

在分裂的机会网络中多个消息摆渡的路由设计*

唐丽均¹, 柴毅¹, 李云²

(1. 重庆大学自动化学院, 重庆 400044; 2. 重庆邮电大学移动通信重点实验室, 重庆 400065)

摘要: 针对机会网络中节点分布不规则造成分割的网络区域相隔较远的情况, 提出了一种基于全局消息摆渡和节点中继的多摆渡路由算法(GMF-NRA)。该算法使用一个全局消息摆渡节点和各个区域内的中继节点为运行于区域内部的局部消息摆渡节点中继消息, 共同完成区域间的信息传输。摆渡节点在中继节点处交互区域间的信息, 以至于不再需要摆渡节点之间实现在线协作转发消息。最后, 仿真结果表明 GMF-NRA 较现有的节点中继算法在网络的平均传输时延和数据交付率方面能获得更好的网络性能。

关键词: 机会网络; 路由协议; 中继节点; 局部消息摆渡; 全局消息摆渡; 多摆渡路由

中图分类号: TP393.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)06-1775-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.06.045

Route design for multiple message ferries in partitioned opportunistic networks

TANG Li-jun¹, CHAI Yi¹, LI Yun²

(1. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Key Lab of Mobile Communication Technology, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: This paper proposed a new routing algorithm for multiples ferries based on global message ferry and node relaying (GMF-NRA), which aimed at the scenario there are remote distances between the partitioned regions due to the irregular distribution of nodes in the opportunistic networks. The algorithm used a global message ferry and relay nodes located in individual region to relay messages for those local message ferries moving within region, which helped to complete inter-region messages transmission. Two kinds of message ferries exchange inter-region messages in the relay node deployed for each region, so that the online collaboration between ferries is not necessary again. The simulation shows GMF-NRA can provide the better performance than the existing node relay algorithm (NRA) in terms of the average delivery delay and the delivery rate.

Key words: opportunistic networks; routing protocol; relay node; local message ferry; global message ferry; multi-ferries routing

0 引言

传统的 Ad hoc 网络中提出的路由机制是基于假设节点和节点之间存在着完整的端到端的路径, 而机会网络^[1,2]是一种节点与节点之间不存在端到端路径并存在网络分裂的间断连接网络。因此传统的 Ad hoc 网络路由机制并不适用于机会网络。

在机会网络中, 由于节点间不能直接通信, 需要通过节点的移动来协助数据转发。迄今为止, 研究学者们提出了多种基于节点移动辅助转发的机会网络的路由技术^[3]。基于节点的移动控制模型分为两类路由方法: 一类是基于节点随机移动的模型来传输消息; 另一类是控制节点移动的模型, 其中节点需要改变原来的路径收集或转发数据。前一类路由协议主要有传染路由^[4]、概率路由^[5]及喷雾和等待路由^[6]; 第二类为消息摆渡路由^[7]等。传染路由是采取一种洪泛的消息散布方式, 在消息到达终点之前, 它会将消息复制给每一个相遇节点, 大量的消息副本会过度消耗网络资源。为了减少网络开销, 许多控制消息副本的路由被相继提出, 概率路由就是其中之一。它根据节点历史相遇信息来决定将消息中继给最有可能与目的节点相遇的下一跳节点, 以此来限制消息副本。喷雾和等待路

由是另一种限制副本的路由, 它分为两个阶段: 喷雾阶段, 源节点分发一定数量的消息副本给最先遇到的多个中继节点; 等待阶段, 携带副本的中继节点等待与目的节点的相遇, 完成数据的交付。

上述路由方法主要依靠节点的随机移动来完成, 而消息摆渡路由则需要控制节点的移动轨迹, 利用一些特殊的摆渡节点并按照特定的路径移动为源节点和目的节点之间传递数据。基于节点在数据通信中的分工不同, 消息摆渡路由机制中的节点可以分为摆渡节点和普通节点两类。摆渡节点是一种可以移动的节点, 负责为其他普通节点运送数据, 普通节点则没有相应的功能, 只能收发数据。信息摆渡路由技术主要应用于节点分布不规则的稀疏网络场景, 例如偏远的乡村网络通信和灾后恢复。文献[7]介绍了单摆渡路由(single ferry, SF)和多摆渡路由(multiple ferries, MF)两种方法。SF使用一个摆渡节点为网络中的所有普通节点服务, 而MF使用多个摆渡节点为网络中的普通节点服务。对于这两种摆渡路由, 消息摆渡节点的移动轨迹可以是预先设定的, 也可以是动态变化的。

