

基于混合应答机制的层次型可靠移动组播算法*

孙利民⁺, 廖勇, 吴志美

(中国科学院 软件研究所, 北京 100080)

A Hierarchy Reliable Mobile Multicast Algorithm Based on Mixed Acknowledgement Mechanism

SUN Li-Min⁺, LIAO Yong, WU Zhi-Mei

(Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-10-62567838, Fax: +86-10-62645410, E-mail: sunlimin@ios.cn, <http://www.iscas.ac.cn>

Received 2003-06-02; Accepted 2003-11-27

Sun LM, Liao Y, Wu ZM. A hierarchy reliable mobile multicast algorithm based on mixed acknowledgement mechanism. *Journal of Software*, 2004,15(6):908~914.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/908.htm>

Abstract: As mobile hosts dynamically change their locations, which makes the multicast transmission tree to be rebuilt frequently, the existing reliable multicast algorithms are unsuitable for mobile hosts in wireless IP networks. In this paper, a new basic mobile multicast mechanism called previous network subscription is proposed. Then, a new reliable multicast algorithm supporting mobile hosts is given. Based on hierarchical architecture, this algorithm integrates previous network subscription and remote subscription. An ACK and NAK mixed acknowledgement mechanism is adopted, the lost packets are retransmitted by multicasting, and the NAK suppression is used in the subnet. The analysis and simulation results show that the algorithm has a good performance in terms of retransmission delay, retransmission cost, multicast service disruption, and protocol cost.

Key words: reliable mobile multicast; previous network subscription; hierarchical architecture; mixed acknowledgement mechanism

摘要: 由于移动主机位置的不断改变引起组播树的频繁重构,已有的可靠组播算法已不适用于主机移动的无线网络环境。首先提出了前向网络签署的移动组播机制,然后在基于区域的层次型网络结构中,集成前向网络签署和远程签署,采用 ACK 和 NAK 相结合的应答机制,在子网局部范围内使用组播恢复机制和应答抑制机制,提出了一个新的支持主机移动的可靠移动组播算法。在重传延迟、重传开销、协议开销和服务中断时间这些方面的模拟结果和分析显示,该算法是一个高效的、可扩展的可靠移动组播算法。

关键词: 可靠移动组播;前向网络签署;层次型结构;混合应答机制

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60272078 (国家自然科学基金); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2001AA112051 (国家高技术研究发展计划(863))

作者简介: 孙利民(1966—),男,河南淮阳人,博士,研究员,主要研究领域为无线移动网络,宽带接入网;廖勇(1980—),男,硕士生,主要研究领域为移动网络;吴志美(1942—),男,研究员,博士生导师,主要研究领域为多媒体通信和网络。

新的网络应用如股市行情发布、天气预报、新闻发布、软件分发等,要把信息可靠地发送到众多接收者,这就要求网络能够提供点到多点的可靠组播服务。随着移动设备的迅速发展和广泛应用,移动节点在 Internet 用户节点中所占的比例逐渐增大,人们希望通过移动设备方便地接入 Internet,并获得与位置固定节点相近的网络服务质量。因此,研究支持主机移动的可靠组播机制对新的网络服务非常重要。

由于无线链路容易受到外界干扰而误码率较高,特别是移动节点在不同网络间不断地切换,造成组播路径的改变而使得组播服务暂时中断,组播数据分组丢失的可能性大大增加,而已提出的固定网络的可靠组播协议都没有考虑移动切换,不适合节点移动的情况。相对而言,节点位置的动态性和无线链路易被干扰的特性,使得支持移动节点的可靠组播服务将面临更大的难度。

