

# 移动IPv6网络中Anycast服务的实现

王晓喃<sup>1,2</sup>, 唐振民<sup>2</sup>, 钱焕延<sup>2</sup>

(1. 常熟理工学院计算机科学与工程学院 江苏 常熟 215500; 2. 南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)

**【摘要】**提出了一种基于树状结构的在移动IPv6网络中实现Anycast服务模型, 该模型采用了Unicast与Multicast技术。在该模型中, 每个组成员只通过一个归属地址(无需转交地址)就可以完成与客户端的数据通信; 组成员移动到外区时, 无需向归属代理注册, 也无需在归属代理与转交地址之间建立隧道, 针对路由优化情况, Anycast组成员也无需向客户端发送转交地址的绑定消息; 根据网络的拥挤情况动态地选择最优组成员, 解决了在移动IPv6网络中IPSec很难实现的问题。在IPv6模拟环境下, 实验数据证明了该模型的实用性、有效性以及高效性。

**关键词** 通信; 网络协议; 移动网络; 多播; 网络路由

中图分类号 TP393.02

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2010.01.018

## Implementation of Anycast Service in Mobile IPv6 Network

WANG Xiao-nan<sup>1,2</sup>, TANG Zhen-min<sup>2</sup>, and QIAN Huan-yan<sup>2</sup>

(1. School of Computer Science and Engineering, Changshu Institute of Technology Changshu Jiangsu 215500;

2. School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science & Technology Nanjing 210094)

**Abstract** A new kind of Anycast communication model in mobile IPv6 networks which is built on a tree topology is proposed. The model combines Unicast technology and Multicast technology. Each mobile node in this model has only one permanent address-home address with which it can achieve the communication with clients. In addition, this model can perform IPSec which is difficult to implement in the existing mobile IP communication models. In an IPv6 simulation environment, the experimental data prove the model's effectivity, practicability and efficiency.

**Key words** communication; internet protocol; mobile network; multicasting; network routing

Anycast服务与移动IP服务是IPv6的两大特殊服务。Anycast允许服务申请者访问共享同一个Anycast地址所标识的一组组成员中最近的一个组成员(本文中最近是按路由协议的距离量度单位来计算的); IPv6支持传统网络中节点的移动性。随着Internet的飞速发展及IPv6技术的日趋成熟, 如何在移动IP网络中获取高质量的网络服务成为一个备受瞩目的问题。针对此问题, 本文提出了在移动IP网络中采用Anycast通信模型提供网络服务的解决办法。

文献[1-2]提出了在移动IP网络中实现Anycast通信模型方案。但是这两种方案只是给出了理论性的描述, 并没有给出具体的实现过程与性能分析。这两种方案所描述的客户端与移动IP网络中Anycast组成员进行通信的理论模型是建立在隧道技术基础之上的, 因此不可避免地会产生时间延迟, 严重时可能会导致传输错误; 此外, 方案采用静态机制选

择移动IP网络中的最优Anycast组成员, 而没有根据网络的动态变化提供相应的动态选择机制, 很显然, 在移动网络中选择静态的选择机制是不合适的。

在这种情况下, 本文提出了一种基于树状结构的在移动IPv6网络中Anycast服务实现模型, 该模型将Unicast技术与Multicast技术相结合, 即采用Unicast技术实现Anycast数据包的路由推进, 采用改进的Multicast技术实现Anycast组成员的管理与维护, 同时该模型针对动态的网络拥塞情况, 采用了动态的权值计算机制动态地选择最优Anycast组成员。

## 1 Anycast在移动IPv6网络中的通信

### 1.1 移动节点树定义

Anycast地址所标识的是提供同一种服务的一组节点, 因此RFC2373对Anycast地址的分配做出如下限制:

收稿日期: 2008-06-16; 修回日期: 2009-05-25

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK2009133); 中国博士后科学基金(20090451217)

作者简介: 王晓喃(1973-), 女, 博士后, 副教授, 主要从事网络安全与应用方面的研究。

(1) Anycast地址不可以作为IPv6数据包的源地址使用;

