

# 无线网络中移动 IPv6 头标压缩的研究与实现

洪佩琳, 覃振权, 李津生

(中国科学技术大学 电子工程与信息科学系, 安徽合肥 230026)

**摘要:** 移动 IPv6 分组头标的较大开销降低了其在无线网络上的传输效率. 为了提高移动 IPv6 在无线网络上的传输效率, 本文提出了基于鲁棒性头标压缩的移动 IPv6 头标压缩协议, 仿真结果表明了该协议的有效性, 最后给出了头标压缩在 PDA 上的实现流程.

**关键词:** 移动 IPv6; 头标压缩; 无线网络

**中图分类号:** TN929. 5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372 2112 (2004) 12A-026-04

## The Study and Implementation of Mobile IPv6 Header Compression in Wireless Networks

HONG Pei lin, QIN Zhen quan, LI Jin sheng

(Dept. of EETS, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China)

**Abstract:** The larger overhead of mobile IPv6 reduces the transmission efficiency of wireless networks. This paper presents a compression profile for mobile IPv6 based on the Robust Header Compression in order to increase the efficiency of wireless networks. The simulation performance is showed that the profile is efficient for mobile IPv6. The implementation of mobile IPv6 header compression in PDA is described.

**Key words:** mobile IPv6; header compression; wireless networks

### 1 引言

随着无线网络技术的不断发展,越来越多的用户将通过无线接入访问 Internet. 近年来,无线局域网(IEEE 802. 11)、无线城域网(IEEE 802. 16)已被标准化,无线广域网(IEEE 802. 20)标准也即将出台. 无线网络的传输速率越来越高,覆盖范围越来越大,已引起了广泛的关注. 无线网络作为有线网络的扩展,给互联网的部署带来了极大的方便. 通过无线接入点,人们可以使自己的笔记本、PDA 等数字产品不受时空限制就能高效灵活地接入互联网,从而实现移动办公、娱乐等业务. 因而,Internet 不仅要提供已有的数据业务、多媒体音视频业务,还将实现移动 Internet 的功能,为移动用户提供无线的 Internet 接入业务.

为了保证移动节点在跨越子网移动时的通信连续,无线 Internet 需要支持移动 IP 协议. 移动 IP 通过扩展分组头标和注册报文,使得无论移动节点的位置如何,其他节点都可以用移动节点的固定 IP 地址(即移动 IP 中的本地地址, Home Address)和它进行通信. 为了实现在 Internet 全网上的移动性,需要给移动节点分配全局唯一的 IP 地址. 由于用户数的爆炸式增长,IPv4 地址已经出现地址空间危机,如果大量移动设备使用 IPv4 协议,那必将出现 IP 地址不够用的局面. 因此在移动互联网上迫切需要采用 IPv6 协议.

移动 IPv6 协议经过 24 版修改后终于形成了技术标准<sup>[1]</sup>,

由于 IPv6 协议提供的巨大地址空间及即插即用的动态地址配置机制,使得移动节点(MN: Mobile Node)移动到外地网络时可以方便地获得转交地址(CoA: Care of Address). 移动节点将新获得的转交地址与唯一标识自己的本地地址(Home Address)绑定后生成绑定更新报文,然后向本地代理(HA: HomeAgent)和通信对端(CN: Correspondent Node)发送绑定更新报文,这样,本地代理和通信对端便可以得知移动节点当前所在的外地网络和它的转交地址,实现与移动节点的通信.

### 2 移动 IPv6 的头标压缩

在移动 IPv6 协议中规定,移动节点(MN)向通信对端(CN)发送分组时,IPv6 分组头标中的源地址为 MN 的转交地址. 为了在分组中包含唯一标识 MN 的本地地址, MN 发送的分组应包含本地地址的信宿选项头标(Destination Option Header). 而 CN 发给 MN 的分组则采用寻路头标(Routing Header)的方式,即分组的目的地地址为 MN 的转交地址,寻路头标中含有 MN 的本地地址. 如图 1 所示. 为方便起见,我们将 MIPv6 协议中规定的这两个头标通称为 MIPv6 头标.