目前已经提出了多种移动组播协议,其中远程签署 RS(remote subscription)和家乡签署 HS(home subscription)是两种支持主机移动的基本组播机制^[1,2],但可靠移动组播协议的研究相对较少。可靠移动组播协议 RMMP(reliable mobile multicast protocol)^[3]在远程签署组播机制的基础上提供可靠服务,移动主机周期性发送 ACK(ACKnowledgement)消息,移动代理除了实现移动管理功能以外,还要实现可靠组播代理的功能。基于范围的可靠移动组播协议 RRBMoM(reliable range based mobile multicast)^[4]是对基于范围移动组播协议 RBMoM^[5]的扩展,采用周期性的 ACK 应答机制,组播家乡代理 MHA(multicast home Agent)代替其服务范围内的所有移动主机发送应答,同时采用单播方式重传丢失分组给相应的移动主机。在移动主机切换时,如果新的 MHA 保存有丢失分组,就负责分组重传;如果没有,移动节点直接向组播源发送恢复请求消息,在到组播源路径上,缓存有丢失分组的恢复节点重传分组。RMMP 协议和 RRBMoM 协议都是基于移动 IPv4 协议的,基于移动 IPv6 协议的移动可靠组播目前很少。

移动 IPv6 协议^[2]中远程签署 RS 和家乡签署 HS 两种基本组播机制都没有提到可靠移动组播的操作。本文首先提出了一种新的基本组播机制:前向网络签署 PS(previous network subscription)。相对 RS 和 HS 而言,当移动主机切换到不同网络时,PS 无须重构组播树而能够快速接收组播分组。接下来,在我们已提出的移动组播算法 FMSR^[6]的基础上,本文给出了一个全新的可靠移动组播算法 RFMSR(reliable FMSR),它在基于区域的层次型管理的网络结构中,集成新的 PS 和已有 RS 两种组播机制,减少了由于位置移动造成组播服务中断的时间,也优化了组播传输路径,同时针对主机位置动态改变和无线链路的特点,采用 ACK 和 NAK 混合应答机制,有效降低了丢失分组的重传开销和重传延迟。

1 前向网络签署

在远程签署机制中,移动主机切换到新的子网后,直接向当前网络发送 MLD(multicast listener discovery)报告消息,通过当前网络重新加入原来所在的组播组。移动主机直接通过当前网络收发组播分组,远程签署的组播传输路径是优化的,但移动切换会带来组播树的频繁重构,组播树重构开销大,组播服务中断时间也长。

在家乡签署机制中,移动主机移动到外地网络后,与家乡代理之间建立双向隧道,家乡代理将发往移动主机的组播分组通过隧道转发给移动主机;移动主机发送的组播分组先使用隧道发送到家乡代理,再由家乡代理转发。当移动节点远离家乡网络时,移动节点到家乡代理的隧道很长,组播传输路径不优化,增加了组播服务中断时间和组播分组的传输延迟。家乡签署的优点是其组播树无须因移动主机位置的改变而重构。

在我们提出的前向网络签署中,当移动主机从前一个子网切换到当前子网时,前向网络是指切换前移动主机所在的子网,移动主机在切换后与前向网络而不是家乡网络之间建立双向隧道,通过隧道接收组播分组。由于当前网络和前向网络是相邻的,移动主机到前向网络之间的隧道很短,这样,移动主机在切换后无须重建组播树就能快速地收到组播分组。

但是,当主机连续移动时,就会形成长的从当前网络到前向网络的隧道链,造成组播传输路径的不优化,因此,前向网络签署应该与远程签署结合起来,移动主机在通过前向网络签署从邻居网络接收组播分组的同时,还应直接向当前网络发送 MLD 报告消息,在当前网络重新加入组播组。这样,既能够减少切换引起的组播服务中断时间,又能够在主机移动过程中不断形成优化的组播传输路径。文献[7]给出了家乡签署和远程签署相结合的移动组播算法,在移动节点远离家乡网络时,由于移动节点到家乡网络间的隧道长,组播分组传输的开销比较大,