(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, 本文模型规定Anycast地址只能分配给某个区域的代理。由于模型中的Anycast地址结构与Unicast地址结构是相同的, 所以, 如果分配给某个区域代理一个Anycast地址, 那么这个Anycast地址实际上与区域代理的Unicast地址是同一个地址, 只是该地址拥有两个身份, 一个是代表区域代理本身, 另外一个代表一个Anycast组。因此, 在区域内的移动节点就可以向区域代理申请成为Anycast组成员, 提供Anycast服务了。

在模型中, 每个Anycast组成员都对应一棵移动节点树。移动节点树的定义如下:

(1) 一个Anycast组成员唯一地对应一棵移动节点树, 并且这个组成员是该树的根节点;

(2) Anycast组成员所跨越的所有外区代理组成这棵树的枝干节点(或者称作树节点), 用于跟踪维护组成员当前的位置, 归属代理永远是此树的叶子节点, 不难看出, 移动节点树只有一个分支;

(3) 移动节点树拥有唯一的一个树地址, 该地址是根节点的永久地址, 即归属地址(本文以下出现的Unicast地址都是指归属地址)。

### 1.2 移动节点树

#### 1.2.1 移动节点树初始化

当一个移动节点请求加入其归属代理所代表的Anycast组时, 它向归属代理发送一个加入请求消息, 如果归属代理允许它加入, 就返回一个确认消息, 移动节点就成为该Anycast组的一个Anycast组成员了。在获取Anycast组成员身份之后, 新的Anycast组成员开始按照下述过程构建自己的移动节点树。

新的Anycast组成员X向其归属代理发送一条邀请(Invite)消息以请求归属代理加入它的移动节点树, 该消息包括它的Unicast地址; 归属代理接收到Invite消息后, 会将自己标记为该移动节点树的叶子节点并记录下它的父节点(即组成员)的Unicast地址, 返回一个接受消息(Accept); 组成员收到Accept消息后, 记录下它的孩子节点(即归属代理)的Unicast地址, 同时将自己标记为移动节点树的根节点。移动节点树的初始化工作结束, 整个过程如图1所示。

△根节点(即 Anycast 组成员)

○叶子节点(即归属代理)

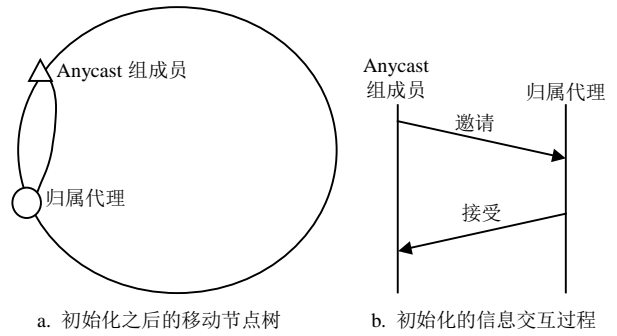


图1 移动节点树初始化

#### 1.2.2 移动节点树的更新过程

当Anycast组成员发生移动时, 它所对应的移动节点树的树节点也会随之变化。

为了防止移动节点树出现环路, 本文模型在Anycast组成员中保存着一个路径域, 记录Anycast组成员所跨越的所有区域的网络地址。路径域的初始值为归属区域的网络地址。当Anycast组成员移动到一个新的外区域时, 首先获取该外区域的网络地址, 然后与其路径域的值进行比较, 如果没有重复, 就证明该移动节点树没有形成回路, 那么将按照步骤(1)实现移动节点树的更新; 如果出现重复, 就证明此移动节点树出现回路, 将按照步骤(2)过程进行移动节点树的更新。

(1) 移动节点树没有形成回路。

当Anycast组成员X移动到一个新的外区域时, 会向新的外区域代理Y发送一个Invite消息请求Y加入它的移动节点树T, 该消息包括T的树地址以及X当前孩子节点C的归属地址; Y接收到Invite消息之后, 会将自己标记为T的树节点, 并记录下它的父节点(即X)的Unicast地址, 然后向X返回一个Accept消息, 同时还会向C发送一个更新消息(Update)。Accept该消息包括T的树地址以及其本身的Unicast地址; X接收到Accept消息之后, 删除C的信息, 将Y作为新的孩子节点, 并且记录下相关信息, 最后, 将新的外区域的网络地址加入到它本身的路径域中; C接收到Update消息之后, 首先删除当前父节点(即X)的信息, 将Y作为新的父节点, 同时记录下它的相关信息, 最后向Y返回一个确认消息(Confirmation), Y接收到此消息之后, 会将C作为自己的孩子节点记录下来。至此, X的移动节点树的更新过程结束, 整个过程如图2所示。

