

基于移动 IPv6 技术实现 Ad Hoc 网络中的 Anycast 服务

王晓喃^{1,2} 徐江^{1,2} 殷旭东¹

(常熟理工学院计算机科学与工程学院 常熟 215500)¹

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)²

摘要 目前,如何在 Ad Hoc 网络中实现 Anycast 服务越来越成为研究的焦点。提出了一种在 Ad Hoc 网络中实现 Anycast 服务的通信模型,并在模拟实验网络中实现了此模型。此模型提出了一种新的 IPv6 地址自动分配方案,它无需进行地址重复检测。此外,模型中 Anycast 移动组结点在不同子网之间进行切换时,不需要进行转交地址注册,也不需要建立隧道机制。对此模型进行了深入的讨论和分析,实验数据充分证明了此模型的有效性和高效性。

关键词 Ad Hoc, IPv6, 移动 IP, Anycast

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Implementation of Anycast Service in Ad Hoc Network Based on Mobile IPv6

WANG Xiao-nan^{1,2} XU Jiang^{1,2} YIN Xu-dong¹

(School of Computer Science and Engineering, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, China)¹

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)²

Abstract At the present time, the issue of how to perform Anycast service in Ad Hoc network has attracted more attention. This paper proposed an Anycast communication model in Ad Hoc network which has been implemented in the simulation network. This model creates a new kind of IPv6 address auto-configuration scheme which does not need detection of address duplication. In addition, in this model when an Anycast mobile member switches between different sub-nets it does not need to register its care-of address and to build a tunnel to transfer data. This paper deeply discussed and analyzed the model and the experimental data proved its validity and efficiency.

Keywords Ad Hoc, IPv6, Mobile IP, Anycast

Mobile Ad Hoc(MANET)网络是一种不依赖任何固定设施的移动无线多跳网络,它的每一个无线移动结点都具有路由功能,一个结点要与另一个不直接相邻的结点通信,必须通过中间结点选路。MANET 具有分布性、动态性、自治性、健壮性、易构性和移动性等特点,因而被应用于许多特殊场合,如协同移动数据交换、战场通信系统等。

对于所需服务在多个服务器中有拷贝的应用而言,从资源、健壮性和效率方面,Anycast 可以成为 Ad Hoc 的一种重要机制。Ad Hoc 中单一结点拥有的资源非常有限,通常沿着最短路径发送数据,在传输过程中所经结点少,从而可以节省电源和网络带宽,减少阻塞。在结点移动性高且链路断裂频繁的情况下,Anycast 服务也能提高 Ad Hoc 网的性能。虽然在 Internet 中已提出了多种提供 Anycast 服务的方案,但是在 Ad Hoc 中实现 Anycast 服务目前还是比较困难的。因为在 Internet 中 Anycast 组中服务器有固定的地点,它们的 Unicast 地址一般也不发生改变,所以用户到某一服务器的路由一旦被发现就能固定下来。但是,Ad Hoc 网中每一结点随时都在移动,用户到服务器的路由不能保持稳定,因此,移动自组网的高动态性和路由频繁变化的特性成为研究如何在

移动自主网络中实现 Anycast 服务的难点。

在这种情况下,本文提出了一种在 Ad Hoc 网络中的 Anycast 通信模型,此模型很好地解决了上述的难点。以下章节对此模型的建立和原理进行了详细的分析和讨论。

1 关键技术

Ad Hoc 网络的协议栈结构与有线网络基本相同,它也是采用 IP 层屏蔽物理信道和媒体访问控制的差异,这就为 Anycast 服务在 Ad Hoc 网络中的实现提供了可能。但是 Ad Hoc 是一个自组织、无中心的多跳网络,网络中没有固定的路由器,因此,结点之间的信息传送需要其它结点的转发。此外,由于 Anycast 地址所标识的是提供同一种服务的一组结点,因此 RFC2373 对 Anycast 地址分配做出如下限制:1) Anycast 地址不可以作为 IPv6 数据包的源地址来使用;2) Anycast 地址不能分配给 IPv6 主机使用,而只能分配给 IPv6 路由器。

