

---

# 基于层次化管理的流透明移动 IPv6 QoS 解决方案<sup>1</sup>

陈 阳 杨寿保 何 涛 孙伟峰  
(中国科技大学计算机科学技术系, 合肥, 230026)

**摘要** 针对目前移动 IPv6 环境下的 IntServ/RSVP 模型在处理移动节点切换时的不足, 本文提出了一种基于层次化移动管理的流透明移动 IPv6 QoS 模型, 简称为 HMMFT 移动 IPv6 QoS 模型。这种模型显著地减少了移动节点发给通信节点与家乡代理的绑定更新消息, 提高了 MIPv6 的切换速度, 同时基于移动节点的区域转交地址来标识流, 实现了域内切换的流透明。本文的最后利用 NS2 对 HMMFT 移动 IPv6 QoS 模型性能的优越性进行了仿真分析。

**关键词** 服务质量, 资源预留协议, 流透明, 层次化移动管理

## Hierarchical Mobility Management-based Flow Transparent Mobile IPv6 QoS Solution

CHEN Yang YANG Shoubao HE Tao SUN Weifeng  
(Department of Computer Science, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026, China)

**Abstract** Because the existing mobile IPv6 IntServ/RSVP model lacks the ability to handle mobile node's handoff, This paper introduces a new Mobile IPv6 QoS Model, named Hierarchical Mobility Management-based Flow Transparent Mobile IPv6 QoS Model(the HMMFT Mobile IPv6 Model). The hierarchical mobility management will reduce the amount of signaling to correspondent nodes and the home agent and may also improve the performance of MIPv6 in terms of handoff speed. The HMMFT Mobile IPv6 Model identifies a flow based on the regional care-of address, thus implements flow transparent when mobile node performs a handoff in a MAP domain. At last, we also analyze the performance of this model using the Network Simulator 2(NS2).

**Key Words** Quality-of-Service, RSVP, Flow Transparent, Hierarchical Mobility Management

---

<sup>1</sup>本文得到国家 863 项目 (编号: 2001AA121041) 的资助。

作者简介: 陈 阳: 男, 硕士研究生, 研究方向: 移动 IPv6、计算机体系结构。杨寿保: 教授, 博士生导师, 研究方向: 计算机网络及应用。何 涛: 男, 深圳华为有限公司。孙伟峰: 男, 硕士研究生, 研究方向: 移动 IPv6、计算机体系结构。

## 1、引言

Internet 正以惊人速度发展，不久的将来 IPv6 协议将取代 IPv4 成为下一代网络层协议。与此同时，在 WLAN、CDMA、CDPD、GPRS 等无线通信技术和协议的推动下，出现了许多新的无线网络产品和服务，移动 Internet 正逐步成为现实。

随着实时业务的与日俱增，数据传输对时延、带宽等的要求越来越高。目前的问题是将实时业务引入到移动网络条件下，这就对移动网络条件下提供确定的服务质量提出了新的要求。

然而，利用现有的移动 IPv6 协议与 RSVP 结合无法很好的解决节点移动时的服务质量。针对这个问题，本文提出了一个基于层次化管理的、能够保证流透明的移动 IPv6 QoS 模型。

本文分四部分，第二部分先简单介绍普通的移动 IPv6 与 IntServ/RSVP 的结合，并指出其中的问题，第三部分给出我们提出的方案，第四部分是对方案进行的仿真分析，最后是总结与展望。

## 2、移动 IPv6 与 IntServ/RSVP 的结合

IPv6 协议是下一代 Internet 协议，它继承了 IPv4 协议的优点，并根据 10 多年来对 IPv4 运用的经验进行了大幅度的功能扩展。移动 IPv6 (MIPv6) 是对 IPv6 协议的扩充，它着重增加了节点移动性的支持，其目的是为实现节点位置移动对上层的透明性。IntServ/RSVP 最初是被设计为基于固定网络上的 QoS 模型之一，为了支持移动性，必须对 IntServ/RSVP 进行扩展。