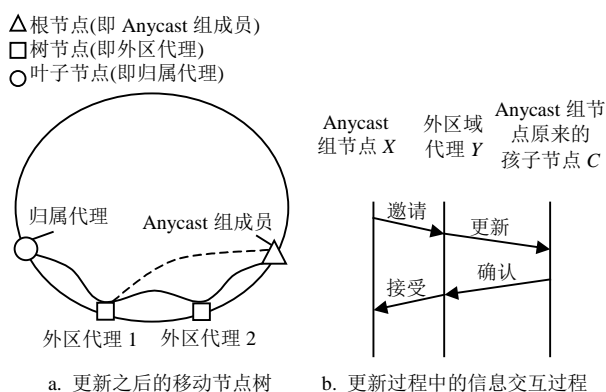


图2 没有形成回路的移动节点树更新过程

## (2) 移动节点树形成回路。

当Anycast组节点X移动到一个新的外区域, X首先向其孩子节点C发送一条离开消息(leave), 该消息包括它所在新区域的网络地址(X曾经跨越过此区域, 因此构成回路)以及它的移动节点树T的树地址。C接收到Leave消息之后, 首先比较自己所在区域的网络地址是否与Leave消息中的网络地址值相同, 如果不相同, 首先删除自己作为移动节点树T的树节点身份及相关记录, 然后向它的孩子节点转发Leave消息, 孩子节点收到Leave消息后, 重复上述过程, 直到Leave消息到达一个孩子节点C', 它所在区域的网络地址与Leave消息中的网络地址值相同。C'接收到Leave消息之后, 发现自己所在区域的网络地址与Leave消息中的网络地址值相同, 首先会删除原来的父节点F'的信息, 将X作为新的父节点, 并记录下X的Unicast地址, 孩子节点不变, 然后C'会向X发送一个Confirmation消息, X接收到Confirmation消息之后, 首先从其路径域中删除已经离开的树节点, 同时删除自己原来的孩子节点, 把C'作为新的孩子节点, 记录下其相关信息。至此, T的更新过程结束, 如图3所示。

### 1.3 权值计算

本文模型采用权值的方式来获取最优Anycast组节点。拥有Anycast地址的归属代理维护着该Anycast组所有组成员所对应的移动节点树的相关信息记录, 记录中有一个权值域用以描述移动节点树根节点(即Anycast组成员)的性能参数。

计算信息熵能够了解某种事务的发展趋势。本文模型通过信息熵的概念, 采用计算路径某一度量的平均值比较路由状态的优劣趋势, 通过计算移动节点树的平均带宽和平均移动速度获取所对应的根节点(Anycast组成员)在其归属代理的权值。

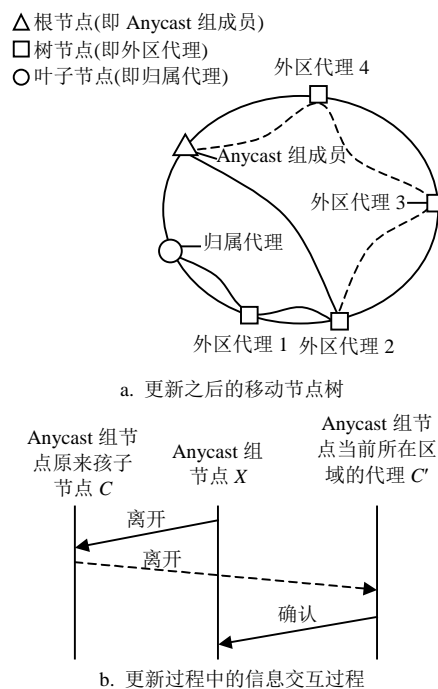


图3 形成回路的移动节点树更新过程

假设一个Anycast组有N个组成员, 每个组成员 $G_i$ 对应一个移动节点树 $T_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ), 根节点是 $M_i$ , 叶子节点 $L_i$ 是 $T_i$ 的第一个节点, 叶子节点的父节点是 $T_i$ 的第二个节点, 以此类推。这样, 可以获取 $T_i$ 中第k个节点的平均带宽为:

$$\bar{B}_{i,k} = (h_{i,k} \bar{B}_{k,Child} + B_{i,k}) / (h_{i,k} + 1) \quad (1)$$

