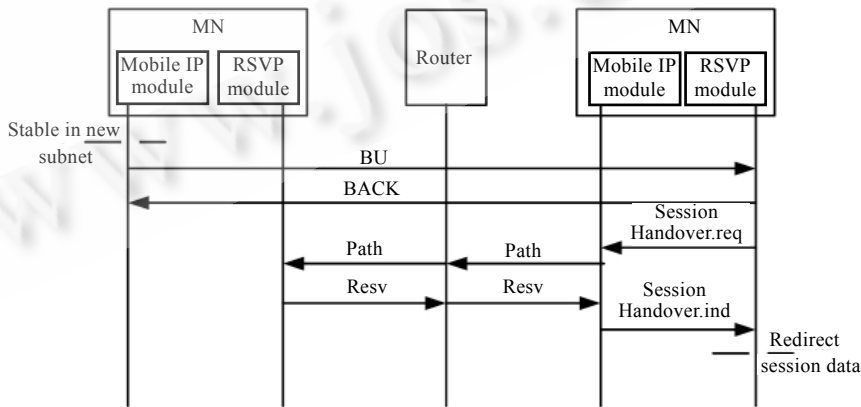


Fig.4 Message flowchart of resource reservation on optimized route

图 4 优化路径资源预留消息流程图

### 1.3 区分不同用户发来的预留请求

经验表明,与阻塞新会话请求相比,用户对中断进行中的会话更加敏感.因而有必要区分不同用户发来的预留请求,给切换用户赋以更高的优先级,从而降低切换导致的服务中断率.

在 Fast RSVP 方案中,每一个 RSVP 路由器都需要预留一部分资源专用于支持切换用户的预留请求.假设 RSVP 路由器的总资源数量为  $C$ ,其中专门预留给切换用户使用的资源量为  $K(K \leq C)$ ,路由器当前已用资源数量为  $N(N \leq C)$ .

当路由器收到预留请求后(假设请求资源数量为  $q$ ),它通过消息类型字段判断该预留请求是包含在 Resv 消息中还是 TunnelResv 消息中,对于包含在 Resv 消息中的预留请求(新用户发送的预留请求或优化路径对应的预留请求),判断  $N+q$  与  $C-K$  之间的大小关系,如果前者小于或等于后者,则准许该请求;反之,如果大于则阻塞该请求.对于包含在 TunnelResv 消息中的预留请求(切换用户发送的预留请求),判断  $N+q$  与  $C$  之间的大小关系,如果前者小于或等于后者,则准许该请求;反之,如果大于则阻塞该请求.

每一个路由器为切换用户实际预留的资源数量  $K$ ,由网络管理者根据不同类型用户会话数量的分布情况灵活确定.

## 2 仿真实验

### 2.1 提前邻居隧道资源预留对会话服务质量的影响

仿真场景如图 5 所示.MN通过无线方式与接入路由器(router 1~router 8)相连,从而接入网络与固定对端CN通信.假定为 T1 链路,带宽为 1.544Mbps,测试业务为语音业务(VoIP),建模为两状态的Markov链<sup>[9]</sup>,静默(silence length)状态和说话(talk spurt length)状态交替进行,均服从参数为 0.65 的指数分布,编码方案是G.711,业务带宽为 64Kbps,背景业务为 3 个FTP业务.在语音通信开始之前,开启 3 个FTP背景业务,FTP业务不进行资源预留,它们的作用仅为占满带宽,从而使得为语音测试业务进行资源预留的必要性得以体现.