### 2.1 IntServ/RSVP 中的流和流透明

流是 IntServ/RSVP 中的重要概念，一个流指的是从特定的源端发往特定的目的端的一系列数据包，流的源端希望这些数据包得到传输路径上的路由器的特殊处理，RSVP 以流为单位来进行资源的预留。

所谓流透明指的是移动节点下层的移动性对于网络层的流处理机制是透明的，在节点固定的网络之中，节点的位置固定不变，流透明很容易得到保证，但在节点可以移动的网络中，由于移动节点的地址会随着节点移动发生变化，即节点作为源端或目的端的位置不固定，

所以实现流透明就比节点固定的网络中要复杂的多。

如果移动环境下能够保证流透明，那么节点移动之后仍然能够沿用移动前后的公共路径上已预留好的资源，仅仅在改变的路径上应用 RSVP 进行资源预留。如果不能保证流透明，由于老的预留没有及时拆除，在新路径上也许就没有足够的资源再为这条新的流进行资源预留，即使有资源，重新预留也会产生资源的浪费，而且重新预留的延迟是无法避免的。因此，流透明的移动性支持是我们实现移动 IPv6 环境下 QoS 保证的基本要求之一，为了实现流透明，首先我们必须对原有基于节点固定网络的 IntServ/RSVP 进行扩展。

### 2.2 移动 IPv6 对 IntServ/RSVP 信令的扩展

移动 IPv6 对 QoS 的支持主要表现在流标记 (Flow Label) 域，流标记基本上是按位产生的伪随机数，在一定的时间值内，源端不能重用流标记。流标记为 0 指示这个包不属于任何流。而 RSVP 和综合服务在 IPv4 和 IPv6 环境下最大的不同就是引入了流标记域。在 IPv6 环境下的 RSVP 中，PATH 消息中的 SEND\_TEMPLATE 对象应当包括流标记，RESV 消息中的 FILTER\_SPEC 对象也应当包括流标记。图 2-1 是一个携带流标记的 FILTER\_SPEC 对象。

Length	Class-Num	C-Type
IPv6 SrcAddress(128 bits)		
(Reserved)	Flow Label (20 bits)	

图 2-1 携带流标记的 FILTER\_SPEC 对象

### 2.3 移动 IPv6 与 RSVP 的交互操作中的问题

普通的移动 IPv6 与 RSVP 结合，在标识流时，有两种方式：一种是基于移动节点的家乡地址来标识流的源端或者目的端；另一种方式是用移动节点的转交地址来标识流的源端或者目的端。但不论是那种方式，都存在一些问题：

如果使用移动节点的家乡地址来标识流，则可能会出现包分类的不匹配问题，预留路径上中间路由器的包分类将可能是基于移动节点的家乡地址而不是基于移动节点的转交地址。因此该方法是不可行的。

如果用移动节点的转交地址 COA 来标识流，当移动节点移动到另一个子网时，携带了新的转交地址的 PATH 消息与 RESV 消息将会

触发预留路径上的路由器进行新的资源预留，而不是重用原来的资源预留，即使新路径只是在旧路径基础上的简单更改。

因此，无论移动节点作为源端或目的端，都必须在切换后的新路径上重新进行资源预留。除了移动节点作为目的端并且使用（源地址、流标记）来标识流这种情况外，切换后无法保持同样流标识符的数据流其实仍然是移动节点与通信节点之间的同一个流，即普通的移动 IPv6 与 RSVP 结合是不能实现流透明的。

#### 2.4 当前 QoS 模型及其不足

针对移动 IPv6 QoS 模型的上述不足之处，很多人通过对移动 IPv6 和 RSVP 进行扩展，提出了一些改进的移动 IPv6 QoS 模型。其中包括新加坡国立大学 Charles Qi Shen 提出了“流透明的移动 IPv6 QoS 模型”，德国柏林工业大学的 Xiaoming Fu 提出了“移动 IPv6 基于条件的 QoS 切换模型”等。

Charles Qi Shen 的方法为了实现流透明，把移动节点发出的包的“家乡地址选项”的存放位置由目的地选项头标改为中继点选项头标（Hop-by-Hop Option Header），需要路径上所有的中间路由器都要对每个包的中继点选项头标进行检查，特别是当路径经过的路由器非常多时代价很大，因此这种移动 IPv6 QoS 模型没有可扩放性（scalability）。