式中  $\bar{B}_{i,k}$  为 $T_i$ 中第k个节点的平均带宽;  $h_{i,k}$  为第k个节点到达 $L_i$ 的距离(本模型以跳数为度量单位);  $\bar{B}_{k,Child}$  为第k个节点的孩子节点的平均带宽;  $B_{i,k}$  为第k个节点的当前带宽。

通过式(1), 可以得出 $T_i$ 中 $M_i$ 的平均带宽为:

$$\bar{B}_{i,Root} = (h_{i,Root} \bar{B}_{Root,Child} + B_{i,Root}) / (h_{i,Root} + 1) \quad (2)$$

式中  $\bar{B}_{i,Root}$  为 $M_i$ 的平均带宽;  $h_{i,Root}$  为 $M_i$ 到达 $L_i$ 的跳数;  $\bar{B}_{Root,Child}$  为 $M_i$ 的孩子节点的平均带宽;  $B_{i,Root}$  为 $M_i$ 的当前带宽。

同理可获取 $T_i$ 中第k个节点的平均移动速度为:

$$\bar{V}_{i,k} = (h_{i,k} \bar{V}_{k,Child} + V_{i,k}) / (h_{i,k} + 1) \quad (3)$$

式中  $\bar{V}_{i,k}$  为 $T_i$ 中第k个节点的平均移动速度;  $h_{i,k}$  为第k个节点到达 $L_i$ 的跳数;  $\bar{V}_{k,Child}$  为第k个节点的孩子节点的平均移动速度;  $V_{i,k}$  为第k个节点的当前移动速度。

通过式(3), 可以得出 $M_i$ 的平均移动速度为:

$$\bar{V}_{i,Root} = (h_{i,Root} \bar{V}_{Root,Child} + V_{i,Root}) / (h_{i,Root} + 1)$$

式中  $\bar{V}_{i,Root}$  为 $M_i$ 的平均移动速度;  $h_{i,Root}$  为 $M_i$ 到达

$L_i$ 的跳数;  $\bar{V}_{Root,Child}$  为 $M_i$ 的孩子节点的平均移动速度;  $V_{i,Root}$  为 $M_i$ 的当前移动速度。

在本文模型中, 假设所有的代理都是不可移动的, 那么 $M_i$ 的平均移动速度可以用如下公式来计算:

$$\bar{V}_{i,Root} = V_{i,Root} / (h_{i,Root} + 1) \quad (4)$$

因此, 利用 $M_i$ 的平均带宽以及平均移动速度可以计算出 $M_i$ 的综合评价价值 $\phi_i$ 为:

$$\phi_i = \frac{\bar{B}_{i,Root}}{\sum_{k=1}^N \bar{B}_{k,Root}} + \left( 1 - \frac{\bar{V}_{i,Root}}{\sum_{k=1}^N \bar{V}_{k,Root}} \right) \quad (5)$$

式中 平均移动速度取的是相反数, 因为 $M_i$ 的平均带宽越大, 平均移动速度越小, 证明从 $M_i$ 到达 $L_i$ 的路径越稳定, 服务性能越好。因此,  $M_i$ 的 $\phi_i$ 值越大, 证明它能提供质量越好的Anycast服务。

最后, 可以得到Anycast组成员 $G_i$ 的权值为:

$$w_i = \frac{\phi_i}{\sum_{k=1}^N \phi_k} \quad (6)$$

式中  $w_i$  是组成员 $G_i$ 的权值。

### 1.4 获取最优Anycast组成员

当用户请求Anycast服务时, 首先需要将Anycast地址转换为Unicast地址, 可以通过发送地址转换消息来完成, 该消息首先被路由到拥有该Anycast地址的归属代理。归属代理根据它所维护的Anycast组成员记录中的权值域选择权值最大的Anycast组成员作为最优组成员, 然后将最优组节点的Unicast地址返回给客户端。此后, 客户端与最优组成员直接进行通信获取Anycast服务。假设Anycast组成员1的当前带宽为4 Mb/s, 速度为2 m/s, Anycast组成员2的当前带宽为3 Mb/s, 速度为6 m/s, Anycast组成员3的当前带宽为4 Mb/s, 速度为4 m/s, 那么得到如图4所示的移动节点树权值图。