组播服务中断时间也比较长。

2 可靠移动组播算法

2.1 基于区域的层次型结构

RFMSR 算法采用如图 1 所示的基于区域的层次型网络结构,多个子网组成一个区域,每个子网内有一个组播服务提供者 MSA(multicast subnet Agent),每个区域内有一个组播接入点 MRA(multicast region Agent).MRA 是组播路由器,代表区域内的移动主机加入组播树,而 MSA 可以是组播路由器,也可以不是,对网络结构没有提出特殊的要求.当移动主机切换到新的子网后,如果它是所属组在当前子网内的第 1 个组成员,那么移动节点当前子网的 MSA 与移动节点前一个子网的 MSA(previous MSA,简称 p MSA,)建立隧道, p MSA 通过隧道传输分组到移动节点当前子网的 MSA,同时当前子网的 MSA 通过 MRA 申请接收组播分组.在当前区域的 MRA 加入组播组并转发分组给 MSA 后,当前子网的 MSA 撤销已建立的隧道。

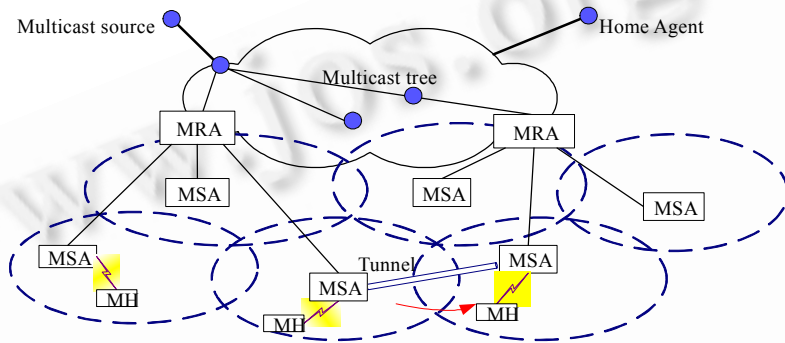


Fig.1 The hierarchical architecture adopted in RFMSR

图 1 RFMSR 的层次型结构

在 RFMSR 算法中,分组从组播源通过组播树经 MRA 和 MSA 发送到移动主机,MRA 和 MSA 都是分组恢复节点.MRA 负责区域内所有 MSA 可靠地接收分组,MSA 负责子网内所有移动主机可靠地接收分组,形成支持主机移动的层次型恢复结构。

2.2 混合应答机制

可靠组播有肯定 ACK 和否定 NAK(negative Acknowledgement)两种应答机制.在 ACK 应答机制中,发送者或恢复节点需要为管理的所有接收者维持接收状态,接收者周期性地发送 ACK 应答消息;如果发送者在发送分组后的给定时间内没有收到某个接收者的肯定应答,则认为分组丢失并重传分组.ACK 应答机制可以保证所有接收者都接收到分组,但可扩展性差,存在 ACK 应答消息的爆炸问题.在 NAK 应答机制中,接收者检测到分组丢失后及时发送重传请求,如果发送者在给定时间内没有收到否定应答,就认为接收节点已经可靠收到分组.NAK 应答机制使得发送者不需要为每个接收者维持接收状态,可扩展性好,但同样存在应答消息爆炸问题。

在主机移动的情况下,主机由于在不同子网间切换和无线链路高误码率等原因使得分组丢失率较高.如果在子网内采用周期性的 ACK 应答机制,当 MSA 发现移动主机丢失分组时,移动主机可能已经移动到相邻的子网,这样会造成丢失分组的重传开销和重传延迟都比较大.如果采用 NAK 应答机制,移动主机在发现分组丢失后及时发送恢复请求,当前子网的 MSA 完成分组重传的概率增加,有利于减少丢失分组的重传开销和重传延迟。

由于在区域内 MSA 和 MRA 之间一般使用低误码率的高速有线链路,以及 MRA 管理个数有限位置固定的 MSA,RFMSR 算法在 MRA 和 MSA 之间采用 ACK 应答机制,MSA 周期性地向 MRA 发送 ACK 应答消息.这样,在 RFMSR 算法中,针对无线通信环境和位置改变的特点,采用 ACK 和 NAK 相结合的混合应答机制。

2.3 恢复机制

丢失分组有单播和组播两种重传方式,单播重传适用于较少接收者丢失分组的情况,而组播重传适合存在较多接收者丢失分组的情况.根据丢失分组重传的范围,组播重传又分为全局组播和局部组播两种方式.全局组播把丢失分组组播到所有接收者,这会消耗额外的带宽和节点的处理能力,但增加整个系统的鲁棒性.局部组播是向存在分组丢失的局部区域内组播,能够有效节省网络资源.

