

一种动态分层分布式数据采集算法^{*}

谭兴丽^a, 唐学文^b, 王美阳^a

(重庆大学 a. 计算机学院; b. 信息与网络管理中心, 重庆 400044)

摘要: 针对普通分层分布式数据采集算法在随机采集次序以及固定采集周期两方面的不足, 提出了一种动态分层分布式数据采集算法。该算法利用移动 agent 实现基于关节域拓扑次序的动态域内采集方案, 并设计了自适应调节采集间隔的域间采集机制, 从而改进了普通分层分布式数据采集算法。实验结果表明, 该算法不仅在一般情况下能有效地控制采集通信量、减轻中心管理站的负担、减少每次采集时间, 而且在网络发生拥塞或故障时, 仍能提升算法的效率。

关键词: 动态分层分布式; 移动 agent; 域拓扑次序; 数据采集

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)12-4691-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.075

Dynamic hierarchical and distributed data acquisition algorithm

TAN Xing-li^a, TANG Xue-wen^b, WANG Mei-yang^a

(a. College of Computer Science, b. Center of Information & Network, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In view of the discrepancies of random acquisition order and fixed acquisition period used in the general hierarchically-distributed data acquisition algorithm, this study put forward a dynamic hierarchically-distributed data acquisition algorithm. This algorithm made use of the mobile agent to realize dynamic intra-domain acquisition of domain-topological order based on articulation, and designed the inter-domain acquisition of self-adaptable adjustment acquisition interval, thus improved the general hierarchically-distributed data acquisition algorithm. The results of the experiment prove that this algorithm can not only effectively control the traffic flow of acquisition, lighten the burden of center station and reduce the time for acquisition, but also improve the efficiency of algorithm when congestion or obstruction occurs to the network.

Key words: dynamic hierarchically-distributed; mobile agent; domain-topological order; data acquisition

网络数据采集是整个网络管理系统的基础和前提。网管系统通过数据采集获取被管设备的相关信息, 经处理后提供给各个功能模块使用, 最后实现对整个网络实时有效的管理。在实际网络中, 网络管理和背景流量共享网络带宽。为减小对背景流量的影响, 网络管理带宽应限制在网络最小带宽的5%^[1]。而随着网络规模的不断增大, 设备数量急剧增加, 现有的网络数据采集系统面临着采集周期长、管理站负担重、占有过多网络带宽、效率低等问题^[2]。国内外就如何在最小网络通信代价下获取实时、可靠的网络状态信息进行了许多深入的研究。

文献[3,4]分别提出基于云模式、马尔可夫链的动态轮询算法。管理站通过判断网络参数振幅变化幅度的大小, 动态地调整数据采集时间间隔, 以提高轮询的效率。文献[5]提出一种基于规则的数据采集系统, 建立统一的平台, 为不同的数据源提供有效的数据采集。这类算法虽然能够有效地减少数据采集的通信量, 但是当采集的节点数量增加或者网络中出现拥塞时, 会加重管理站的负担, 延长采集时间, 不具有良好的扩展性。分层分布式网络管理技术^[6,7]的出现解决了集中式数据采集存在的问题, 提高了采集的效率, 但其使用了随机次序采集策略, 因此在网络节点发生故障或拥塞时依然会降低数据采

集的效率。

本文在分层分布式模型的基础上, 提出了一种动态分层分布式数据采集算法。该算法引入了域内采集和域间采集机制。通过利用移动 agent 基于关节域拓扑次序的动态域内采集算法, 缩短了采集时间, 减少了数据采集的负载; 中心管理器采用一元线性回归预测网络数据的变化趋势, 根据网络数据的振幅变化自适应地调节采集间隔, 节约网络带宽, 使数据采集结果更精确。