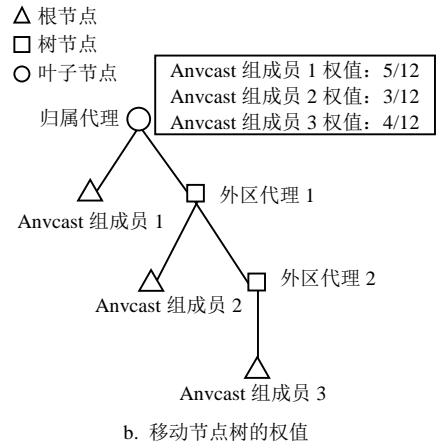
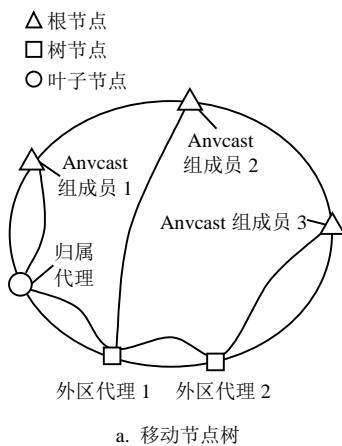


图4 移动节点树与其权值图

当客户端发送的Anycast地址转换请求消息到达归属代理之后, 归属代理会选择Anycast组成员1作为最优组成员, 并将其Unicast地址返回给客户端, 客户端就可以与最优Anycast组成员进行直接通信获取Anycast服务了。

### 1.5 客户端与最优Anycast组成员的通信

在本文模型中, 无论最优Anycast组成员在归属区域内还是在外区域, 客户端都能通过归属地址与其通信, 通信过程如下。

客户端发送Anycast服务请求消息给最优Anycast组成员, 该消息的源地址为客户端的Unicast地址, 目的地址为最优组成员的Unicast地址。该消息会朝着最优组成员所对应的移动节点树的叶子节点(即归属代理)的方向进行路由推进。在路由过程中, 该消息途经的每个外区代理都会检查自己是否为相应移动节点树的树节点。如果不是, 它将继续路由该消息; 如果是, 那么它就接收该消息。最后, 该消息会到达移动节点树的某个树节点或者叶子节点 $X$ ,  $X$ 将接收到的消息转发给它的父节点, 父节点同样再将该消息转发给它的父节点, 依次类推, 直到该消息到达移动节点树的根节点, 即最优Anycast组成员。最优组成员接收到该消息后进行处理, 然后发送一个响应消息给客户端, 该响应消息的源地址为最优Anycast组成员的Unicast地址, 目的地址为客户端的Unicast地址。至此, 客户端与最优组成员的一次通信交互过程完成, 如图5所示。

由于移动节点的带宽与移动速度都是动态变化的, 因此, Anycast组成员的权值也会随之变化。在模型中, 拥有Anycast地址的归属代理会定期向其组成员发送权值查询消息以确保权值的有效性。

模型采用以下算法计算归属代理更新其所属Anycast组成员权值的频率: 归属代理每间隔时间 $L$

检测一次经过自身的客户请求流量,如果当前检测到的流量值与上次检测到的流量值之差的绝对值大于当前的阈值 $m$ (其初始化值为 $T$ ,即系统允许的最大阈值),则更新其所属Anycast组成员的权值;如果当前的流量值与上次检测到的流量值之差的绝对值小于阈值 $m$ ,那么就将 $m$ 的值减去步长 $R$ 。在客户流量比较平稳的情况下,归属代理至少能每隔 $TL/R$ 的时间单位发送一次权值更新消息;反之,它至多每隔 $L$ 时间单位发送一次权值更新消息。