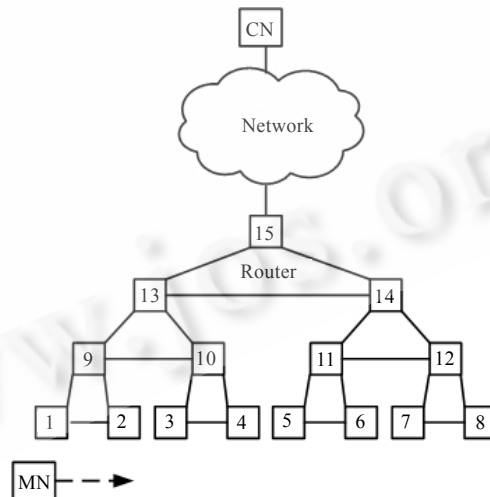


Fig.5 Simulation scenario

图 5 仿真场景示意图

初始时,MN 驻留在 Router 1 小区内,在 120s 左右开始与 CN 之间建立语音通信.此后,MN 向 Router 2 方向移动,并在 240s 左右时发生切换.

图 6 和图 7 分别记录了采用文献[3]所提方案(RSVP tunnel)和本文所提方案(fast RSVP)时,从 CN 发往 MN 的语音数据包时延.可以看出,采用 RSVP Tunnel 方案,语音数据包在 240s~270s 期间延时很大(最大数据包时延

超过 1s,平均时延 0.5s 左右,不满足实时通信的需要).这是因为,在该方案中,当 MN 切换后,需要由 CN 发给 MN 的端到端控制刷新消息来触发资源预留隧道的建立,而控制刷新消息的发送周期为 30s,因而在这段时间内,由于隧道上没有预留资源,导致语音业务的服务质量无法得到保障.而本文所提方案因为在 MN 切换之前就已经为语音业务预留了隧道资源,因而切换后的服务质量仍然可以得到满足(除个别毛刺外,数据包时延控制在 0.2s 以内,满足实时通信的需要).

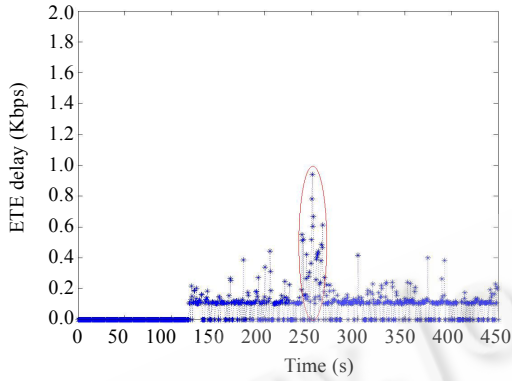


Fig.6 Packet delay of RSVP Tunnel

图 6 RSVP Tunnel 方案的端到端数据包延时

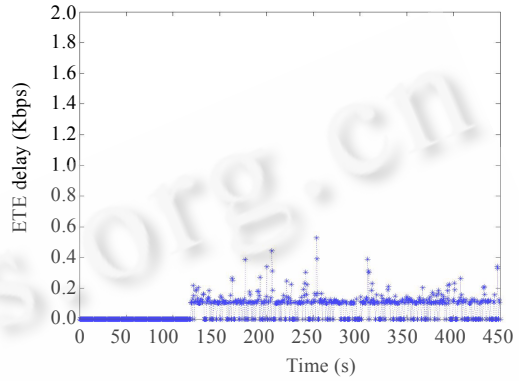


Fig.7 Packet delay of Fast RSVP

图 7 Fast RSVP 方案的端到端数据包延时

RSVP Tunnel 方案的另一个缺点是,当 MN 发生切换后,总是试图建立一条从家乡代理 HA 到当前小区接入路由器之间的多跳隧道,因而 MN 距离家乡越远,资源预留隧道建立时间就越长.而本文方案只需提前建立两个邻居小区之间的资源预留隧道,隧道预留建立时间短,且与 MN 和家乡网络的距离无关.