相对于有线网络,无线网络的传输速率较低、误码率较高,在无线网络上传输 IPv6 分组,头标的开销显得过大,这对于实时话音的传输尤为突出. 例如,一帧音频数据净荷通常只有 15~32 字节,而在移动 IPv6 环境中传输该数据需要 40 字节的 IPv6 头标、20 字节移动 IPv6 头标、8 字节的传输层用

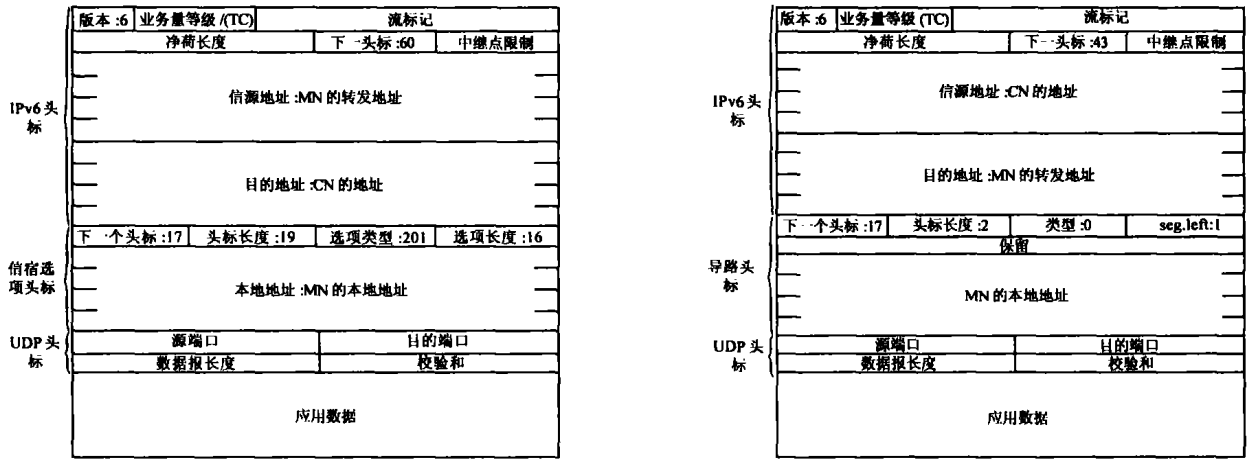


图 1 移动节点发送(左图)和接收(右图)的分组格式

户数据报协议(UDP)头标,UDP/MIPv6/IPv6 的头标开销总共是 68/72 字节,如果通信对端也是 MN,那么分组的 UDP/MIPv6/IPv6 加在一起的头标开销有 92 字节。这不仅占用带宽,同时还使分组因出错而被丢弃的概率增大。

事实上,在传输过程中,同一个数据流的分组的 IPv6 头标有很多域是相同的,动态变化的部分只有少数几个域。此外,MIPv6 头标中的每个域都是静态不变的。因此,如果在无线链路上仅仅在数据流开始时发送完整的 MIPv6 分组及相应的选项头标,后续分组的头标域只传输变化的部分和相对于同一个流的关联(context),这样就可以更加有效的利用带宽。

由于头标压缩需要对压缩方和解压方的状态进行保留,因此,头标压缩只适用于持续时间较长、有多个分组的数据流,对于单个分组头标压缩没有意义。一般来说,实时的音频、视频流都是以 UDP 报文的形式发送长数据流,所以,可对 MIPv6 分组中的 UDP/MIPv6/IPv6 头标进行压缩。IPv6 数据流中分组的头标中有很多域都是不变的(如源/目的地址、源/目的端口号等),称为静态域,有些域如业务量等级、中继点限制,偶尔会发生改变,有些域是作不规则的变化(如 UDP 的校验和)。压缩时首先对头标中的各个域进行分类,对不同类型的域采用不同的压缩方法\*。下面分析 IPv6 头标和 UDP 头标中的静态域和动态域:

(1) IPv6 头标

	域
静态	版本,流标记,下一个头标,信源地址,信宿地址
动态	业务量等级,中继点限制

(2) UDP 头标

	域
静态	源端口,目的端口,
动态	校验和

由图 1 可知,信宿选项头标和寻路头标中每个域都是静态的。静态的域在压缩分组中不发送,这样在原先长为 544~

576 比特的 IPv6/MIPv6/UDP 头标可减少至 24 比特。对于动态的域可以继续压缩。例如,业务量等级和中继点限制的值只是偶尔改变,在大部分的时候,都不用在压缩头标中进行传输,可在改变的时候加入压缩头标中。