因此在 Ad Hoc 网络中实现 Anycast 服务会存在如下问题:1)在 IPv6 有线网络中,拥有 Anycast 地址的 IPv6 路由器与 Anycast 组成员之间有着数据链路层连接,可以通过一跳

到稿日期:2009-05-09 返修日期:2009-07-08 本文受江苏省教育厅自然科学基金(09KJD520001)资助。

王晓喃(1973—),女,博士后,主要研究方向为下一代网络,E-mail:wxn_2001@163.com;徐江(1950—),男,博士研究生,主要研究方向为下一代网络;殷旭东(1970—),男,讲师,主要研究方向为下一代网络。

到达,而 Ad Hoc 的结点之间并没有数据链路层连接,因此在 Ad Hoc 网络中需要建立一种新的路由方式来实现拥有 Anycast 地址的 IPv6 路由器与 Anycast 组成员之间的通信;2)如果在 Ad Hoc 网络中实现 Anycast 服务,那么 Anycast 组成员会在不同的 Ad Hoc 子网间漫游,这样会导致 Anycast 组成员的代理切换问题。由于在移动 Ad Hoc 网络中,移动结点即使移出了代理的一跳直达范围,仍能通过多跳的路由方式到达多个代理,这样就使得 Ad Hoc 网络的结点在物理上同时存在于几个不同子网的概率大大增加,必须引入新的切换机制;3)在传统的有线网络中拥有 Anycast 地址的 IPv6 路由器与 Anycast 组成员之间的广播和请求信息都是一跳之内的,而在 Ad Hoc 网络中请求信息可能需要在多跳范围内广播,因此,需要找出一种新的广播机制来实现拥有 Anycast 地址的 IPv6 路由器与 Anycast 组成员之间的广播通信。

2 通信模型

在 MANET 网络中,路由协议可以处于 IP 层以下,也可以处于 IP 层以上。如果处于 IP 层以下,路由协议使用网络内部地址(如物理地址)来标识 MANET 中的移动结点,移动结点间的报文转发通过 IP 层以下的路由协议实现;如果处于 IP 层以上,路由协议使用 IP 地址来标识 MANET 中的移动结点,移动结点间的报文转发通过 IP 层的路由协议实现。本模型采用 IP 层以上的路由协议来实现 MANET 网络中的 Anycast 服务。

本模型有如下假设:1)MANET 网络通过 IPv6 接入网关与 IPv6 网络相连接;2)与此 MANET 网络区域相连接的所有 IPv6 接入网关除了自身的 Unicast 地址之外,还被赋予一个 Anycast 地址,而此 Anycast 地址所代表的实际 Anycast 组成员并不是这些 IPv6 接入网关,而是 MANET 中的移动结点。

2.1 Anycast 地址与 IPv6 接入网关的 Unicast 地址

IPv6 中的 Anycast 地址模型与 RFC1546 最初建议的完全不同,前者提出在 Unicast 地址空间中分配 Anycast 地址,这样 Unicast 与 Anycast 地址从结构上没有任何区别,而后者则推荐使用独立的地址模型,本模型采用前者的观点,即 Anycast 地址与 Unicast 地址采用同样的地址空间。

此外,在本模型中,与 MANET 网络区域相连接的 IPv6 接入网关对于 MANET 网络中的移动结点来说,除了被赋予一个 Anycast 地址之外,还具有自身的 Unicast 地址,它们的 Unicast 地址格式如表 1 所列。

表 1 Anycast 地址

3	13	8	24	16	4	60
FP	TLA ID	RES	NLA ID	SLA ID	IPv6 Ingress Gateway ID	0

在表 1 中,FP 是可聚合全局地址的格式前缀(例如,001 代表单播地址);TLA ID 为顶级聚合标识符;RES 为将来使用而保留;NLA ID 是次级聚合标识符;SLA ID 是站点级聚合标识符;IPv6 Ingress Gateway ID 是 4 个 bit,它是 IPv6 接入网关在 MANET 网络中的 ID;其余部分取值都为 0。从以上 IPv6 接入网关的地址结构可以看出,本模型中与一个 MANET 网络相连接的 IPv6 接入网关最多 16 个。