图 8 描绘了两种方案切换后,服务质量恢复时间随 RSVP 控制消息刷新周期和 MN 离家乡网络距离变化而变化的情况.切换后,服务质量恢复时间定义为切换后语音数据包的平均时延重新降低到 0.3s 以内所需要的时间.图 8 中,X 轴代表 RSVP 控制消息刷新周期,Y 轴表示 MN 和家乡网络的距离(用跳数表示),Z 轴表示切换后服务质量恢复时间.可以看出,RSVP Tunnel 方案的服务质量恢复时间随控制消息刷新周期以及 MN 与家乡距离的增加而增加,而 Fast RSVP 方案的服务质量恢复时间与上述两个因素无关.

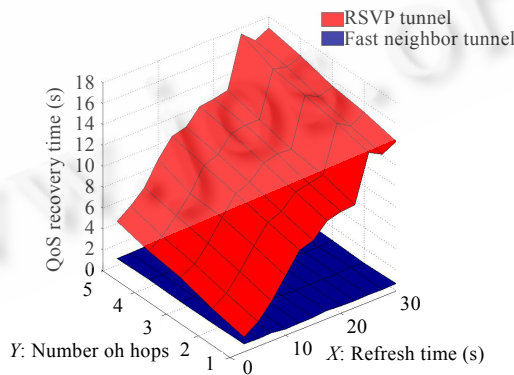


Fig.8 QoS recovery time after handover

图 8 切换后服务质量恢复时间

### 2.2 优化路径资源预留对会话服务质量的影响

图 9 描绘了移动 IPv6 网络中 MN 在新小区分别采用传统 RSVP 方案和本文所提 Fast RSVP 方案进行优化路径上的资源预留后,从 CN 发往 MN 的语音数据包时延.可以看出,传统的 RSVP 方案不能实现移动 IPv6 网络



优化路径上的资源预留,语音数据包的延时很大.这是因为,在传统 RSVP 方案中,当 MN 切换后,CN 的移动 IP 模块收到 MN 的绑定更新消息,但是 RSVP 模块却并不知道切换事件的发生,CN 发给 MN 的 Path 消息中,SESSION 对象填写的仍然是 MN 的旧转交地址.CN 的移动 IP 模块对 Path 消息进行封装,在 IP 头的目的地址字段填入 MN 的新转交地址,在类型 2 的路由头填入 MN 的家乡地址,并发送出去.然而,中间路由器收到 CN 发来的 Path 消息后会先剥离 IP 头再传给 RSVP 模块,从而造成了存放在 IP 头目的地址字段的 MN 新转交地址以及存放在类型 2 路由头中的 MN 家乡地址等信息丢失.当路由器的 RSVP 模块对 Path 消息处理完毕后,它的 IP 层会根据 SESSION 对象的内容重新填写目的地址,从而错误地在 IP 头的目的地址字段填入了 MN 的旧转交地址,导致 Path 消息无法沿优化路径到达 MN 的新位置.此外,在传统 RSVP 方案中,中间路由器处理完 Path 消息后也无法在类型 2 路由头中填入 MN 的家乡地址,这样,即使 Path 消息到达了 MN 也会被 MN 的 IP 层丢弃,从而造成 MN 的 RSVP 模块无法收到关于优化路径上资源预留的 Path 消息,因而就无法建立优化路径上的资源预留.而本文所提方案通过在移动 IP 模块和 RSVP 模块之间传递指示消息,使得 RSVP 模块能够得到 MN 切换后的最新转交地址,并利用该地址构造 MSESSION 对象,在 MSESSION 对象中还记录了 MN 的家乡地址,中间路由器能够利用 MSESSION 对象所包含的地址信息把 Path 消息沿优化路径正确发往 MN 的当前位置,从而建立起优化路径上的资源预留.语音数据包在已预留资源的优化路径上传输时,端到端时延很小,能够满足服务质量需求.