针对动态变化的摆渡路由, 文献[8]提出了两种消息摆渡路由机制: 摆渡节点发起的消息摆渡(ferry-initiated message ferry, FIMF)和普通节点发起的消息摆渡(node-initiated mes-

收稿日期: 2012-10-11; 修回日期: 2012-11-22 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61071118)

作者简介: 唐丽均(1981-), 女, 重庆潼南人, 博士研究生, 主要研究方向为机会网络(tanglijun_20022163.com); 柴毅(1962-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为卫星通信(chaiyi@cqu.edu.cn); 李云(1974-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为机会网络、无线传感器网络。

sage ferry, NIMF)。其中 FIMF 需要让摆渡节点改变自己的运动轨迹来主动靠近普通节点以获取数据。在 NIMF 机制中,摆渡节点按照预定轨迹运动,而需要转发数据的普通节点主动靠近摆渡节点以交互数据。在一些偏远的乡村通信中,可以将摆渡路由扩展为多个摆渡路由机制,多摆渡路由可以为每一个摆渡分配相应的服务区域或所有的摆渡都围绕整个网络区域移动。文献[9]中提出了几种多摆渡路由的方案,即单路径算法(single-route algorithm, SIRA)、多路径算法(multi-route algorithm, MURA)、节点中继算法(node relaying algorithm, NRA)及摆渡中继算法(ferry relaying algorithm, FRA)。其中 SIRA 是多个摆渡节点按照同一条路径为全网络的普通节点传输数据;MURA 则是各个摆渡沿着不同的路径为普通节点传送信息;而 NRA 和 FRA 则是分别以普通节点和摆渡节点作为中继的方式来完成各消息摆渡之间的信息交互。

文献[10]提出的基于网格的多个摆渡路由就是使用节点中继算法完成多个摆渡之间的数据交互,为了使网络中的任意节点间都可以通信,各个摆渡节点之间的路径必须是全连通的。文献[11]的摆渡路由设计主要目标是在一定的消息传输时延下寻找最少的摆渡节点个数和最短的摆渡节点运行路径来传输数据信息,同样没有考虑在节点的不规则分布时导致空白区域出现情况下减少时延的有效方法。

针对偏远的乡村通信中由于网络节点不规则分布导致的空白区域存在问题,本文提出的摆渡路由方案将多个消息摆渡节点赋予在不同的区域内收集或转发数据任务,并能为摆渡节点选择较优的移动轨迹,以更短的时延将偏远乡村之间的信息传送到目的节点,尽可能地提高网络性能。

1 网络模型及假设

本文主要集中于摆渡系统在偏远乡村通信中的应用。文献[10]中的 NRA 路由机制为了实现不直接相连的节点间的数据传输,通过引入摆渡节点来实现网络的全连通性,即相邻区域内的消息摆渡运行路径必须有重合的节点,通过重合的节点来完成区域间数据的交互,如图 1 所示。在乡村通信中,每个乡村代表一个分裂的网络区域,当乡村之间的距离相隔较远,并出现不包含任何节点的空白区域时,如图 2 所示的网络环境,采用 NRA 机制势必会导致消息摆渡节点运动路径过长,由此会带来较长的数据传播时延。

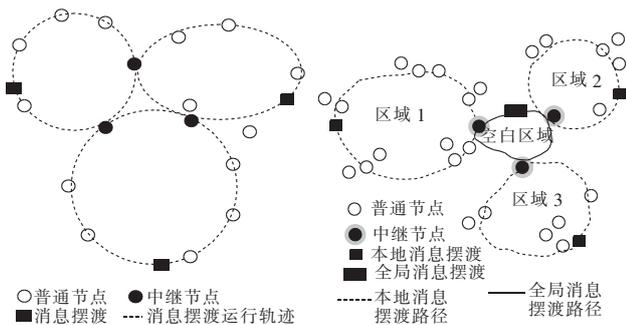


图 1 NRA 摆渡路由

图 2 GMF-NRA 摆渡路由

基于 NRA 机制的在偏远乡村通信中存在的上述问题,本文引入全局消息摆渡节点负责相距较远的乡村之间的数据通信模型(global message ferry and node relaying algorithm, GMF-NRA)摆渡路由。如图 2 所示,网络中每个区域代表一个乡村,区域内包含若干个普通节点,这些节点可以在区域内任意