在本模型中,如果一个移动结点加入到一个新的 MA-

NET 网络,它首先必须获取一个 IPv6 地址,然后才可以向所在的 IPv6 接入网关提出加入它所标识的 Anycast 组的请求。移动结点的 IPv6 地址分为两个部分,即网络前缀(地址的前 64 位)与接口 ID(地址的后 64 位)。一个移动结点的网络前缀来源于与其相连的 IPv6 接入网关的 Unicast 地址的网络前缀(即地址的前 64 位)。本模型将 64 位的接口 ID 划分为 16 个等级,每个等级由 4bit 标识,其中 IPv6 接入网关的级别最高。这样,一个 MANET 网络区域内最多可以包括 16 棵以 IPv6 接入网关为根结点的树,此树的深度最多可达到 16,而树中的每个结点最多可以拥有 16 个孩子结点。例如,在一个 MANET 网络中,如果 IPv6 接入网关的 Unicast 地址为 3FE8:1:1:3:1000::/64,并且以此网关为根结点建立一棵树,那么此树根的孩子结点地址就是 3FE8:1:1:3:1X00::,其中 X=1,2,...,F,依次类推,如图 1 所示。

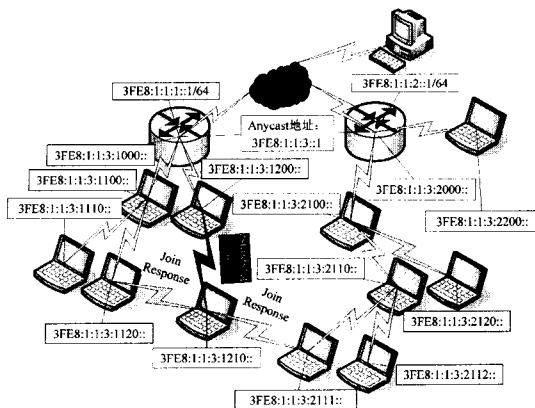


图 1 IPv6 接入网关树的建立和 Anycast 组的建立

2.2 加入 Anycast 组

如果一个移动结点想成为一个 Anycast 组成员,那么它首先必须加入一棵以 IPv6 接入网关为根结点的树(称作 IPv6 接入网关树)来获取 IPv6 地址。移动结点可以通过以下过程来获取 IPv6 地址。

1)移动结点首先向邻居结点(只有一跳距离的结点)发送一个 Join 消息;

2)如果接收到此 Join 消息的邻居结点已经被标记为某个 IPv6 接入网关为根结点的树的结点,并且它当前的孩子结点数小于 16 个(即还有剩余的地址资源可供分配),那么它会向移动结点返回一个 Response 消息,此消息包括将要分配的 IPv6 地址,否则,转到 5);

3)移动结点在规定时间内可能接收到多个 Response 消息,那么它根据 Response 消息中将要分配的 IPv6 地址可以计算出返回 Response 消息的邻居结点距离 IPv6 接入网关的跳数(4 个 bit 为一跳),然后选择距离 IPv6 接入网关最近的邻居结点作为父结点,同时记录下父结点的相关信息并返回一个 ACK 确认消息;

4)距离 IPv6 接入网关最近的邻居结点接收到此 ACK 确认消息之后,它会将此结点加入到自己的孩子列表中,并且记录下其相关参数;

5)如果接收到此 Join 消息的邻居结点还没有加入到某棵 IPv6 接入网关为根结点的树,那么它会转发这个 Join 消息给它的邻居结点,然后重复 2),3)和 4),直到它成功地加入到某个 IPv6 接入网关为根节点的树。最后,它会向移动结点返

回一个 Response 消息,此消息包括将要分配的 IPv6 地址,转 3)。

这样,此移动结点就成功地加入到 MANET 网络并且获取了自己的 IPv6 地址。在本模型中,移动结点可能在规定的时间内没有接收到任何 Response 消息,也就是说,移动节点在这段时间内没有邻居节点或者是邻居节点在规定的时间内没有完成返回 Response 消息的操作,因为 Ad Hoc 网络中的节点位置是不断变化的。在这种情况下,此模型首先会延长规定的时间,然后继续发送 Join 消息,直到收到 Response 消息为止。