1 分层分布式模型简介

分层分布式模型是为了解决集中式模型的问题而提出的。图1展示了分层分布式模型, 由中心管理器—域首—被管设备三层结构组成。网络被划分为多个区域以实现分布式采集, 每个区域分配一个域首, 负责采集该域内设备的网络信息。各个域首独立完成中心管理器分发的采集任务, 通过协作通信实现网络整体、有效的管理。域首对中心管理器屏蔽了域内采集的细节, 中心管理器只负责对域首节点进行数据采集。理论上这种机制减轻了中心管理器的负担, 简化了数据采集框架, 解决了集中式采集模型应用于大规模网络的瓶颈问题。

对网络进行分层分布式的区域划分有多种方法, 根据不

收稿日期: 2012-04-17; 修回日期: 2012-05-24 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71102065)

作者简介: 谭兴丽(1986-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为网络管理、下一代互联网技术等(txinglichina@sina.com); 唐学文, 男, 副教授, 高级工程师, 主要研究方向为下一代互联网技术及过渡技术、网络与信息安全技术; 王美阳, 男, 硕士研究生, 主要研究方向为下一代互联网技术、网络管理。

同的应用需求可以采用不同标准的区域划分。为了简化域内拓扑结构,实现快速的域拓扑发现,本文采用的是基于核心三层交换机对网络进行划分。在域内,域首是进行域内采集和域间协同通信的关键节点,是整个域的核心,一旦域首出现故障,将导致整个域的采集功能失效。当域首节点失效时需要利用域首选举算法在域内重新进行选择,实现连续性数据采集。文献[8]研究了一种基于代理群的网络管理中群首选举算法,根据域中节点的负载优先级进行域首选举,并具有一定的容错能力。

2 动态分层分布式数据采集算法

本文提出的动态分层分布式数据采集算法,主要由域内采集策略和域间采集策略两部分组成。

2.1 域内采集策略

由于 MIB (management information base) 中直接定义的变量只是原始数据的罗列,并不能直观地反映出被管设备的特性。比如被管设备的接口利用率需要使用式(1)计算得到。如果域首使用 SNMP 直接访问被管设备的 MIB 库获取数据,并将大量未经处理的数据在网络中传输,会占用过多的网络带宽,影响网络中的背景流量,并会出现较大的传输延时,致使管理数据缺乏时效性,不能及时反映网络中真实情况。

$$\text{接口利用率} = \frac{\text{接口入口流量} + \text{接口出口流量}}{\text{接口速率}} \times 100\% \quad (1)$$

移动代理技术在网络管理中的应用^[9-11]解决了以上问题。移动 agent 是一个能在异构网络中自主地从一台主机迁移到另一台主机,并可与其他 agent 或资源交互的程序^[12]。移动 agent 技术是分布式技术与 agent 技术相结合的产物,它具有降低网络负载、支持平台无关性、自主执行、易扩展等特点。因此域首使用移动 agent 实现域内数据采集时,无须将大量的 MIB 变量通过 SNMP 传回到域首上进行计算处理,而是将采集、计算和统计工作都交给移动 agent 在设备节点本地完成,域首只需要接收返回的计算结果、执行相关的操作即可。因此该技术在很大程度上改善了网络数据采集系统的性能。

基于移动 agent 的数据采集算法研究较多^[13-15],但是大多采用的是随机次序采集策略,不能适应网络拓扑的动态变化,会因为关节点的拥塞或故障而影响数据采集效率。例如在如图 2 所示的拓扑网络中,以固定的时间间隔进行随机次序采集,当 agent 试图迁移到 R_3 进行数据采集时, R_3 出现故障或发生网络拥塞,就会导致响应超时,此时根据后退算法,agent 需要进行多次尝试。在网络拓扑中 R_3 是关节点,因此 agent 采集 R_4 和 R_5 时,必然也会出现响应超时。而实际应用中,如果 R_3 出现拥塞或故障,则对 R_4 和 R_5 进行数据采集的操作是无效的。如果在网络拓扑结构中关节点出现故障或发生网络拥塞,随机次序采集会增加网络中的通信量,使采集存在延时,影响数据的实时性。因此本文提出一种基于关节点的域拓扑次序的动态数据采集算法作为域内采集策略。该算法使用移动 agent 按拓扑次序进行域内被管设备的动态采集,避免网络拥塞或设备故障造成的额外开销,从而减少网络数据采集的通信量,降低延时,缩短采集时间。