移动,普通节点拥有的资源有限(比如电池能量、存储容量和计算能力等),在大多数时间里,区域内的普通节点之间无法直接通信。摆渡节点比普通节点拥有更多的资源,例如穿梭于乡村之间的公共汽车,配备有大容量存储设备和无线通信接口,在不连通的区域间负责搜集或转发数据。在乡村通信中,相遇点是大多数人能频繁相遇的重要位置,比如公交车站、集市场所等。在这里,摆渡节点能与它所访问的节点进行最长时间的通信。

在本文提出的摆渡机制中,网络中包含多个不连通区域,采用多个消息摆渡节点使得不直接连接的节点之间能够实现通信。这里主要采用了两种类型的摆渡节点:全局消息摆渡(global message ferry, GMF)和本地消息摆渡(local message ferry, LMF)。如图 2 所示,每个区域有一个 LMF 和静态的中继节点(relaying node, RN)。RN 配置在重要的相遇点,如前所述的公交车站、集市场所。在每个区域内部,由于节点的移动或稀疏的居民节点分布导致出现网络分区,在每一个分区中,节点之间是连通的,一个拥有更多邻居的节点的普通节点所在的位置被选举作为此分区的路点(way point),路点用来确定 LMF 的移动路径,LMF 每次启程前都要确定它的运动轨迹。LMF 的运动轨迹需要覆盖区域内的所有路点并通过最短路径算法计算(travelling salesman problem, TSP)获得。要选择路点,就必须清楚节点位置,因此可以使用 GPS(global positioning system)获取节点位置。本文中假设普通节点偶尔或很少移动,那么只有 LMF 能帮助更多的节点通信。

GMF 沿着固定的路径移动,它的移动路径覆盖所有的中继节点。LMF 从普通节点或中继节点收发数据,因此 LMF、GMF 与普通节点之间不需要在线协作传输数据。GMF 负责区域间的数据传输,LMF 负责本区域内节点间的数据或与 RN 交互数据。

2 GMF-NRA 方案

由以上 GMF-NRA 的网络模型可知,网络中拥有四种类型节点:普通节点、中继节点、区域消息摆渡节点、全局消息摆渡节点。它们在信息的传输过程中有各自不同的分工。

2.1 普通节点的消息传输流程

如果普通节点有数据分组要转发,如果恰好碰到 LMF 经过,就将分组转发给 LMF,否则就将分组保存在节点缓存里等待 LMF 到来。

2.2 LMF 的消息传输流程

- a) LMF 维护一个包含本区域内所有普通节点位置信息的链表,这个链表可以通过 GPS 获得,主要用来确定 LMF 的移动轨迹,并且在计算 LMF 的移动轨迹前要更新这些位置信息。
- b) 在 LMF 每次巡回移动开始之前,区域内的每个分区将选择一个路点,并计算一条覆盖所有路点的 LMF 移动路径。
- c) 如果 LMF 缓存内的消息的目的节点是本区域内节点,LMF 遇到相应的目的节点就转发此消息,并从缓存中删除副本,否则等待与 RN 的连接。

d) 如果 LMF 到达 RN 的通信范围内,与 RN 交换消息,完成区域间的信息交付。

2.3 GMF 的消息传输流程

- a) 当 GMF 收到消息后,如果 GMF 与缓存中消息的目的节

点相遇,那么将此消息发送给目的节点,并在缓存中删除消息副本。

b) 否则 GMF 将消息送往目的节点所在区域对应的 RN,由本区域的 RN 将消息传送到对应的目的节点。

2.4 RN 的传输消息流程

a) 如果消息的目的节点在 RN 范围内,直接将消息转发给目的节点,并在缓存中删除消息。

b) 否则,如果 LMF 进入 RN 的通信范围,RN 将从 LMF 节点接收发往本区域外节点的信息,并等待 GMF 的到来,将消息转发给 GMF,在缓存中删除对应的消息副本。

c) 如果 GMF 进入 RN 的通信范围,RN 从 GMF 接收来自其他区域转发给本地区域的消息,当 LMF 到来时,将消息转发给 LMF,进一步转发给位于本区域中的目的节点。