从以上的描述中不难看出,一个移动结点获取 IPv6 地址的过程实际上也是它加入一个 IPv6 接入网关树的过程。每个移动结点都是某个 IPv6 接入网关树的结点。一个移动结点获取 IPv6 地址或者它加入一个 IPv6 接入网关树的整个过程如图 1 所示。

假设在图 1 中两个 IPv6 接入网关都被赋予一个 Anycast 地址 3FE8:1:1:3::1,如果移动结点 3FE8:1:1:3:1210 请求加入 Anycast 地址为 3FE8:1:1:3::1 的 Anycast 组,它会给其父结点发送一个请求消息 A_Join,此 A_Join 消息中包含一个距离度量参数(可以是它距离根结点的跳数或者是它当前的会话数),父结点接收到此消息之后,将此消息所包含的信息记录下来,然后再将此消息转发给它的父结点,直到此消息到达 IPv6 接入网关树的根结点,即拥有 Anycast 地址的 IPv6 接入网关。IPv6 接入网关接收到此 A_Join 消息之后,它会记录下此移动结点的 IPv6 地址以及它当前的度量参数,并且返回一个 Accept 消息给移动结点。此消息会按照原路返回,沿路接收到此 Accept 消息的结点(都是移动结点的祖先结点)会记录下此移动结点为 Anycast 组成员这一信息,并将 Accept 消息转发给其子结点。最终,移动结点会接收到此消息,并将自己标记为 Anycast 组成员。

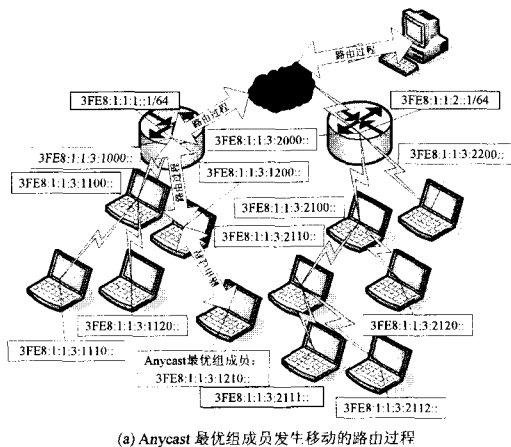
同样,如果一个 Anycast 组成员想离开它所在的 Anycast 组,它会向其父结点发送一个 Leave 消息。父结点接收到此消息之后,将其记录下来,然后再将此消息转发给它的父结点,直到此消息到达它所在的 IPv6 接入网关树的根结点,即拥有 Anycast 地址的 IPv6 接入网关。IPv6 接入网关接收到此 Leave 消息之后,删除此 Anycast 组成员的相关信息并且返回一个 ACK 消息,ACK 消息会按照原路返回,沿路接收到此 ACK 消息的结点(都是移动结点的祖先结点)会删除这个 Anycast 组成员的相关信息并且记录下此 Anycast 组成员已经离开它所在的 Anycast 组这一信息,同时将 ACK 消息转发给子结点,最终,申请离开的 Anycast 组成员会接收到此消息,至此,它成功地离开了 Anycast 组。

在本模型中,为了维护 IPv6 接入网关树拓扑结构的有效性,树中的每个结点都会定期向其父结点发送 Query 消息来获取父结点的当前存在状态,如果移动结点为 Anycast 组成员,它还会在 Query 消息中加入自己当前的度量参数值。父结点接收到子结点的 Query 消息后,会返回一个 QueryResponse 消息。如果发送 Query 消息的结点在规定时间内没有接收到父结点的 QueryResponse 信息,那么它会继续发送 Query 消息。如果结点发送 Query 消息的次数超过预先设定的阈值,那么它会认为父结点已经离开或者宕机。在这种情况下,此结点会重新发送 Join 消息请求加入到其他 IPv6 接入