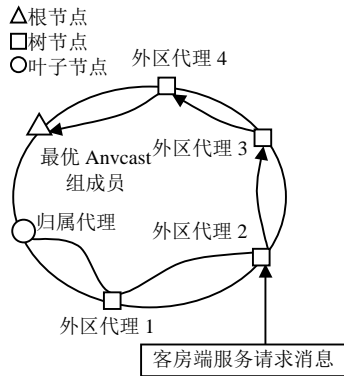


图5 最优Anycast组成员与客户端的通信过程

## 2 性能分析

在模拟的移动IPv6网络中,将48个节点连接到百兆以太网上,同时利用Modelnet模仿广域网物理拓扑结构。每个节点代表一台路由器(代理),与若干台移动主机相连,这些移动主机的处理能力都相同,可以自由地从一个网段移动到另一个网段。实验设定一个Anycast组(包括16个成员),为了有效地测试网络拥塞情况,实验设置路由器(代理)之间链路层通信能力为15 Mb/s,客户端与路由器以及Anycast组成员与路由器(代理)之间的链路层通信能力为5 Mb/s。

在上述的实验环境中,本文模型实现了文献[1]模型下的Anycast服务。在初始状态下,这两种模型中拥有Anycast地址的归属区域内包括16个Anycast组成员,这些组成员都是彼此的镜像,都可以处理客户的服务请求。文献[1]模型采用跳数作为距离度量单位,即把当前距离归属代理最近(即跳数最少)的Anycast组成员作为最优Anycast组成员。

本文模型的性能分析是通过比较两种模型中获取同样Anycast服务(如文件服务)的TRT值以及数据包接收率来实现的。因为从用户角度来看,Anycast服务的响应时间(TRT)越短,用户认为服务质量越好。而从系统角度来看,一个网络系统的数据包接收率越高,说明系统越稳定。本文所说的数据包接

收率是指接收方接收到的数据包总数量与发送方发送的数据包总数量的比值。通过实验数据,得到如图6和图7所示的性能分析图。

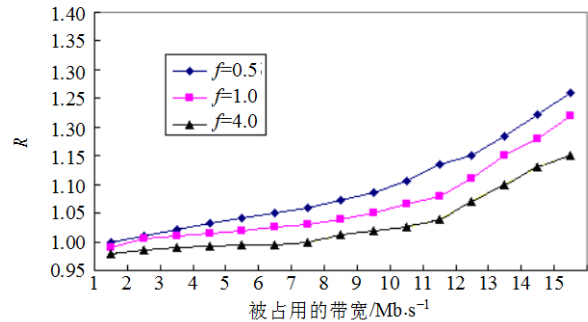


图6 TRT性能分析图

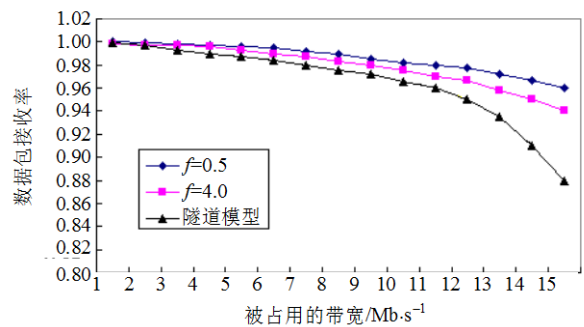


图7 数据包接收率分析图

图6中,  $R=T_{\text{Tunnel}}/T$ ,  $T_{\text{Tunnel}}$ 为已有隧道模型中获取Anycast服务的TRT值,  $T$ 为在本文模型中获取Anycast服务的TRT值。本文实验分别讨论了权值平均更新时间间隔 $f$ 为0.5、1、4 h的情况。从图6可知,权值更新频率越高,Anycast服务响应时间越短,这是因为归属代理可以及时地了解Anycast组成员的当前状态,从而对最优组成员的选择做出及时调整,保证把当前性能最好的组成员分配给客户端使用。从图7可知,随着权值更新频率的减少,数据包接收率也随之下降,这是因为归属代理权值更新不及时,不断地将客户端请求发送到没有更新之前的最优Anycast组成员进行处理,从而导致路径拥塞数据包接收率下降。在已有隧道模型中,当网络带宽的占用率接近饱和时,数据包接收率会下降,服务响应时间会增加,这是因为已有模型并没有采用归属代理到达Anycast组成员这段路径的平均带宽以及移动速度等动态参数作为选择最优Anycast组成员的度量单位。此外,如果网络拓扑不发生变化,归属代理所选择的最优组成员就会一直不变,客户端的数据包就很有可能按照同一路径被路由到最优组成员,从而引起网络拥塞。