以上四类具有不同功能的节点通过异步通信的方式,使得分裂的网络区域之间的消息可靠传输得到了一定的保证。要尽可能地提高消息传输性能,摆渡节点的移动路径规划起着决定性的作用,在本文方案中,每个网络区域包含多个分区,每个分区代表有一个或多个节点的连通区域,如图 2 所示。每个分区中有着最多邻居节点的普通节点所在位置作为路点,LMF 的移动轨迹将是覆盖本区域内所有路点的最短路径。

2.5 LMF 的动态路径计算

1) 发现区域内每个节点的邻居节点数

a) 让 A 表示区域内所有节点的集合, $A = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_q\}$

b) for $n_i \in A$, do

初始化 n_i 的邻居节点数为 0, neighbor of $n_i = 0$

for $n_j \neq n_i \in A$, do

if n_j is neighbor of n_i then

neighbor of $n_i = \text{neighbor of } n_i + 1$

end

end

2) 为路径计算发现路点

a) 标记集合 A 中的所有节点为未访问节点

b) 为区域中的每个分区寻找拥有最多邻居节点数的节点让 $B = \{\emptyset\}$ 表示区域中拥有最多邻居节点数的节点集合

while(A 中任何未访问的节点) do

highest-neighbor = 0

for A 中每个未访问的节点 do

if neighbor of $n_i > \text{highest-neighbor}$ then

highest-neighbor = neighbor of n_i

highest-neighbor-node = n_i

end

$B = B \cup \text{highest-neighbor-node}$

标记出 highest-neighbor-node 和它的邻居节点为已访问节点

end

3) 用 TSP 算法计算出一条覆盖集合 B 中所有节点位置的最短路径。

3 仿真分析

通过改变网络的普通节点个数 N 、LMF 个数 M 、全网络产生的数据流量,对两种多摆渡路由方案 GMF-NRA 和 NRA 的网络性能进行了比较分析,仿真实验平台为 ONE^[12] (opportunistic networking environment simulator)。机会网络有两个重要的性能评价指标:平均传输时延和数据交付率。其中平均传输时延为全网络的消息从源节点产生到第一个消息副本被送达

到目的节点在网络中的平均传播时间。数据交付率是网络中被成功传输到目的节点的消息数量占网络总共产生的消息数量的比率。仿真参数配置为:网络大小 12 km × 12 km;区域摆渡 LMF 和全局摆渡 GMF 的通信半径为 300 m,它们运动速度都为 20 m/s;普通节点的通信半径为 150 m;默认的网络划分区域个数为 9;网络带宽为 20 Kbps;网络仿真时间设为 26 500 s。

3.1 普通节点个数 N 对网络性能的影响

图 3 和 4 分别显示了普通节点个数 N 对网络的平均传输时延和数据交付率的影响。随着普通节点个数 N 的增加,网络中消息的平均传输时延增大,而数据交付率却降低。那是因为本地摆渡节点 LMF 的运行路径需要覆盖区域内部更多的节点,节点增加导致 LMF 运行路径长度增长从而使网络中消息的平均传输时延更长。时延增大导致很多消息在有限的生命周期内无法到达目的节点,同时网络中产生的消息更多,并且网络的带宽受限,这些因素都会降低网络中数据成功交付的比率。