网关树中,在获取 IPv6 地址之后,它需要重新申请加入 Anycast 组。另一方面,父结点在接收到其孩子结点的 Query 消息之后,会重新置位此孩子结点记录的有效期。父结点如果在孩子结点的有效期内没有接收到它发送的 Query 消息,那么就认为此孩子结点离开或者宕机,从而删除此孩子结点的相关记录(如果是 Anycast 组结点,同时还要删除其 Anycast 组结点信息)释放它所占用的地址与其它资源。

2.3 路由分析

下面讨论 IPv6 网络中的固定结点如何申请 Ad Hoc 网络中的 Anycast 服务。



IPv6Addr: IPv6固定节点的IPv6地址;
MIPv6Addr: Anycast最优组节点的当前IPv6地址;
AnycastAddr: IPv6网定节点建立连接时所用的Anycast地址;

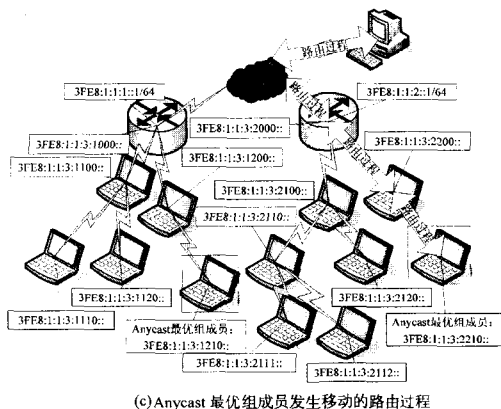
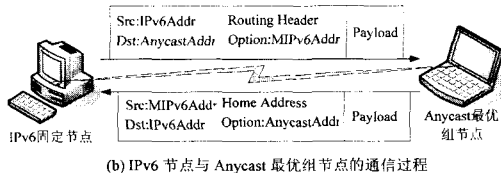


图 2

IPv6 网络中的固定结点发送一个 Anycast 服务请求消息,此 Anycast 服务的域名可以通过 DNS 服务器转化为对应的 Anycast 地址,这样此消息会路由到具有此 Anycast 地址的 IPv6 接入网关上,此网关会根据度量参数值(本模型采用跳数为度量单位)从其所在树中的 Anycast 移动组成员中选择一个最优 Anycast 组成员,然后将此 Anycast 服务请求转发给最优 Anycast 组成员处理。最优 Anycast 组成员在处理这个数据包之后,会发送一个 Anycast 服务响应数据包,其源地址为它当前的 IPv6 地址(Unicast 地址),目的地址为 IPv6 网络中固定结点的 Unicast 地址,此外,此数据包中还包括一

个家乡代理地址头部(Home Address Option),它记录着建立连接时所用的 Anycast 地址。这样,IPv6 固定结点接收到此响应数据包之后,会将其家乡代理地址头部和目的地址提交给上层处理,其目的是使所有 IPv6 地址之间的转换对于上层都是透明的,无需修改上层协议。而 IPv6 网络固定结点接收到最优 Anycast 组成员发送的服务响应数据包之后,也会在后续的数据包中加入一个 Routing Header Option,其内容为 Anycast 最优组成员的 IPv6 地址(Unicast 地址),而目的地址仍然是建立连接时所使用的 Anycast 地址。因此,IPv6 固定结点发送的后续数据包首先被源路由到最优 Anycast 组成员处理,这样 IPv6 固定结点就可以与最优 Anycast 组结点进行顺利的通信,整个过程如图 2(a)和图 2(b)所示。在本模型中,当 Anycast 移动组成员发生移动而与原来所在的 IPv6 接入网关断开连接时,它会重新发送 Join 消息以便加入一个新的 IPv6 接入网关树以继续提供原来的 Anycast 服务。当 Anycast 移动组成员成功地加入到一个 IPv6 接入网关树之后,它会向当前正在通信的 IPv6 结点发送一个 Address-Binding 消息,通知它当前的 IPv6 地址。IPv6 固定结点接收到 Anycast 最优组成员发送的地址绑定消息之后,会调整后续数据包中 Routing Header Option 的内容,将其更新为接收到的最优 Anycast 组结点新的 IPv6 地址。这样,IPv6 固定结点发送的数据包首先被源路由到最优 Anycast 组结点新的 IPv6 地址所在结点,即 Anycast 最优组结点进行处理,从而保证了 Anycast 服务的连续性,如图 2(b)和图 2(c)所示。