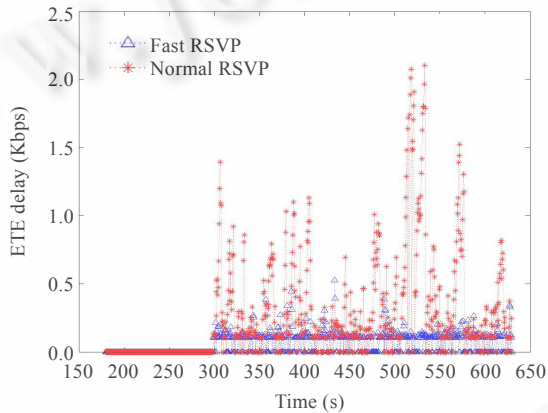


Fig.9 Packet delay on the optimized route  
图 9 优化路径资源预留后的数据包时延

### 2.3 不同隧道策略对网络性能的影响

本节就切换时不使用隧道<sup>[4-6]</sup>、使用家乡隧道<sup>[3]</sup>和使用邻居隧道(本文方案)等不同策略对新呼叫阻塞率、切换呼叫中断率(即掉话率)、总呼叫完成率等网络整体性能指标的影响进行仿真.仿真参数说明如下:新呼叫到达服从参数为 $\lambda_s$ 的泊松分布,通话平均持续时间服从均值  $1/\mu_s$ 的指数分布,系统的总容量为 $C$ ,每个通话平均占用资源量为 $r$ (服从 $r_{\min} \sim r_{\max}$ 之间的均匀分布),系统的负载强度定义为 $\rho=(\lambda_s \times r)/(\mu_s \times C)$ ,切换事件到达服从参数为 $\lambda_h$ 的泊松分布,切换持续时间服从均值  $1/\mu_h$ 的指数分布,定义隧道比例 $\phi$ 为切换后隧道长度与总路径长度的比值(随切换方案的不同而发生变化).定义新呼叫阻塞率 $P_b$ 为新呼叫发起时由于系统资源不足(建立资源预留路径失败)而造成呼叫被拒绝的概率,切换呼叫中断率 $P_f$ 为用户发生切换时由于系统资源不足(建立资源预留路径失败)而造成通话中断的概率,总呼叫完成率 $P_c$ 为用户成功发起呼叫并在多次切换中均未发生中断最后顺利完成一次呼叫的概率.各参数取值为 $\lambda_s=10 \sim 100$ sessions/s, $\mu_s=0.01$ s<sup>-1</sup>, $C=10$ Mbps, $r_{\min}=64$ Kbps, $r_{\max}=2$ Mbps, $\lambda_h=100$ events/s, $\mu_h=0.1$ s<sup>-1</sup>.通过改变 $\lambda_s$ 的值,调整负载强度 $\rho$ ,观察在切换时不使用隧道、使用家乡隧道( $\phi=0.6$ )和使用邻居隧道( $\phi=0.2$ )时新呼叫阻塞率 $P_b$ 、切换呼叫中断率 $P_f$ 和总呼叫完成率 $P_c$ 的变化情况.

仿真时间为一周,仿真结果如图 10~图 12 所示.可见,在通常状况下,新呼叫阻塞率、切换呼叫中断率都随负载强度的增加而增加.采用隧道方案会造成新呼叫阻塞率的轻微上升(家乡隧道最大上升 2%,邻居隧道最大上

升 5%),但同时显著降低了切换呼叫的中断率(家乡隧道最大降低 4%,邻居隧道最大降低 10%).这是因为采用隧道后,可以充分重用原路径上已经预留的资源,因而呼叫因切换而中断的概率会有所降低;与此同时,由于系统的资源更多地被切换呼叫所占据,当系统负载较大时,新呼叫阻塞概率会有有一定的提升.前面讲过,切换呼叫中断率是更为重要的系统参数,故隧道策略对系统总体性能的改善作用是显著的.而本文采用的邻居隧道方案比家乡隧道方案重用已有资源的比重更大,因而对切换呼叫中断率的改善也就最为明显.由图 12 可以看出,总呼叫完成率会随着系统中负载强度的增加而减小,使用隧道会使总呼叫完成率得到改善,这是因为总呼叫完成率和新呼叫阻塞率、切换呼叫中断率均有关.而采用隧道使得切换呼叫中断率显著下降,而新呼叫阻塞率仅在负载强度较大时才稍许上升,因此带来了总呼叫完成率的提升.