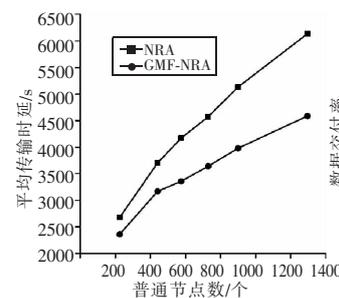


图 3 普通节点个数 N 对平均传输时延的影响

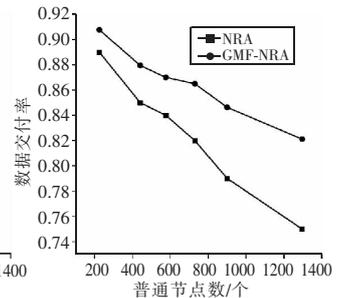


图 4 普通节点的个数 N 对数据交付率的影响

由于仿真中网络节点分布不均匀且稀疏,存在空白区域,NRA 方案中只采用了本地摆渡 LMF 和中继节点 RN 转发消息,为了使区域间消息能成功转发,相邻的两个区域必须有共同的节点使整个网络处于全连通状态。空白区域的存在使 NRA 方案中摆渡节点 LMF 运行路径较长,时延变大。本文提出的 GMF-NRA 方案引入了全局摆渡 GMF 来负责穿越空白区域,使得划分的区域范围较小,从而本地摆渡 LMF 的路径较短。因此正如图 3 所示的那样,随着普通节点个数的增加,GMF-NRA 路由方案在平均传输时延明显优于 NRA 路由。较长的时延会导致消息无法在生命周期内到达目的节点,加上通信带宽的限制,数据的成功交付率会随之降低。从图 4 可以看出,随着节点个数的增加,GMF-NRA 方案中的数据交付率比 NRA 方案中的数据交付率高 10% ~ 20%。

3.2 区域个数 M 对网络性能的影响

图 5 和 6 显示了网络中划分的区域个数 M 对网络性能的影响。

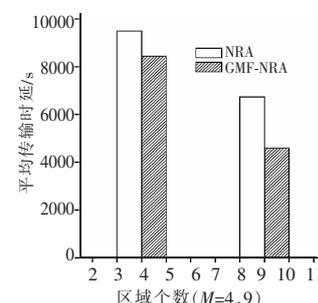


图 5 LMF 个数 M 对平均传输时延的影响

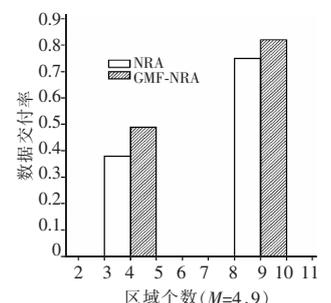


图 6 LMF 个数 M 对数据交付率的影响

当 $M=9$ 时,两种方案的性能(平均传输时延和投递率)都优于 $M=4$ 的情况。这是因为区域个数 M 增加,也就是为网络服务的 LMF 个数增加,每个 LMF 服务的普通节点个数减少,其运动路径长度和转发的数据消息的数量也随之减少。分别在 $M=4$ 和 $M=9$ 时,GMF-NRA 在平均传输时延和信息投递率两个方面的性能都明显优于 NRA。

3.3 网络中的数据流量对网络性能的影响

从图 7 和 8 可以看出网络产生的数据流量对网络性能的影响。在网络产生的消息个数不多,即网络的业务负载较低时,两种摆渡路由方案的平均传输时延和信息投递率无明显变化。而当网络产生的消息个数增加到一定值时,即网络的业务负载加重时,两种方案的平均传输时延迅速增加,数据交付率也迅速降低。这是因为当网络业务负载加重时,无论是 LMF 或是 GMF 所需要承担的信息量都增大,在带宽受限的情况下,网络容易发生拥塞,从而导致平均传输时延增加和信息投递率减少。

由于 GMF-NRA 中局部摆渡 LMF 所运行的路径较 NRA 方案更短,因此数据转发较快,不容易产生网络拥塞,同时从仿真图 7 和 8 可以看出,随着网络产生的消息个数的递增,GMF-NRA 在平均传输时延和数据交付率两个方面的性能都明显优于 NRA 方案。

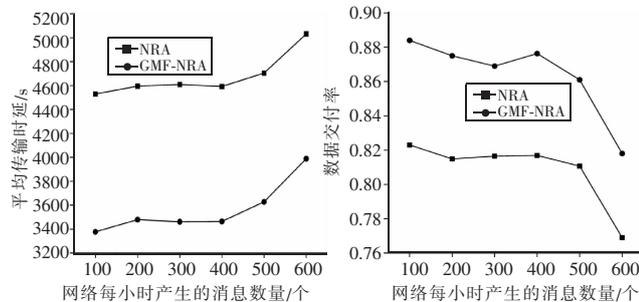


图 7 网络产生的数据流量对平均传输时延的影响

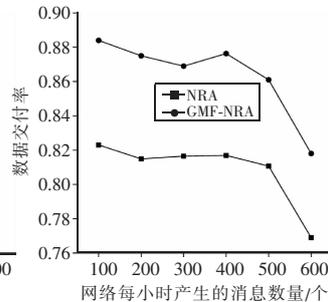


图 8 网络产生的数据流量对数据交付率的影响

4 结束语

针对机会网络中源节点与目的节点间不存在完整路径时的消息转发问题,本文提出了一种新的多摆渡路由技术。在网络分裂的环境中,通过引入了本地消息摆渡和全局消息摆渡来协作完成网络区域间消息的转发,主要目标是为了降低消息传输时延,提高数据交付率,还有使用较少的网络资源(带宽、存储空间等)以及消除通信实体间的在线协作问题。仿真实验