由于无线传输介质的开放性和共享性,在局部区域内的移动节点容易受到同一干扰源的影响,因此,子网内的多个移动节点可能同时丢失相同的组播分组.在 RFMSR 算法中,MSA 采用组播方式重传丢失分组给其子网内的所有移动主机.为了防止 NAK 消息爆炸,移动节点向 MSA 发送 NAK 消息时采用应答抑制机制.移动节点在检测到丢失分组后,随机等待一段时间,如果在这段时间内有其他成员请求重传相同的组播分组,它就不再发送 NAK 消息,否则,等待时间结束时再发送 NAK 消息.

考虑 MSA 与 MRA 之间采用低误码率有线链路,MSA 丢失分组的概率很小,以及单个 MRA 管理有限个数的 MSA,MRA 采用单播方式重传丢失分组给相应的 MSA.

移动可靠组播算法 RFMSR 采用上述应答和重传机制具有如下优点:(1) 由于在不同子网间移动切换,移动节点在检测到分组丢失后及时发送 NAK 消息,有利于丢失分组的本地恢复,或通过邻近网络间的隧道进行恢复,这会降低丢失分组的重传开销和重传延迟;(2) 将重传恢复尽量限制在局部区域内,使得协议具有很好的可扩展性;(3) 针对无线链路的特点,在子网区域内使用组播方式重传丢失分组和 NAK 消息抑制机制,可以提高无线链路带宽的利用率.

2.4 数据结构

假设 MSA 实现 MLD proxy 功能,而不是组播路由器.当移动节点从前一个子网切换到当前子网后,在向家乡代理进行注册的同时,向当前子网的 MSA 重新注册,希望接收原有组播分组,并且说明已经收到的最大分组编号和 $pMSA$ 等信息.如果当前子网已经存在组成员,而且当前 MSA 缓存有接收到的最大分组编号之后的后续分组,当前 MSA 就负责重传丢失分组给该移动主机;如果当前子网已经存在组成员,但当前 MSA 没有缓存最大分组编号之后的后续部分分组,移动主机的 $pMSA$ 与当前 MSA 之间建立双向隧道, $pMSA$ 通过隧道重传当前 MSA 没有缓存的后续分组;如果切换节点是当前子网的第 1 个组成员,移动主机的 $pMSA$ 通过双向隧道传输所有后续分组,同时,当前 MSA 向 MRA 申请接收组播分组,在当前 MSA 从 MRA 接收到分组,同时,第 1 个从 MRA 传来分组之前的所有分组收到后,撤销已建立的双向隧道.

RFMSR 算法的主要数据结构如图 2 所示.在 MSA 组列表中,组成员列表包含其子网内的所有移动组成员;隧道末端 MSA 列表包含由本 MSA 转发分组的隧道末端的 MSA,每个表项包含 MSA 地址和起止分组编号[S, E];隧道源端 MSA 列表是转发分组的隧道源端 MSA,每个表项包含 MSA 地址和起止分组编号[S,E].MSA 在发送组播分组后,在一定时间内没有收到 NAK 重传请求时,释放分组对应的缓存空间.

MRA 在接收到 MSA 申请接收组播分组的消息时,如果 MRA 已经加入组播组,将 MSA 加入接收成员列表中;如果没有,申请加入组播组,创建组列表,将 MSA 加入到接收成员列表中.在接收 MSA 离开消息时,从接收成员列表中删除 MSA;如果接收成员列表为空,删除组表项.在接收到组播数据分组时,创建和设置分组的传输状态表项,向所有接收成员 MSA 发送分组.在接收到 ACK 应答时,修改相应的分组传输状态(如图 3 所示),对于所有接收成员已经正确接收的分组,释放缓存空间和删除分组传输状态列表;对于丢失的分组,通过单播方式重传给相应的 MSA.