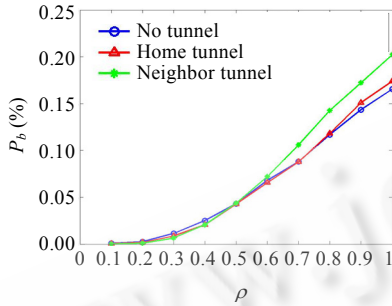


Fig.10 Impact of different tunnel policies on call blocking rate

图 10 不同隧道策略对新呼叫阻塞率的影响

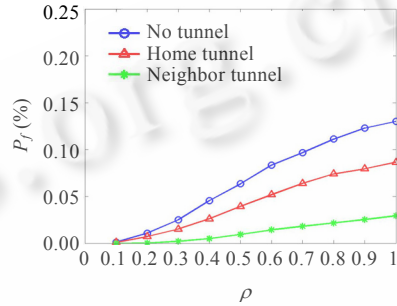


Fig.11 Impact of different tunnel policies on call dropping rate

图 11 不同隧道策略对切换呼叫中断率的影响

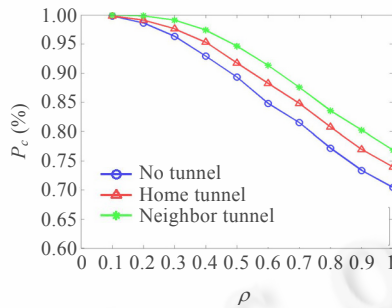


Fig.12 Impact of different tunnel policies on call completion rate

图 12 不同隧道策略对总呼叫完成率的影响

### 2.4 路径融合对网络性能的影响

Fast RSVP方案引入了一项新机制路径融合,它借助MSESSION对象中的家乡地址字段标识移动节点,从而避免了优化路径预留时在新旧路径所共享的节点和链路上进行重复资源预留,提高了网络整体性能.引入新的仿真参数:路径融合比例 $\eta$ (路由优化时新旧路径重合的部分占总路径长度的比例).仿真参数具体数值设置如下: $\lambda_s=10\sim 100$ sessions/s, $\mu_s=0.01s^{-1}$ , $C=10$ Mbps, $r_{min}=64$ Kbps, $r_{max}=2$ Mbps, $\lambda_h=100$ events/s, $\mu_h=0.1s^{-1}$ , $\phi=0.2$ (邻居隧道), $\eta=0.6$ .通过改变 $\lambda_s$ 的值,调整负载强度 $\rho$ ,图 13~图 16 描绘了路径融合技术对新呼叫阻塞率 $P_b$ 、切换呼叫中断率 $P_f$ 、总呼叫完成率 $P_c$ 、优化路径预留成功率 $P_o$ 等网络整体性能指标的影响.

从图 16 可以看出,使用路径融合后,优化路径预留成功率大为提高,维持在 95%以上.这是因为路径融合避免了路由优化过程中在相同路径上进行重复资源预留,使得优化路由建立所需的新资源数量减少,因而更容易成功.同时,从图 13~图 15 可以看出,路径融合技术也带来了新呼叫阻塞率、切换呼叫中断率、总呼叫完成率等系统性能指标的改善.这是因为路径融合提高了路由优化的成功率,而路由优化可以减少三角路由造成的资源

浪费,降低了网络的总资源开销,从而提高了网络总体性能.