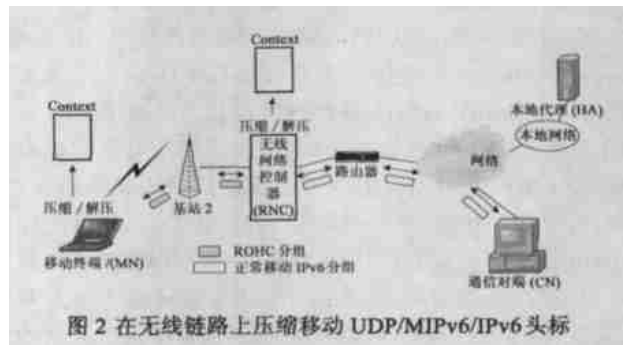


图 2 在无线链路上压缩移动 UDP/MIPv6/IPv6 头标

ietf 有专门的工作小组“Robust Header Compression (ROHC)”对无线链路上的头标压缩协议进行了规范。提出了一种对无线链路具有很强的容错能力(包括帧丢失和残留误码(residual bit errors))的头标压缩机制<sup>[2]</sup>。并针对不同的协议,提出不同的头标压缩子协议(profile)。目前规范的子协议有 RTP/UDP/IP、UDP/IP、ESP/IP 头标的模型。但目前尚未对移动 IPv6 协议提出相应的子协议,本文将针对移动 IPv6 协议的高头标开销提出压缩子协议。

如图 2 所示,采用 ROHC 对无线链路的 IPv6 分组进行头标压缩,图中无线链路的端点 MN 和无线网络控制器(RNC: Radio Network controller)作为执行 ROHC 压缩/解压的节点。在 MN 和 RNC 之间的无线链路传送的是 ROHC 分组。在 RNC 和 CN 之间的有线网络传送的是普通的移动 IPv6 分组。MN 和 RNC 都能执行压缩又可执行解压。对于某一个流,其压缩器和解压器分别在无线链路的两端,压缩器在发送方,解压器在接收方。

\* 在压缩分组中和原分组头标相关的净荷长度、数据报长度失去了意义,在压缩时不进行考虑,由解压器解压时根据解压后的分组恢复。

一个移动 IPv6 分组到来时, 压缩器可以根据分组中的流标记、信源地址等领域来识别一个流. 如果该分组属于新的数据流, 压缩方就处于压缩初始化状态, 一边将流的分组头标信息保存在相应的关联中. 同时将初始化分组发送给解压方. 在初始化分组中, 除了含有移动 IPv6 分组本身的信息外, 还包含了 profile 域及 context ID 等附加信息. Profile 是在特定的链路上如何对特定的分组流(此例中是 UDP/MIPv6/IPv6 流)进行头标压缩的规范. 关联识别符(context ID)在信道内是唯一的, 用来在存储关联表中索引该流的关联内容. 关联表中含有分组中各个域的信息. 压缩器和解压器同时对该流建立相应的关联表. 压缩方判断解压方收到关联信息后, 进入压缩状态, 开始发送压缩分组. 在这个过程中, 由于误码、丢包等原因, 有时, 解压方的关联可能和压缩方不一致, 这时, 就不能正确的解压分组. 只有在压缩方和解压方之间的关联保持一致的时候, 才可以正确的进行解压. 因此, 必须有一个有效的机制保证关联及时、正确的进行更新.

在小区的无线链路中, 系统的容量不是很大, 用户在十几个至几百个之间. 无线链路上的数据流的数目有限, 因此, 压缩/解压器可以对每个数据流维护一个关联缓存表项. 为了提高压缩头标的效率, ROHC 采用多级的压缩/解压状态<sup>[2]</sup>. 压缩器有 3 个状态, 级别从低到高依次为: 初始状态(IR: Initialization and Refresh)、一级压缩状态(FO: First Order)、二级压缩状态(SO: Second Order). 压缩器的状态总是由最低的压缩状态 IR 开始, 逐渐转变成更高级的状态. 当解压有误或根据某些策略, 压缩过程中也会由高级的状态转移为较低的状态. ROHC 有三种操作模式<sup>[2]</sup>: 单向模式(U-MODE)、双向优化模式(O-MODE)、双向可靠(R-MODE)模式. 当不存在或不能使用反馈信道时, 可以使用 U-MODE, 此时分组只向一个方向发送, 从压缩方到解压方. O-MODE 和 R-MODE 都提供压缩的鲁棒性, 在压缩方和解压方都有检测 context 不同步的严格逻辑. 解压方可以根据压缩正确与否向压缩方发送反馈分组, 压缩方根据反馈分组所包含的信息进行相应的状态转移. R-MODE 相对于 O-MODE 反馈更频繁.

### 3 移动 IPv6 头标压缩子协议(Profile)

通过对移动 IPv6 机制和 ROHC 框架的分析, 我们提出了移动 IPv6 头标压缩子协议, 并定义 Mobile IPv6 的 profile ID 为 0x000a. 由于 UDP/MIPv6/IPv6 中没有序列号或 IPv4 分组中的分组号域(IP ID), 压缩方随机产生 16 位的序列号, 作为反馈的标志. 采用 RFC3095 定义的初始化分组和反馈分组格式.