Xiaoming Fu 的方法采用了基于层次化管理的 QoS 条件切换机制，减少了域内切换时的信令的数目，但只是提出了一种框架，并没有具体的 QoS 处理机制。而且他的机制中没有考虑流透明。

### 3、基于 HMIPv6 的 HMMFT MIPv6 QoS 模型

我们提出一种新的移动 IPv6 与 RSVP 交互操作模型，这种模型基于层次化的移动管理，并支持流透明。我们简称这种移动 IPv6 QoS 模型为 HMMFT 移动 IPv6 QoS 模型(Hierarchical Mobility Management-based Flow Transparent Mobile IPv6 QoS Model)。

#### 3.1 层次化管理简介

据法国 INRIA 公司的研究表明，在通常的移动中，有 69% 的移动是在一个域内移动。由此产生了层次化移动管理的思想，层次化移动 IPv6 是移动 IPv6 的扩充，引入了一种叫 MAP

(Mobility Anchor Point) 的功能实体。MAP 可以使移动 IPv6 的绑定消息处理限制在本地区域内，并使得在 MAP 域内部节点的移动性对通信节点保持透明。

#### 3.2 基于 HMIPv6 的 HMMFT MIPv6 QoS 模型分析

下面讨论我们提出的基于层次化管理的 IPv6 QoS 模型如何实现流透明。我们将分两种情况来讨论，一种情况是移动节点作为流的源端，另一种情况是移动节点作为流的目的端。

##### (1) 移动节点作为源端

当移动节点作为源端时，如图 3-1a 所示，移动节点原来在从路由器 AR1 接入的子网 1 内。在层次化的移动管理模型下，移动节点此时拥有两个转交地址，区域转交地址 RCoA 和链路相关转交地址 LCoA1，简单记为 (RCoA, LCoA1) 地址对。移动节点发送区域绑定更新消息向 MAP 注册移动节点的 (RCoA, LCoA1) 绑定，同时移动节点也向家乡代理和通信节点发送绑定更新消息，通知家乡代理和通信节点它当前的家乡地址与区域转交地址 RCoA 的绑定信息。

如果移动 IPv6 环境下的 RSVP 支持流标记，即扩展的 RSVP，我们可以采用 (RCOA, Flow Label) 来标识一个流，这个二元组将在 RSVP 的 PATH 消息被包含。当 MN 在这个 MAP 所辖的域内移动时，RCOA 不会改变。设在移动之前，移动节点和通信节点之间的路径上资源已预留好。

当移动节点移动切换到由路由器 AR2 接入的子网 2 时，通过无状态地址自动配置方式形成一个新的链路相关转交地址 LCoA2，同时移动节点从路由器公告中携带的 MAP 选项知道自己仍然处在同一个 MAP 域内。

移动节点此时需要发送区域绑定更新消息向 MAP 注册它当前的 LCoA2，同时移动节点向通信节点发送 PATH 消息。这个 PATH 消息到达 MAP，MAP 发现自己缓存的路径状态中前一跳 PHOP 与收到的这个 PATH 消息中 RSVP\_HOP 对象指定的 PHOP 不一样，于是 MAP 触发本地修补(Local Repair)机制，向移动节点发送 RESV 消息预留新路径的新增加部分（即从移动节点的 LCoA2 到 MAP）。在新路径的资源预留过程中，流的标识符 (RCoA, Flow

Label) 始终没有改变,这样就实现了流透明。

以上我们讨论了移动节点作为流的源端时的 RSVP 消息处理过程,从讨论得知基于移动节点的区域转交地址 RCoA 来标识流,可以实现流透明。由于实现了流透明,在移动节点在 MAP 域内切换到一个新的子网后,只需要对新路径的新增加部分(即从 MAP 到移动节点)进行 RSVP 更新。