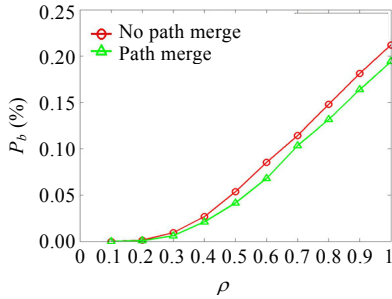


Fig. 13 Impact of path merge on call blocking rate

图 13 路径融合对新呼叫阻塞率的影响

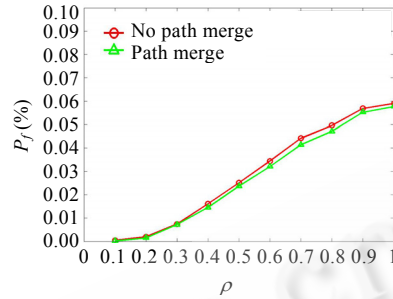


Fig. 14 Impact of path merge on call dropping rate

图 14 路径融合对切换呼叫中断率的影响

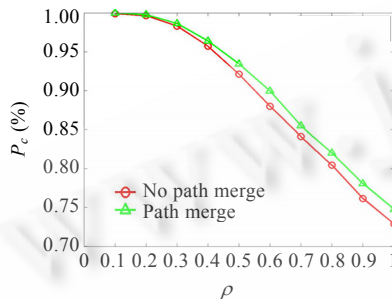


Fig. 15 Impact of path merge on call completion rate

图 15 路径融合对总呼叫完成率的影响

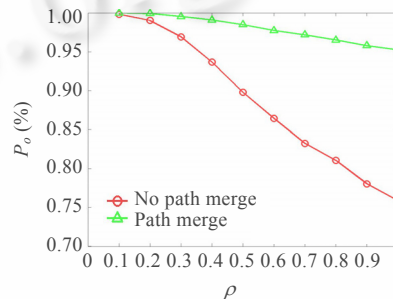


Fig. 16 Impact of path merge on optimized route reservation successful rate

图 16 路径融合对优化路径预留成功率的影响

### 2.5 切换资源预留对网络性能的影响

为了降低切换呼叫中断率,本文所提方案引入了为切换呼叫预留资源的新机制,并就该机制对网络整体性能的影响进行了仿真.引入新的仿真参数:切换预留率 $\zeta$ (为切换呼叫预留的资源数量占总资源数量的比重).仿真参数具体数值设置如下: $\rho=0.8, \lambda_h=100\text{events/s}, \mu_h=0.1\text{s}^{-1}, \phi=0.2$ (邻居隧道),  $\eta=0.6$ (采用路径融合),  $\zeta=0\sim 0.2$ .

图 17 描述了新呼叫阻塞率 $P_b$ 、切换呼叫中断率 $P_f$ 、总呼叫完成率 $P_c$ 随切换预留率 $\zeta$ 变化的情况.可见,随着切换预留率的增加,网络的新呼叫阻塞率会有所上升,切换呼叫中断率会有所下降.这是因为网络中预留了特定资源给切换用户,使得切换呼叫资源预留更容易成功;相应地留给新用户的资源减少,因而新呼叫更易被拒绝.需要注意的是,在本文的仿真环境中,随着切换预留率的增加,总呼叫完成率会有所下降.观察曲线变化趋势会发现,在切换预留率较低时,切换呼叫中断率下降得较快,总呼叫完成率下降得较慢;当切换预留率较高时,切换呼叫中断率下降得较慢,而总呼叫完成率下降得较快.因而在实际系统中,应该根据不同类型呼叫数量的分布情况,确定合适的切换呼叫资源预留量,从而既能降低切换呼叫中断率,又不过分损害新呼叫阻塞率和总呼叫完成率.