## 4 结束语

本文提出了一种基于树状结构的在移动IPv6网络中Anycast服务实现模型, 该模型采用了Unicast技术与Multicast技术, 并在网络仿真环境下得以实现, 实验数据证明了该模型的有效性及其高效性。

### 参 考 文 献

- [1] HUANG Ling-ling, WONG Yung-chang, LEE J F. A hierarchical anycasting strategy for large-scale IPv6 Networks[C]//Proceedings of the 13th Mobile Computing Workshop. New York: IEEE, 2007.
- [2] DOI S, ATA S, KITAMURA H, et al. Design, implementation and evaluation of routing protocols for IPv6 anycast communication[C]//IEEE 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. New York: IEEE, 2005.
- [3] AFERGAN M, WEIN J. Experience with some principles for building an internet-scale reliable system[C]//RLDS, New York: IEEE, 2005.
- [4] FREEDMAN M J. Anycast for any service[C]//NSDI. Washington D C: ACM, 2006.
- [5] LAI Wei-kuang, SHIEH C S, KUO Yi-cheng. Reliable broadcasting in ad hoc wireless networks with MAC mini-slots and directional antennas[J]. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2007, (3): 1487-1500.
- [6] WU B, WU J. K-anycast routing schemes for mobile Ad hoc networks[C]//Proc of IEEE IPDPS. [S. l.]: IEEE, 2006.
- [7] ABLEY J, LINDQVIST K. RFC4786: Operation of anycast services[S]. IETF, 2007.
- [8] AFERGAN M, WEIN J, LAMEYER A. Experience with some principles for building an internet-scale reliable system[C]//Proceeding of Second Workshop on Real, Large Distributed System. New York: IEEE, 2005.
- [9] BALLANI H, FRANCIS P. Towards a global IP anycast service[C]//Proceeding of the 2005 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications. Washington D C: ACM, 2005.
- [10] NAKHJIRI M, CHOWDHURY K. RFC5030: Mobile IPv4 radius requirements[S]. IETF, 2007.
- [11] WANG Xiao-nan, QIAN Huan-yan. Analysis and discussion of anycast scalability in IPv6[J]. International Journal of Network Management, 2007, 17(4): 321-328.
- [12] DOI S, ATA S, KITAMURA H, et al. IPv6 anycast for simple and effective communications[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(5): 163-171.

编辑 税 红

(上接第57页)

- [10] 逯美红, 沈京玲, 郭景伦, 等. 太赫兹成像技术对玉米种子的鉴定和识别[J]. 光学技术, 2006, 32(3): 361-363, 366.  
LU Mei-hong, CHEN Jing-ling, GUO Jing-lun, et al. Identification of maize seeds using terahertz transmitted spectral imaging[J]. Optical Technique, 2006, 32(3): 361-363, 366.
- [11] MICHAEL J F, DUNJA S, CARROLINE D, et al. THz spectroscopy of explosives and related compounds[J]. Terahertz for Military and Security Applications II, 2004, 5411: 84-91.
- [12] TIMOTHY D D, RICHARD G B, DANIEL M M. Material parameter estimation with terahertz time domain spectroscopy[J]. J Opt Soc Am A, 2001, 18(7): 1562-1571.
- [13] DUBILLARET L, GARET F, COUTAZ J L. Highly precise determination of optical constants and sample thickness in terahertz time domain spectroscopy[J]. Appl Optics, 1999, 38(2): 409-415.
- [14] WALTHER M, FISCHER B M, UHD J P. Noncovalent intermolecular forces in polycrystalline and amorphous saccharides in the far infrared[J]. Chem Phys, 2003, 288: 261-268.
- [15] MARKELZ A G, ROITBERF A, HEILWEIL E J. Pulsed terahertz spectroscopy of DNA, bovine serum albumin and collagen between 0.1 and 2.0 THz[J]. Chem Phys Lett, 2000, 320: 42-48.
- [16] WALTHER M, FISCHER B, SCHALL M, et al. Far-infrared vibrational spectra of all-trans, 9-cis and 13-cis retinal measured by THz time-domain spectroscopy[J]. Chem Phys Lett, 2000, 332: 389-395.

编辑 蒋 晓