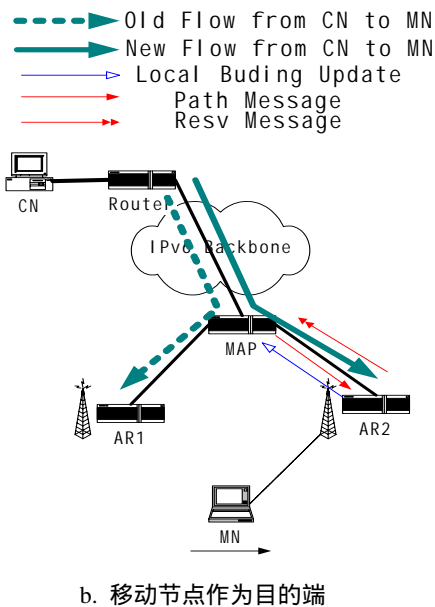
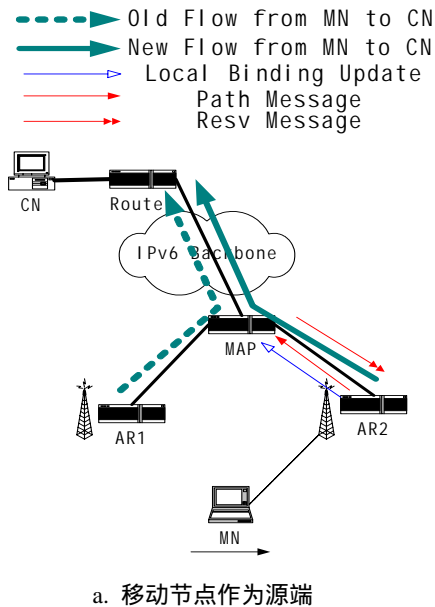


图 3-1 基于层次化管理的 IPv6 QoS 模型

(2) 移动节点作为目的端

当移动节点作为流的目的端时,如图 3-1b 所示,开始移动节点拥有 (RCoA, LCoA1)地址对。如同移动节点作为流的源端的情况一样,移动节点发送局部绑定更新消息向 MAP 注册

(RCoA, LCoA1)的绑定信息,同时移动节点也向家乡代理和通信节点发送全局绑定更新消息,通知家乡代理和通信节点它当前的家乡地址与区域转交地址 RCoA 的绑定信息。

此时,CN 向 MN 发送的数据要经过 MAP 的封装,然后再发送给 MN。如果 IPv6 环境下的 RSVP 支持流标记,我们可以采用二元组(CN Addr, Flow Label)来标识具体的流,其中 CN Addr 是通信节点的地址,Flow Label 是流标记。和移动节点作为源端的情况相似,通信节点构造 PATH 消息中将包含这个二元组。我们同样设移动节点利用 RESV 消息在这条路径上成功的进行了资源预留。

当移动节点在一个 MAP 域内切换到由路由器 AR2 接入的子网 2 时,移动节点发送区域绑定更新消息向 MAP 注册它当前的 LCoA2。MAP 接收到区域绑定更新消息时,知道移动节点发送了切换。由于 PATH 消息的 SESSION 对象中的目的地址是 RCoA,MAP 可以根据 RCoA 在路径状态中找到相应的 PATH 消息。需要指出的是由于会话是由目的地址与端口号决定的,根据 RCoA 找到的 PATH 消息有可能有多个,这些 PATH 消息都属于目的地址为移动节点的会话。MAP 把与 RCoA 对应的所有 PATH 消息发往移动节点的当前地址,即 LCoA2。移动节点接收到 PATH 消息后,往通信节点发送 RESV 消息,由于 RSVP 的合并(Merge)功能,这个预留过程会在 MAP 处结束,这样就在新路径上的新增加部分上进行了预留资源。

因此,当移动节点作为目的端时,采用流标记扩展的 RSVP 协议同样可以利用二元组(CN Addr, Flow Label)来标识流,当 MN 在域内的子网间切换时,流的标识不会发生改变,从而达到流透明。

综合上述(1),(2),我们可以看出,无论移动节点作为源端或者是目的端,我们都可以采用基于层次化管理的、使用流标记扩展的 RSVP,并且以相应的二元组来标识流,就可以达到流透明。此外,在域内移动时,切换时的绑定更新和应答数目较不采用层次化管理机制的减少了一倍,而且 MN 向 MAP 绑定的距离往往比向 CN 或家乡代理的距离要近得多,这就使得绑定的延迟明显的降低了。