为了使 SNMP 框架简单、易用,本文采用移动 agent 通过 SNMP 与被管设备中的 SNMP 代理直接交互的方式获取网络数据。

基于关节点的域拓扑次序的动态采集算法分为两步:a) 获取域内采集列表,如算法 1 所示;b) 根据采集列表,移动 agent 进行数据采集,并在采集过程中动态调整采集列表,以满足网络拓扑的动态变化,如算法 2 所示。

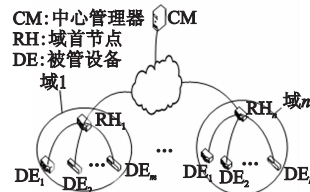


图1 分层分布式模型

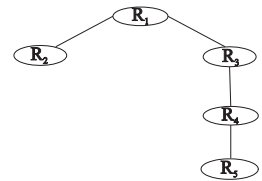


图2 网络拓扑

算法 1 获取域采集列表 PollList

输入:集合 Apset, Bcset, Ebcset。

输出:域采集列表 PollList。

初始化集合 Apset, Bcset, Ebcset 都为空。Apset 为关节点集合; Bcset 为双连通分量的节点集合, $Bcset = \{Bcset_i | i = 1, 2, \dots, n\}$, 其中 n 为域内双连通分量的个数; Ebcset 为双连通分量的边集合, $Ebcset = \{Ebcset_i | i = 1, 2, \dots, n\}$, 其中 n 的意义同上。

在域内根据 Tarjan 算法^[16]由深度优先搜索树 $tree(r)$ 分别得到集合 Apset, Bcset, Ebcset, 并定时地运行 Tarjan 算法对集合进行更新。

for $i = 1; i < = n; i++$

if 节点 u 属于 Apset 并且是 Bcset _{i} 的根节点

PollList = PollList $\cup \{u\}$;

删除与节点 u 相关的所有边;

while Bcset _{i} - $\{u\} \neq \emptyset$

选择节点 $v \in Bcset_i - \{u\}$;

if v 没有任何祖先

PollList = PollList $\cup \{v\}$;

删除与节点 v 相关的所有边;

end if

end while

end if

end for

算法 2 基于关节点的域拓扑次序的动态采集算法

输入:域采集列表 PollList。

输出:下一次域采集列表 PollList。

a) 域首接收中心管理站的采集请求,生成对应功能的移动 agent。

Agent 按照此次采集列表 PollList _{k} 的次序对域内被管设备依次进行数据采集,并在采集过程中根据网络的实时变化动态修改采集列表。

b) 当移动 agent 对被管设备 i 进行数据采集时发生超时,检查 i 是否是集合 Bcset _{i} ($i = 1, 2, \dots, n$) 根节点或者是否属于集合 Apset。如果 i 属于集合 Apset,则检查 i 是否是树 $tree(r)$ 的根节点 r 。如果 $i = r$,将被管设备 i 加入下次采集列表 PollList _{$k+1$} 中,终止此次采集;如果 $i \neq r$,将 i 以及 i 所在集合 Bcset _{i} 中以 i 为祖先的所有节点从当前采集列表中删除。如果被删除节点中存在集合 Bcset _{j} ($j \neq i$) 的根节点或者关节点,则将 Bcset _{j} 从当前采集列表中删除。

c) 当数据采集正常执行,且对节点 node 采集时未发生数据采集超时,则对节点 node 进行判断:如果 node 是关节点,则将双连通分量中以 node 为根节点所有后继节点加入到下次采集列表中;如果节点 node 不是关节点,则将 node 所有邻近节点加入下次采集列表中。

d) 如果当前采集周期是 R^k ,若节点 p_i ($i = 1, 2, \dots, m$) 在采集周期 R^{k-2} 中发生超时,而在采集周期 R^{k-1} 中却未发生超时,则将所有节点 p_i 加入到当前采集列表中进行数据采集。