3 性能分析

按照上述的设计方案和实现方法,我们建立了一个实验网络。该实验网络采用本文所描述的通信模型,即 Ad Hoc 实验网络内的所有 Anycast 移动组结点都通过自身所在的 IPv6 接入网关树来完成 IPv6 固定结点的 Anycast 服务请求,网络拓扑结构如图 1 所示。

试验中,Ad Hoc 网络中的移动结点数量控制在 30~60 之间,每个移动节点(笔记本电脑)都配有 Cisco Aironet352 无线网卡(IEEE 802.11b 标准),无线网卡配置为 Ad Hoc 模式且采用相同的频道。试验中的 IPv6 接入网关由台式机组成,它同时配有无线网卡和有线网卡,用于实现 Ad Hoc 网络与 IPv6 Internet 的通信。

移动结点的电波传播范围设置为 180m,信道容量为 11Mbps,每个数据包的大小为 1024 字节,其移动速度设置在 0~10m/s 之间。试验网络包括两个 Ad Hoc 网,每个网有 3 个 IPv6 接入网关,它们都拥有共同的 Anycast 地址。此外,本模型采用跳数为选取最优 Anycast 组结点的度量单位,即拥有 Anycast 地址的 IPv6 接入网关总是把距离自己最近的 Anycast 组成员作为最优 Anycast 组成员。

为了测试本模型的性能,比较了在本模型中 IPv6 固定结点获取的 Anycast 服务(FTP 服务)性能与在 OLSR 模式下获取同样服务的服务性能。这里的 OLSR 模式指采用与本模型相同的方式提供 Anycast 服务,但是在 Ad Hoc 内部采用 OLSR 的路由通信机制。

在下列两种不同情况下对本模型以及 OLSR 模型的数据包接收率、控制信息比值以及 TRT 比值进行了分析比较:第一种情况是 Ad Hoc 网络中的 Anycast 移动结点数目发生

变化;第二种情况是 Anycast 移动结点的移动速度发生变化。定义数据包接收率是接收方接收到的数据包数量与发送方发送的数据包数量的比值,控制信息比值是在 OLSR 模型下实现正确路由发送的控制信息数量与在本模型中实现正确路由发送的控制信息数量的比值,TRT 比值是在 OLSR 模型下获取 Anycast 服务所用的总体响应时间(TRT)与在本模型中获取同样服务所用的 TRT 的比值。

如图 3 和图 4 所示,随着 Anycast 移动结点数量的增加,本模型以及 OLSR 模型的数据包接收率都有所提高,控制信息比值与 TRT 比值也有所提高。但是,随着 Anycast 移动结点移动速度的增加,本模型与 OLSR 模型的数据包接收率却有所下降,控制信息比值与 TRT 比值却有所提高,产生以上实验结果的原因在于:1)当 Anycast 移动结点的移动速度增加时,网络拓扑结构会不断地发生变化,本模型中发生移动的 Anycast 移动结点可以迅速地选择一个距离自己最近的 IPv6 接入网关,并加入此 IPv6 接入网关树,然后通过 Address-Binding 消息来保持通信的连续性。此外,移动节点加入新的 IPv6 接入网关树时,只与邻居节点交换控制信息,这对网络性能几乎没有影响;而在 OLSR 模式下,当网络拓扑结构发生变化时,OLSR 需要交换大量的控制信息以维护网络拓扑信息来保证节点之间的正确通信。因此,在 OLSR 模式中,用来维护网络拓扑结构而交换的大量的控制信息消耗了很多网络资源,从而导致了数据包丢失率的增加;2)当 Anycast 移动结点在不同网关之间进行切换时,它会选择一个距离自己最近的 IPv6 接入网关,从而获取新的 IPv6 地址,而此地址的分配无需进行地址重复检测。此外,它也不需要进行转交地址的注册以及与家乡代理建立隧道连接,而是直接开始一个新的通信或者通过地址绑定信息来继续原来的通信,这大大缩短了移动结点在不同网络之间的切换时间,增加了系统的稳定性,但是同时也丢失了一些数据包;3)当 Anycast 移动结点数目增加时,不同的 IPv6 固定结点可以通过不同的 IPv6 接入网关与不同的最优 Anycast 组成员进行通信,也就是 IPv6 固定结点的 Anycast 服务请求被分布到不同的最优 Anycast 移动组结点进行处理,实现了负载均衡,因此,随着移动结点的增加,数据包接收率也随之增加;4)当一个新结点请求加入一个 MANET 网络或者请求成为一个 Anycast 组结点时,它只需要传输很少的控制信息数据包就可以获取新的 IPv6 地址或者成为 Anycast 组成员。由于这些控制信息数据包所占用的 MANET 网络资源对整个系统的性能几乎没有影响,因此,当移动结点数目增加时,这些控制信息数据包的接收率会随之增加。