### 3.3 进一步的讨论

当移动节点 MN 与通信节点 CN 处于一个 MAP 域内时,通信节点可以与移动节点的链路相关转交地址 LCoA 直接通信,而不用经过 MAP 的转发,可以直接用移动节点的 LCoA 与通信节点的地址来标识流。

当移动节点切换到新的 MAP 域时,移动节点将会获得新的 RCoA,这时情况的处理就如同没有层次化支持的移动 IPv6 QoS 一样,通常来说 MN 都在一个区域的范围内移动,切换到新的 MAP 域的几率是比较小的。

如果 MAP 所辖域的范围比较大,由于 MAP 的职能较多,很可能成为整个域的瓶颈,我们可以设想将 MAP 的各个职能分开,将他们各自独立,比如将 MN 的绑定信息专门交给域内的地址绑定服务器来处理,将一个 MAP 分成多个,各自司职域的不同部分,这就形成了域内的多个 MAP,并将 CN 发往 MN 的包由 MAP 截获 Tunnel 到 MN 的方式改为由 MAP 路由到 MN,以减轻 MAP 的负担。

### 4、仿真分析

本章将对我们提出的基于层次化管理的流透明移动 IPv6 QoS 模型进行仿真分析,并与非层次化管理的、基于移动节点转交地址的模型进行比较。我们分别把这两种模型简称为 HMMFT 模型与 non-HMMFT 模型。

模拟是在 Network Simulator 版本 2(NS2)上进行的。网络模拟环境如图 4-1 所示,其中 0 是通信节点, MN 是移动节点, 2、3、4、5 是接入路由器,同时也是基站, 1 是网络中的一个路由器,也是 MAP。对于这个网络环境,我们假定移动 IPv6 的移动检测时间为 0,即移动节点切换到另一个小区后可以马上获得一个新的转交地址。同时,我们还假定一种理想化的无线信道,即数据包在无线信道传递时没有延时、丢包和阻塞现象。

所有的链路带宽都是 1Mbps,节点 0 到节点 1 的链路延时是 30ms,其它的链路延时是 5ms。模拟开始时,有 4 个尽力而为(best-effort)的没有 QoS 保证的数据流从节点 0 分别发往 2、3、4、5 四个节点,数据流的速率是 500kbps,数据包的大小是 500 字节。节点 0 同时有一个实时应用数据流发往移动节点 MN,当移动节点在基站 2 小区内时,移动节点 MN 和节点 0 之

间已经为这个实时应用数据流进行了资源预留。实时应用数据流的速率也是 500kbps,数据包的大小是 500 字节。移动节点从左往右移动,100s 时在基站 2 小区内,过了 10 秒后(即 110s 时)从基站 2 小区切换到基站 3 小区,以后每过 10s 切换到下一个小区。

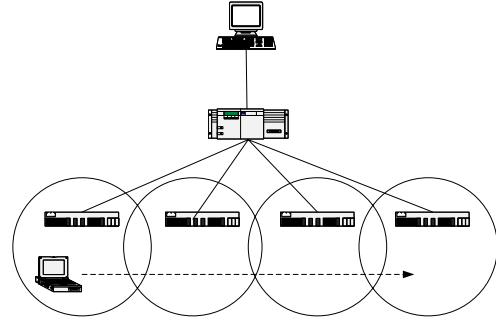


图 4-1 模拟网络环境

下面我们分别给出移动节点绑定更新延时、RSVP 消息处理延时、实时应用数据包延时三个参数在 HMMFT 模型与 non-HMMFT 模型下的形式化分析和仿真结果：

#### ● 绑定延迟：

在 non-HMMFT 模型中,移动节点切换后的绑定更新延时可以用公式(1)计算:

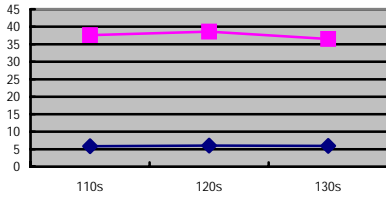
$$D_{binding\_update} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{S_{binding\_update}}{BW_{link(i)}} + D_{link(i)} \right) \quad (1)$$