表明,对于长期分裂的形成多个区域的网络,如偏远的乡村通信,这种新的摆渡路由方案在数据传输时延和数据成功交付率等方面优于现有的中继节点算法。在今后的研究中,可以进一步考虑摆渡节点的缓存分配问题,以及不同类型的数据流对网络性能的影响。

参考文献:

- [1] 熊永平,孙利民,牛建伟,等. 机会网络[J]. 软件学报,2009,20(1):124-137.
- [2] PELUSI L, PASSARELLA A, CONTI M. Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile Ad hoc networks[J]. *Communications Magazine*,2006,44(11):134-141.
- [3] 孙践知,刘乃瑞,张迎新,等. 机会网络典型路由算法性能分析[J]. 计算机工程,2011,37(16):85-89.
- [4] VAHDAT A, BECKER D. Epidemic routing for partially-connected Ad hoc networks[D]. [S. l.]: Duke University, 2000.
- [5] LINDGREN A, DORIA A, SCHELEN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*,2005,7(3):19-20.
- [6] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C. Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multicopy case[J]. *IEEE/ACM Trans on Networking*,2008,16(1):77-90.
- [7] ZHAO Wen-ru, AMMAR M. Message ferrying: proactive routing in highly-partitioned wireless Ad hoc networks[C]//Proc of the 9th IEEE International Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems. 2003:308-314.
- [8] ZHAO Wen-ru, AMMAR M, ZEGURA E. A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile Ad hoc networks[C]//Proc of the 5th ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2004:187-198.
- [9] ZHAO Wen-ru, AMMAR M, ZEGURA E. Controlling the mobility of multiple data transport ferries in a delay tolerant network[C]//Proc of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. 2005:1407-1418.
- [10] ZHANG Zhen, FEI Zong-ming. Route design for multiple ferries in delay tolerant networks[C]//Proc of IEEE WCNC. 2007:3460-3465.
- [11] PENG Wei, ZHAO Bao-kang, YU Wang-rong, et al. Ferry route design with delay bounds in delay-tolerant networks[C]//Proc of the 10th IEEE International Conference on Computer and Information Technology. 2010:281-288.
- [12] KERÄNEN A, OTT J, KÄRKKÄINEN T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation[C]//Proc of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques. 2009.

(上接第 1771 页)

- [15] ZHANG B, NG T S, NAND I, et al. Measurement based analysis, modeling, and synthesis of the Internet delay space[C]//Proc of ACM SIGCOMM'06 Conference on Internet Measurement. New York: ACM Press, 2006:95-98.
- [16] LEDLIE J, PIETZUCH P, SELTZER M. Stable and accurate network coordinates[C]//Proc of the 26th International Conference on Distributed Computing Systems. Piscataway: IEEE Press, 2006: 84-93.
- [17] 张敏,周亮,黄琼,等. 随机延迟污染对 IP 网络坐标系统的影响及其抑制方法研究[J]. 通信学报,2011,32(1):29-35.
- [18] 王聪,张凤荔,刘梦娟,等. IP 网络坐标抖动感知与慢启动抑制

- [J]. 电子科技大学学报,2012,41(6):921-926.
- [19] HARIRI N, HARIRI B, SHIRMOHAMMADI S. A distributed measurement scheme for Internet latency estimation[J]. *IEEE Trans on Instrumentation and Measurement*,2011,60(5):1594-1603.
- [20] BROG I, GROENEN P. Modern multidimensional scaling: theory and applications[M]. New York: Springer-Verlag, 1997:174-188.
- [21] The data set of 4 hours PlanetLab ping trace[EB/OL]. <http://www.eecs.harvard.edu/~syrah/nc/sim/pings.4hr.stamp.gz>.
- [22] WU Shi-ning, CHEN Yang, FU Xiao-ming, et al. NCSshield: securing decentralized, matrix factorization-based network coordinate systems[C]//Proc of the 20th International Workshop on Quality of Service. Piscataway: IEEE Press, 2012:1-9.