压缩分组主要有类型 0, 类型 1, 和类型 2. 类型 0 是完全压缩的分组, 仅发送 SN(或者加上 CRC); 类型 1 用来更新关于 SN 的函数参数; 类型 2 用于更新动态域信息. 其中类型 0 和类型 1 仅在压缩方状态为 SO 时使用. 类型 2 可在压缩方状态为 FO, SO 时使用.

对于不同的工作模式, 其压缩分组格式一般是不同的. 因此, 这里分组类型的命名遵循以下格式模型: 类型特征(mode type some property). 如 R 0 是指 R-MODE 类型为 0 的压缩分组. UOR 2-Prio 是指该类型为 2 的压缩分组适用于所有工作模式,

并且该压缩头标中含有 Prio(优先级)变化的信息. 由于动态域(优先级、中继点限制)的变化与 SN 没有直接关系, 因此, 动态域关于 SN 的函数是常数, 所以没有类型 1 的压缩分组.

我们定义的 UDP/MIPv6/IPv6 压缩后头标格式如图 3、4、5、6 所示.

压缩方处于最佳压缩状态时, 发送类型 0 分组. R 0(R-MODE)头标格式如图 3, CID 为某一压缩数据流的关联识别符(采用 RFC3095 的格式, 前导的“1110”标识采用短的 CID 格式), 00 表示分组类型, 加上 6 位的 SN. 该 SN 域是对压缩方产生的序列号运用 W-LSB(Window-based Least Significant Bits encoding)算法后的值. UO 0(U-MODE or O-MODE)头标格式如图 4, 0 表示分组类型, 除了 SN 号外, 还要加上 CRC 校验(3bit).

如图 5、6 所示. 10 表示分组类型为类型 2, 有 6 位的 SN 和 7 位的 CRC 校验.

F=0 时, 表示分组为 UOR 2 Prio, F=1 时, 表示分组为 UOR 2 Hop 格式. 当分组头标中的优先级发生变化时, 应发送 UOR 2 Prio 分组. 将变化后的优先级写入 Priority 域中. 当分组头标中的中继点限制发生变化时, 应发送 UOR 2 Hop 分组. 将变化后的中继点限制写入 Hoplimit 域中.

### 4 仿真实验

本文在网络仿真 NS 2<sup>[4]</sup>中实现了 ROHC 协议和移动 IPv6 头标压缩子协议, 针对移动 IPv6 协议下的实时业务进行头标压缩仿真实验, 以研究网络在运行不同多媒体业务情况下头标压缩的效果.

本文仿真中传输的业务模型为自适应多速率(AMR: Adaptive Multi Rate)编码标准的语音业务, 语音数据的产生速率为 12.2kl/s, 每 20 毫秒一帧, 语音数据突发时间(Burst Time)和静止时间(Silence Time)的平均希望均为 1 秒. 视频业务采用 MPEG 4 标准, 视频数据的发送速率为 48kl/s, 每秒发送 10 帧.

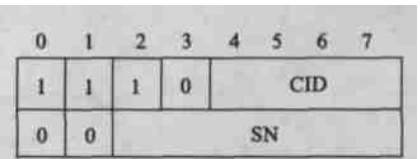


图 3 R-0 压缩头标格式



图 4 UO-0 压缩头标格式

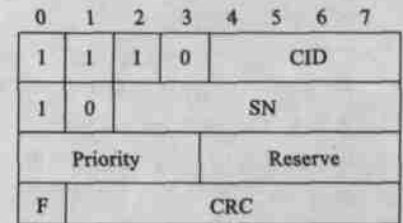


图 5 UOR-2-Prio 压缩头标格式

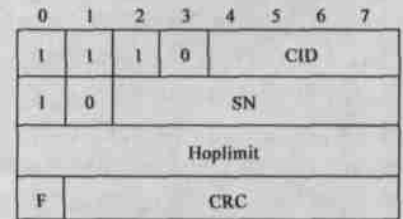


图 6 UOR-2-Hop 分组压缩头标格式

设  $avg\_header\_len$  表示分组的平均头标长度,  $total\_bytes$  表示总的发送字节数(包括各种类型的压缩分组及其反馈),  $decompressed$  表示成功解压的分组数,  $payload\_len$  表示分组中的净荷大小(同一个流的净荷长度相同), 则计算公式为:

$$avg\_header\_len = (total\_bytes - decompressed * payload\_len) / decompressed$$

表 1 音频业务的平均头标长度(单位: 字节)

	100 分组	1000 分组	10000 分组
ROHG U-MODE	4.771	2.703	2.688
ROHG O-MODE	3.340	2.148	2.013
ROHG R-MODE	3.290	2.134	2.011

表 2 视频业务的平均头标长度(单位: 字节)