其中,  $S_{binding\_update}$  是绑定更新包的大小,  $n$  是从移动节点到通信节点所经过的链路数目,  $BW_{link(i)}$  是第  $i$  条链路的带宽,  $D_{link(i)}$  是第  $i$  条链路的链路延时。

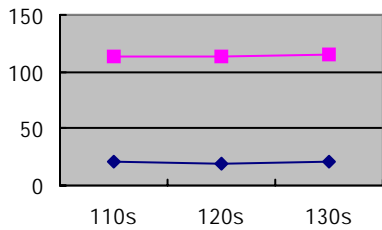
在 HMMFT 模型中,绑定更新延时可以用同样的公式进行计算,只需要把  $n$  参数换成  $m$  即可,如下所示:

$$D_{binding\_update} = \sum_{i=1}^m \left( \frac{S_{binding\_update}}{BW_{link(i)}} + D_{link(i)} \right) \quad (2)$$

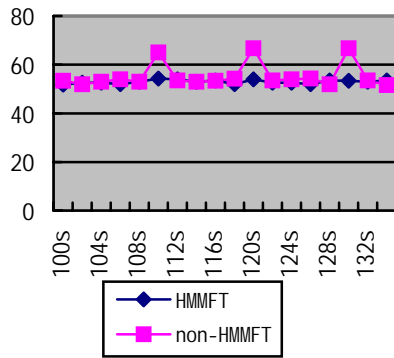
因为  $m \ll n$ ,如图 4-2a 所示, HMMFT 模型的绑定更新延时比 non-HMMFT 模型 45-50ms 小得多,一般只有 5-7ms。



a. 绑定更新延时



b. RSVP 消息处理延时



c. 数据包延时 (纵坐标的单位是 ms)

图 4-2 NS2 模拟的三个 QoS 参数

● RSVP 消息处理延时

切换后的 RSVP 消息处理延时,指的是移动节点切换后进行新路径上的资源预留所需要的延时,这可以用如下公式进行衡量:

$$D_{rsvp} = T_w + D_{path} + D_{resv} \quad (3)$$

其中  $T_w$  是在 PATH 消息发出前需要等待的时间,  $D_{path}$  和  $D_{resv}$  分别是在新路径上传输和处理 PATH 消息与 RESV 消息的延时。

当移动节点作为流的源端时,  $T_w$  可以认为等于 0。

在移动节点作为流的目的端时,在 non-HMMFT 模型中,  $T_w$  可以用公式(1)来衡量。在 HMMFT 模型中,  $T_w$  可以用公式(2)来衡量。

如果忽略中间路由器的 QoS 模块处理消息的时间,  $D_{path}$  可以近似地用如下公式来计算:

$$D_{path} = \sum_1^k \frac{S_{path}}{BW_{rsvp}} \quad (4)$$

其中  $S_{path}$  是 PATH 消息的大小(在 IPv6 中是 164 字节),  $BW_{rsvp}$  是为所有 RSVP 消息预留的带宽,这在所有的链路中都是一样的,  $k$  是 PATH 消息所经过的链路的数目。在 HMMFT 模型中,  $k$  取值  $m$ , 在 non-HMMFT 模型中,  $k$  取值  $n$ 。显而易见, HMMFT 模型中的  $D_{path}$  远小于 non-HMMFT 模型中的  $D_{path}$ 。  $D_{resv}$  的计算同  $D_{path}$  一样, 易见, HMMFT 模型中的  $D_{resv}$  远小于 non-HMMFT 模型中的  $D_{resv}$ 。

NS2 的模拟结果如图 4-2b 所示, HMMFT 比 non-HMMFT 模型的 RSVP 消息处理延时 120ms 小得多, 只有 20ms 左右。

● 切换过程中的数据包延时

数据包的延时可以用如下公式进行估算:

$$D_{pkt} = \sum_{i=1}^k \frac{S_{pkt}}{BWR_i} + \sum_{j=1}^n D_{link[j]} \quad (5)$$