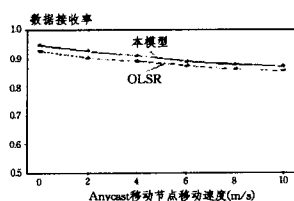


图 3 数据包接收率分析图

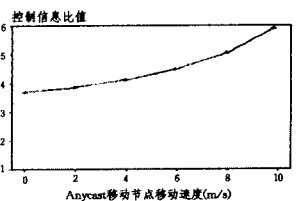


图 4 控制信息比值分析图

实验结果表明,一个 Anycast 移动结点向 IPv6 固定结点提供 Anycast 服务的过程中,无论此 Anycast 移动结点是否发生移动(比如,从一个 IPv6 网关接入树移动到另外一个 IPv6 网关接入树),它都能很好地完成 Anycast 服务请求。

结束语 Ad Hoc 由于其自身的特点越来越成为研究的热点,而 Anycast 服务作为 IPv6 的一个新特性,也越来越成为众人瞩目的焦点。本文提出了一种在 Ad Hoc 网络中实现 Anycast 服务的通信模型,并在实验网络实现了此模型。通过对实验数据的分析可知,此模型很好地实现了在 Ad Hoc 网络中的 Anycast 服务。

由于在 Ad Hoc 网络中实现 Anycast 服务的研究还处于初级阶段,因此还存在许多问题需要进一步探讨和研究。

参 考 文 献

- [1] Hinden, Hindon R, Deering S. Internet protocol version 6 addressing architecture[C]//IETF,RFC 3513. 2003
- [2] Wakikawa R, Malinen J, Perkins C, et al. Global connectivity for IPv6 mobile Ad Hoc networks[C]// IETF Internet Draft, draft-wakikawa-manet-globalv6-03. txt. 2003
- [3] Narten T, Nordmark E, Simpson W. Neighbor discovery for IP version 6 (IPv6)[C]//IETF,RFC2461. 1998
- [4] Thomson S, Narten T. IPv6 stateless address autoconfiguration [C]//IETF,RFC 2462. 1998
- [5] Tseng Yu-Chee, Shen Chia-Ching, Chen Wen-Tsuen. Integrating Mobile IP with Ad Hoc Networks[J]. IEEE Computer,

2003,36(5):48-55

- [6] Lamont L, Wang M, Vilasenor L. Integrating WLAN&MANET to the IPv6 based Internet Communications[C]//ICC'03, IEEE International Conference, May 2003
- [7] Park I K, Kim Y H, Lee S S. IPv6 address allocation in hybrid mobile Ad Hoc networks [C] // Proc. 2nd IEEE Workshop Softw. Technol. Embedded Ubiquitous Comput. Syst. May 2004:58-62
- [8] Perkins C E, Belding-Royer E M, Das S. Ad Hoc on-demand distance vector (AODV) routing[C]//IETF,RFC 3561. 2003
- [9] Perkins C E, Bhagwat P. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers[J]. ACM Comput. Commun. Rev. , 1994, 24(2):234-244
- [10] Clausen T, Jacquet P. Optimized link state routing protocol[C] //IETF,RFC 3626. 2003
- [11] Haas Z J, Pearlman M R. The zone routing protocol (ZRP) for Ad Hoc networks[C]// IETF Internet Draft. draft-ietf-manet-zone-zrp-04. txt, 2002
- [12] Perkins C, Malinen J, Wakikawa R, et al. IP address autoconfiguration for Ad Hoc