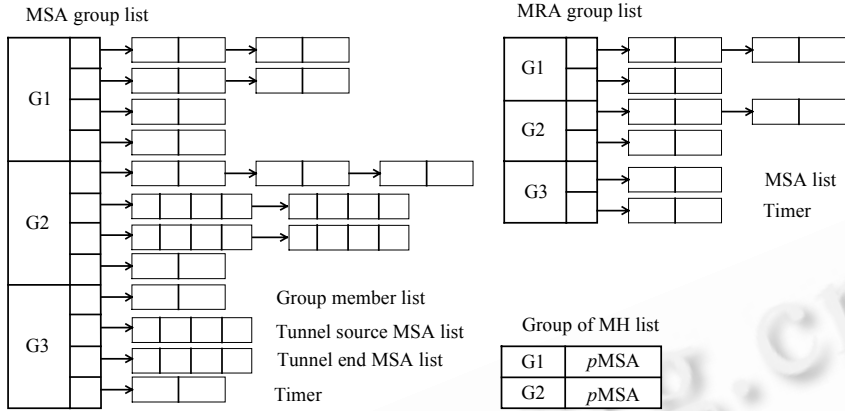


Fig.2 The main data structures in RFMSR

图2 RFMSR 的主要数据结构

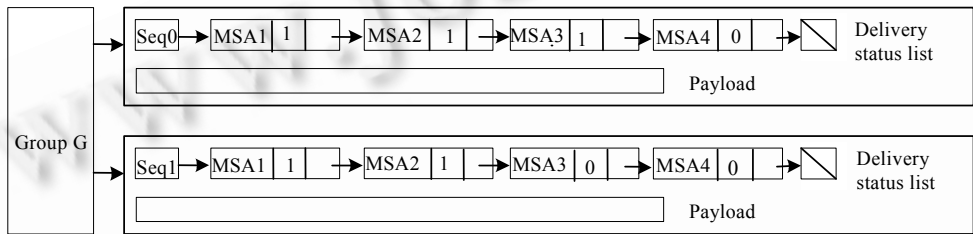


Fig.3 The packet delivery status list in MRA

图3 MRA 的分组传输状态列表

3 性能分析

3.1 模拟模型

我们用 C 语言编写程序模拟了 12×12 的网格,每个交叉点表示一个子网,包含一个家乡代理和一个 MSA.MRA 的服务范围是 4×4,位于管理区域的中央,与 MSA 通过隧道连接.模拟中所有组成员都是移动主机,移动主机向各个方向移动的概率相等,固定组播源位于网格中心;组播树使用源根树方法构造;初始时组成员的分布是随机的,在仿真过程中移动主机的组关系保持不变.ACK 应答周期是 10 个时间单位,移动主机在子网内停留的平均时间是 4 个时间单位.假设所有有线链路不会丢失分组;仅 MSA,家乡代理与子网内移动主机之间通信使用无线链路,所有无线链路的分组丢失率相同;移动主机从一个子网切换到另一个子网时会有一个分组丢失.丢失分组可以分为无线链路出现误码引起的丢失分组和切换引起的丢失分组.

3.2 模拟结果和分析

从网络角度考虑可靠组播的性能,主要分析通信过程中消耗的网络资源,特别是丢失分组重传开销和信令消息的开销;从端系统角度考虑,主要关心丢失分组的重传延迟.在可靠移动组播中,由于切换可以引起组播服务中断,特别需要考虑切换对可靠组播性能的影响.我们对重传开销、信令开销和重传延迟都用消息传递所经过的链路条数之和来衡量,重传延迟是主机发现分组丢失到重新收到分组之间的时间,模拟时间是 5 000 个时间单位.

3.2.1 应答机制的模拟和分析

分析 RFMSR 算法在没有 NAK 应答、有 NAK 应答但无应答抑制机制和有 NAK 应答也有应答抑制机制 3 种情况下的性能.由于受篇幅的限制,这里没有给出主机个数变化时的模拟结果,仅给出无线链路分组丢失率变

化时的模拟结果,其中主机个数是 500.