	100 分组	1000 分组	10000 分组
ROHG U-MODE	4.930	3.555	3.441
ROHG O-MODE	3.020	2.130	2.013
ROHG R-MODE	2.970	2.011	2.011

表 1、表 2 是在无线链路无差错的情况下, 语音业务、视频业务压缩后的平均头标长度. 仿真结果显示, 移动 IPv6 分组头标(包括 UDP 头标)压缩是非常有效的, 采用可靠模式(R-MODE)或优化模式(O-MODE), 对音频业务和视频业务, 都可将 68 字节或 72 字节的头标压缩至约 2.01 字节; 若采用单向模式(U-MODE), 对于音频业务, 可压缩至约 2.69 字节, 对于视频业务, 可压缩至 3.44 字节, 各种情况下的压缩率均大于 96%.

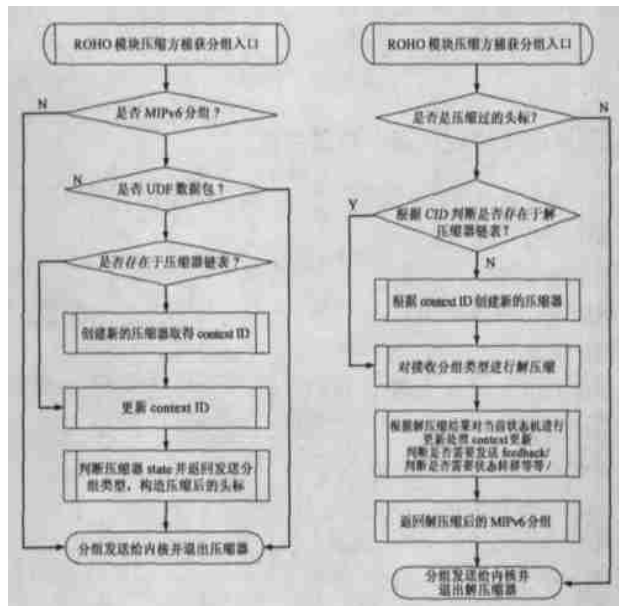


图 7 ROHC 模块压缩器(左图)和解压缩器(右图)的实现流程

## 5 基于 PDA 的移动 IPv6 头标压缩实现流程

本文在个人数码助理 PDA(型号为 Compaq iPAQ)上采用 familiar0.7.1<sup>[5]</sup> 嵌入式操作系统构建移动 IPv6 平台, 在当中实现头标压缩模块, 解决了在无线网络上传输的 IP 分组头标开销过大问题, 节约了无线链路的带宽, 提高无线链路的传输效率. 头标压缩模块中的压缩和解压缩工作流程如图 7 所示, 同样该流程也适用于其他采用移动 IPv6 的无线通信设备.

## 6 小结

在无线网络中对 Mobile IPv6 分组进行头标压缩可大大提高无线链路的传输效率. Mobile IPv6 的鲁莽性头标压缩不仅能用于 IEEE 系列的无线网络, 还可用于一切加载移动 IPv6 的移动通信网络, 如 3GPP 等, 因此有着广阔的应用前景.

### 参考文献:

[1] David B Johnson, Charles Perkins. RFC3775, Mobility Support in IPv6 [S]. June, 2004.  
 [2] C Bormann, Cormeister, M Degenmark, etc. RFC 3095, ROHC Header Compression (ROHC) [S]. 2001.  
 [3] Stephen Deering, Robert Hinden. RFC 2460, Internet Protocol, Version 6 (IPv6) [S]. December 1998.  
 [4] NS 2(Network Simulator) [Z]. 1998. <http://www.mash.cs.berkeley.edu/ns/>.  
 [5] familiar0.7.1 [Z]. <http://familiar.handhelds.org>.

### 作者简介:



洪佩琳 女, 1961 年 5 月出生于浙江宁波, 1978 年 10 月考入中国科学技术大学无线电电子学系, 1986 年获工学硕士学位, 毕业后留校任教, 现任中国科学技术大学电子工程与信息科学系教授、博导, 研究方向为宽带信息网络相关技术.



覃振权 男, 1978 年 3 月出生于广东云浮, 1997 年考入中国科技大学, 现为中国科学技术大学电子工程与信息科学系博士生, 研究方向为无线局域网相关技术.

李津生 男, 1937 年 10 月出生于天津, 1962 年考入中国科学技术大学无线电电子学系, 现任中国科学技术大学电子工程与信息科学系教授、博导, 研究方向为信息网络技术.