流的路径上阻塞的链路的数目是  $k$ ,  $S_{pkt}$  是数据包的大小,  $BWR_i$  是第  $i$  条链路上预留的带宽,  $n$  是从通信节点到移动节点的流路径上的链路数目,  $D_{link[j]}$  是第  $j$  条链路上的链路延时。这个公式忽略了数据包在不发生阻塞的链路上的延时, 这是因为正常情况下这一部分延时非常小。对于 HMMFT 模型或 non-HMMFT, 由于公式的后一项是一样的不同的是阻塞链路上的带宽。在 HMMFT 模型中, 由于在切换后的流路径上重新进行资源预留的链路要少得多, 在 HMMFT 模型中, 切换过程中数据包的延时  $D_{pkt}$  非常小。在 non-HMMFT 模型中, 由于切换后的流路径上资源预留的延时非常大, 所以这时如果有  $k$  条链路发生阻塞, 那么这  $k$  条链路中可能很多数据流不能获得预留的带宽  $BWR_i$  (也可以认为  $BWR_i$  变得非常小), 因此, 在 non-HMMFT 模型中, 切换过程中数据包的延时  $D_{pkt}$  将变得非常大。如图 4-2c 所示, NS2 模拟的结果也验证了 HMMFT 模型的优势。

从仿真的结果来看, 在三个关键的 QoS 参数--绑定更新延时、RSVP 消息处理延时、实时应用数据包延时上的比较上, HMMFT 模型的性能都优于 non-HMMFT 模型。这说明我们提出的 HMMFT 移动 IPv6 QoS 模型能够有效的

---

保证移动 IPv6 环境下的 QoS。

## 5、总结与展望

本文我们首先对移动 IPv6 协议以及 IntServ/RSVP 模型进行了分析,然后分析了移动 IPv6 协议与 RSVP 协议交互工作时可能出现的问题,最后提出了一种新的移动 IPv6 环境下基于 RSVP 的 QoS 控制模型,即基于层次化移动管理的流透明移动 IPv6 QoS 模型。通过对这种模型进行仿真分析,结果表明它可以有效的保证移动 IPv6 环境下移动主机(例如智能移动电话)的服务质量。

未来的工作是希望在独立出 MAP 的各个功能的基础上,进一步进行移动 IPv6 与 RSVP 信令合并方面的研究。其它比如在域内加入 AAA 管理、信令控制等与 QoS 联系紧密的问题也有待进一步解决。

### 参考文献

- [1] D.Johnson,C. Perkins,. Mobility Support in IPv6,INTERNET-DRAFT, November 2000
- [2] R. Braden , L. Zhang, RFC 2209 Resource ReSerVation Protocol (RSVP) -- Version 1 Message Processing Rules, September 1997
- [3] M. Thomas, Analysis of Mobile IP and RSVP Interactions, INTERNET-DRAFT, February 2001.
- [4] Stefan Schmid , RSVP Extensions for IPv6 Flow Label Support , INTERNET-DRAFT, August 1998
- [5] X. Fu, H. Karl, C. Kappler, QoS-Conditionalized Handoff for Mobile IPv6 , Pisa: Networking 2002 , May 2002
- [6] Q. Shen, A. Lo, W. Seah , Performance Evaluation of Flow Transparent Mobile IPv6 and RSVP Integration, Florida USA :Proc. SCI/ISAS 2001,July 2001
- [7] Hesham Soliman , Hierarchical MIPv6 mobility management (HMIPv6) ,INTERNET-DRAFT ,July 2001

### 联系地址

陈 阳 [chen9999@mail.ustc.edu.cn](mailto:chen9999@mail.ustc.edu.cn)

杨寿保 [syang@ustc.edu.cn](mailto:syang@ustc.edu.cn)

何 涛 [riverhe@mail.ustc.edu.cn](mailto:riverhe@mail.ustc.edu.cn)

孙伟峰 [wfsun@mail.ustc.edu.cn](mailto:wfsun@mail.ustc.edu.cn)

安徽合肥中国科大网络中心 230026

电话:0551-3603029

传真:0551-3603143