(上接第 132 页)

通过对两个栈中的元素进行的匹配验证,说明了基于 Petri 网络技术构建的 ITS workflow 网络结构的正确性和有效性。

结束语 针对智能交通中车辆调度 workflow 建模的核心问题,采用 workflow 管理联盟定义的工作流元模型表达 ITS 中车辆调度业务过程的定义、相关活动、数据和调度条件。以 Petri 网架构 workflow 过程作为核心,将 Petri 网的库所、变迁和弧与 ITS workflow 过程中的相关信息对应,更好地描述了实际的车辆运行业务过程。采用自顶向下的分层树形分解方法建立了适合 ITS 的车辆调度 workflow 模型。设计的 4 个分解规则在构造模型的同时,可有效地避免模型的结构冲突问题。另外,定义的活动的动态添加和删除策略能适应实际车辆运行的实际状况,也使系统具有较好的柔性。最后提供了算法来验证动态修改后的模型的有效性,以检测结构和语义冲突,确保修改后的 workflow 模型的正确性。

参 考 文 献

- [1] Berger C R, Smith E. Intelligent Transportation Systems Provide Operational Benefits for New York Metropolitan Area Roadways: A Systems Engineering Approach[C]// Applications and Technology Conference, 2007. LISAT 2007. IEEE Long Island, May 2007:1-8
- [2] Huang Ailing, Shen Jinsheng, Guan Wei. ITS planning methodology for Chinese cities and its evaluation mode[C]//Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC '06. IEEE, Sept. 2006:1125-1130
- [3] Sorde S W, Aggarwal S K, Jie Song, et al. Modeling and Verifying Non-DAG Workflows for Computational Grids[C]// Serv-

ices, 2007 IEEE Congress. July 2007:237-243

- [4] Zeng Ming, Luo Ying, Yang Yang. A fast method to build Grid workflow system[C]//Machine Learning and Cybernetics, 2008 International Conference. Volume 2, July 2008:629-633
- [5] Liu Min, Yan Jun-wei, Bai Li. The Inter-operating Mechanism of the Alliance-Collaboration-Oriented Dynamic Grid Workflow[C] //Integration Technology, 2007. ICIT '07. IEEE International Conference. March 2007:301-306
- [6] Park M-J, Kim K-H. Control - Path Oriented Workflow Intelligence Analysis and Mining System[C]//Convergence Information Technology, 2007. International Conference. Nov. 2007: 951-960
- [7] 罗新星,岳柳青. 一种基于树形分解的柔性 workflow 模型[C]// 信息系统协会中国分会 2006 年学术研讨会. 2006
- [8] Zhao Wen, Huang Yu, Yuan Chong-yi. Synchronic Distance Based Workflow Logic Specification [C] // High Performance Computing and Communications, 2008. HPCC '08. 10th IEEE International Conference. Sept. 2008:819-824
- [9] Luh Yuan-Ping, Pan. Collaborative workflow solution for distributed product development[C]//Computer Supported Cooperative Work in Design, 2008. CSCWD 2008. 12th International Conference. April 2008:594-599
- [10] Lu Kai, Liu Qiang. An Algorithm Combining Graph-Reduction and Graph-Search for Workflow Graphs Verification[C]//Computer Supported Cooperative Work in Design, 2007. CSCWD 2007. 11th International Conference. April 2007:772-776
- [11] 周温庆,冯文菲,陈继努. 基于 GIS 平台的 GPS 智能车载终端的设计[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2008(21):18-21