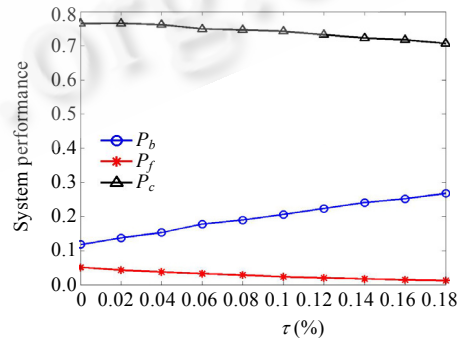


Fig. 17 Impact of reservation for handover calls on the system performance

图 17 切换资源预留对系统性能的影响

### 3 总结和展望

随着移动通信技术的发展和无线传输带宽的增加,在下一代移动 IPv6 网络上承载多媒体业务已成为一种必然趋势.本文针对无线移动网络通信中的多媒体应用,提出了一套新型的适合于移动 IPv6 网络的资源预留方案——Fast RSVP.本方案通过各功能实体上两个不同层次模块(移动 IP 模块和 RSVP 模块)的配合工作,使得移动节点能够实现带有服务质量保证的快速切换,同时,借助于优化路径资源预留、路径融合等新型机制,避免了重复预留和三角路由所造成的资源浪费,提高了网络资源利用率.此外,本文方案中还提出了一种区分不同用户预留请求的机制,使得在不损害网络整体性能的前提下,显著地降低了因为切换造成的通话中断率.通过一系列仿真实验可以看出,与其他同类方案相比,Fast RSVP 在切换后服务质量恢复时间、切换通话中断率、总呼叫完成率、优化路径预留成功率等系统性能指标上有明显的改进.

#### References:

- [1] Johnson D, Perkins C, Arkko J. Mobility support in IPv6. RFC 3775, 2004.
- [2] Braden R, Zhang L. Resource reservation protocol (RSVP)—Version 1 functional specification. RFC 2205, 1997.
- [3] Terzis A, Krawczyk J, Wroclawski J, Zhang L. RSVP operation over IP tunnels. RFC 2746, 2000.
- [4] Talukdar AK, Badrinath BR, Acharya A. MRSVP: A resource reservation protocol for an integrated services network with mobile hosts. *Wireless Networks*, 2001,7(1):5–19.
- [5] Chen W, Huang L. RSVP mobility support: A signaling protocol for integrated services Internet with mobile hosts. In: Proc. of the INFOCOM. 2000. 1283–1292. <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/6725/17999/00832519.pdf?tp=&number=832519&isnumber=17999>
- [6] Jeon H, Kim M, Lee K, Mo J, Lee D. Link layer assisted multicast-based mobile RSVP (LM-MRSVP). In: Proc. of the ICOIN 2005. LNCS 3391, Springer-Verlag, 2005. 452–462. <http://www.springerlink.com/content/fck9jmmq3u551x1f/fulltext.pdf>
- [7] Tseng C, Lee G, Liu R, Wang T. HMRSVP: A hierarchical mobile RSVP protocol. *Wireless Network*, 2003,9(2):95–102.
- [8] Hua B, Xiong Y, Cai CJ. Research of RSVP extension in wireless mobile networks based on 3GPP2 framework. *Acta Electronica Sinica*, 2002,30(12A):2111–2114 (in Chinese with English abstract).
- [9] Goodman DJ, Wei SX. Efficiency of packet reservation multiple access. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 1991,40(1): 170–176.

#### 附中文参考文献:

- [8] 华蓓,熊焰,蔡承杰.基于 3GPP2 框架的无线移动网络的 RSVP 扩展研究.电子学报,2002,30(12A):2111–2114.



孙毅(1979—),男,山东青岛人,博士生,主要研究领域为下一代互联网,移动网络服务质量保证机制.



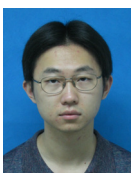
方更法(1976—),男,博士生,主要研究领域为调度算法,移动网络服务质量保证机制.



张玉成(1981—),男,硕士,主要研究领域为移动 IP,移动预测算法.



石晶林(1972—),男,博士,研究员,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为下一代网络,无线通信.



冯斌(1982—),男,硕士,主要研究领域为移动切换.



Dutkiewicz Eryk(1964—),男,博士,教授,主要研究领域为移动网络服务质量保证机制,移动计算.