丢失分组的平均重传开销随分组丢失率变化情况如图 4 所示.由于子网内丢失分组的重传采用组播方式,如果无线链路分组丢失率增加,丢失相同分组的主机个数也就增加,因此,相对每个丢失分组而言,丢失分组的平均重传开销随分组丢失率的增加而减少.如果不采用 NAK 应答机制,移动主机在当前子网丢失的分组可能就不能及时恢复,在切换到其他子网后,重传分组的开销相对较大.有无请求抑制对丢失分组的重传影响较小,有 NAK 应答的两条曲线基本重叠.

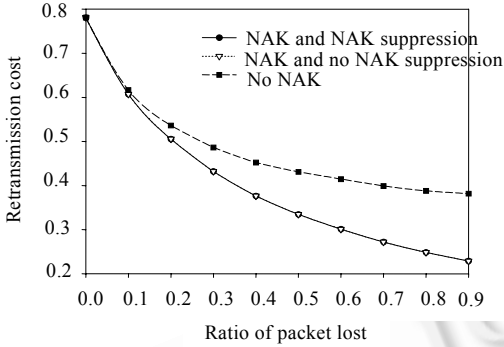


Fig.4 Average retransmission cost of lost packet

图 4 丢失分组平均重传开销

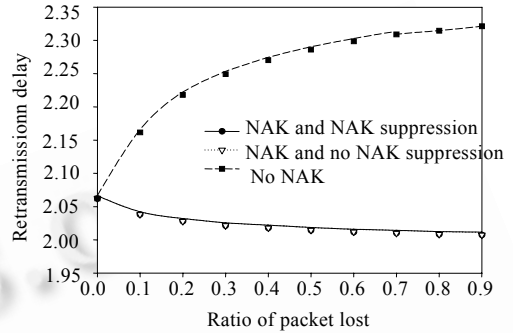


Fig.5 Average retransmission delay of lost packet

图 5 丢失分组平均重传延迟

丢失分组的平均重传延迟随分组丢失率的变化情况如图 5 所示.由于从当前子网及时恢复的重传延迟为 2,所以最小的重传延迟为 2.如果没有 NAK 应答机制,无线链路引起的丢失分组等到周期应答或切换时才恢复,重传延迟较大;随着无线链路分组丢失率的增加,无线链路丢失分组相对切换丢失分组的比例增加,平均重传延迟增大.采用 NAK 应答机制,无线链路丢失分组能够及时本地恢复,重传延迟相对减少;无线链路分组丢失率增加时,本地恢复的比例增加,丢失分组的平均重传延迟越来越趋近于 2,图中有 NAK 应答的两条曲线基本重叠,有抑制的平均重传延迟要稍微大一些.

单位时间内信令开销随分组丢失率变化情况如图 6 所示.周期性应答和切换的消息个数与无线分组丢失率无关,当没有 NAK 应答机制时,信令开销只因包含周期性应答和切换信息信令而没有发生变化.在有 NAK 应答但无抑制机制中,信令开销还包括 NAK 消息,其数量随分组丢失率线性增加.在有 NAK 应答有应答抑制机制时,当无线链路分组丢失率低时,每个子网内发送的 NAK 消息很少,抑制机制作用不大;当分组丢失率增加时,NAK 抑制的效果明显,每个子网在单位时间内最多发送一个 NAK 消息.

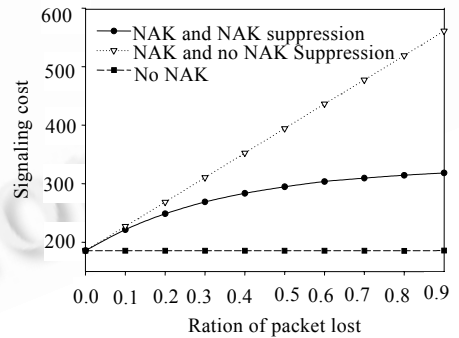


Fig.6 Signaling cost per time unit

图 6 单位时间内信令开销

4 结束语

本文首先提出了一种新的移动 IP 的基本组播机制前向网络签署.它是对移动 IP 协议中远程签署和家乡签署的补充,对于主机移动引起的位置改变,具有组播服务中断时间短和无须组播树重构的优点,但需要与远程签署联合起来才能高效工作.本文在此基础上提出了可靠移动组播协议 RFMSR,采用基于区域的层次型结构,具有良好的可扩展性;根据无线链路的特性,在子网局部范围内使用组播方式恢复和应答抑制机制,提高了无线链路带宽的利用率;针对主机位置动态改变的特点,采用 ACK 和 NAK 相结合的应答机制,及时恢复本地无线链路丢失的分组,减少分组重传的延迟和开销;切换丢失的分组在移动主机当前 MSA 没有缓存的情况下,通过当前 MSA 与移动节点 pMSA 之间建立隧道传输恢复分组.通过模拟结果和分析可知,RFMSR 算法在重传延迟、重

传开销、重传信令和服务中断时间方面具有较好的性能,是一个具有可扩展性的高效的可靠移动组播算法。

References:

- [1] Perkins C. Mobility support for IPv4. RFC3344, 2002.
- [2] Johnson D, Perkins C, Arkko J. Mobility support in IPv6 draft-ietf-mobileip-ipv6-21.txt, 2003.
- [3] Ke JA, Liao WJ. Reliable mobile multicast protocol (RMMP): A reliable multicast protocol for mobile networks using mobile IP. In: Proc. of the Wireless Communications and Networking Conf. Chicago: IEEE Computer Society Press, 2000. 1488~1491.
- [4] Lin CR, Chung CJ. Mobile reliable multicast support in IP networks. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Communications. New Orleans: IEEE Computer Society Press, 2000. 1421~1425.
- [5] Lin CR, Wang KM. Mobile multicast support in IP networks. In: Proc. of the InfoCom 2000. Tel Aviv: IEEE Computer Society Press, 2000. 1664~1672.
- [6] Sun LM, Liao Y, Zheng JP, Wu ZM. A mobile multicast algorithm with hierarchical architecture. Journal of Software, 2003,14(9): 1608~1614 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/1608.htm>
- [7] Jelger C, Noel T. Multicast for mobile hosts in IP networks: Progress and challenges. IEEE Wireless Communications, 2002, 9(5):58~64.

附中文参考文献:

- [6] 孙利民,廖勇,郑健平,吴志美. 一个基于层次结构的移动组播算法. 软件学报,2003,14(9):1608~1614. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/1608.htm>

第 13 届中国多媒体学术会议(NCMT2004)

征文通知

由中国计算机学会多媒体专业委员会及中国图象图形学会多媒体专业委员会联合召开的第 13 届全国多媒体技术学术会议定于 2004 年 10 月 14~17 日在浙江宁波召开。会议由宁波大学承办。

征文内容

多媒体信息处理和编码: 多媒体信息处理和压缩、嵌入式多媒体处理、内容分析、基于内容的检索、数字版权管理 (DRM)、和信息安全

多媒体系统支持和网络技术: 网络协议、无线网络、操作系统、中间件、流媒体服务器、多媒体服务质量保证 (QoS)、数据库、传感器和执行元件、客户终端、流媒体技术

多媒体工具、应用系统: 超媒体系统、用户接口、著作工具、多媒体教育系统、分布式多媒体系统和应用、虚拟空间的设计和应用、系统集成

计算机图形、虚拟现实、多媒体人机交互、多媒体与 CSCW

重要日期

投稿截至日期 (以邮件寄出日期): 2004 年 7 月 20 日

录取通知: 2004 年 8 月 4 日以前

正式稿件发回: 2004 年 8 月 20 日以前

征文要求

详见 <http://www.jos.org.cn/news/NCMT2004.htm>

来稿请寄

100084 北京清华大学计算机系人机交互与媒体集成研究所 孙立峰 收

联系人: 孙立峰 田淑珍 清华大学计算机系

电话: 010-62786910, 010-62784141 传真: 010-62771138

电子邮件: ncmt04@media.cs.tsinghua.edu.cn