2.2 域间采集策略

分层分布式数据采集中的域间采集以域首节点为采集对象,域首屏蔽了下层被管设备采集细节,中心管理器只负责对域首节点进行数据采集任务。域首数目远小于网络中的被管设备数目,大大减少了中心管理器的负担,缩短了采集周期。

为了保证域首能并行地进行数据采集任务,中心管理器以多线程方式与各个域首通信交互。为了更加准确地获得网络状态数据,中心管理器根据网络数据的变化幅度来动态调整整个数据采集系统的采集间隔。在网络数据变化幅度较大时,增加采集频率,以获得数据变化的细节;而在网络数据变化幅度较小时,减小采集频率,以节约网络带宽。

假设中心管理器获得的采集窗口宽度为 m , 即 $\{D_i | i = 1, 2, \dots, m\}$ 。定义的采样窗口宽度为 n ($n < m$), 即 $\{D_j | j = m - n + 1, \dots, m\}$ 。本文采用一元线性回归的方法对下一个时刻的值 D_{m+1} 进行预测。

定义 1 ΔD_{m+1} 为预测值 D'_{m+1} 与真实值 D_{m+1} 之差的绝对值, 即 $\Delta D_{m+1} = |D'_{m+1} - D_{m+1}|$ 。

定义 2 采样窗口的平均值为

$$\bar{D}_m^n = \frac{\sum_{j=m-n+1}^m D_j}{n}$$

定义 3 衡量网络数据振幅变化参数为

$$R(m, n) = \frac{\Delta D_{m+1}}{\bar{D}_m^n}$$

中心管理器通过定义 3 得到网络数据的振幅变化值, 与预先设定的阈值进行比较。如果超过阈值, 说明网络数据变化幅度大, 超出了允许范围, 需要缩小采集间隔时间, 以提高数据采集的精度, 从而准确地刻画网络数据剧变时的变化细节。如果振幅变化值小于设定的阈值, 说明网络数据变化比较平滑, 系统通过增加采集间隔时间, 减少采集次数, 从而节约网络带宽。

3 算法性能分析

3.1 理论分析

1) 分层分布式数据采集的通信开销

$$OH_{hier-d} = \sum_{i=1}^{N_{dom}} (OH_{intra}^i + OH_{inter}^i) \quad (2)$$

$$OH_{intra} = \sum_{i=1}^{N_{dom}} (OH_m + OH_{fback}) \quad (3)$$

其中: OH_{hier-d} 为分层分布式数据采集的通信开销; OH_{intra} 为域内开销; N_{dom} 为域数; OH_{intra}^i 、 OH_{inter}^i 分别是第 i 个域的域内开销和域间开销; OH_m 为域内 agent 移动的开销; OH_{fback} 为 agent 反馈信息的开销。

2) 分层分布式数据采集的时间开销

$$time_{hier-d} = \sum_{i=1}^{N_{dom}} \left(\sum_{j=1}^{N_n^i} t_{ij} + t_{inter-d} \right) \quad (4)$$

其中: $time_{hier-d}$ 为分层分布式数据采集的时间开销; N_{dom} 为域数; N_n^i 是第 i 个域的节点数; t_{ij} 为采集每个节点花费的时间; $t_{inter-d}$ 为域首与中心管理器交互所花费的时间。根据式 (2) ~ (4), 在一般情况下, 本文提出的动态分层分布式数据采集算法与普通分层分布式数据采集算法在性能上相当。但在网络出现拥塞或故障时, 动态分层分布式数据采集算法根据域拓扑次序进行数据采集, 避免对因关节点故障或拥塞而失效的下链节点的采集, 减少采集的设备数和减轻了域内移动 agent 造成的开销, 节约网络带宽, 缩短了一次采集的时间。

3.2 实验分析

由理论分析可知, 域内采集的性能影响着动态分层分布式数据采集算法的优劣。实验将网络划分为三个域, 并行地在三个域中进行算法的性能验证。图 3(a) 给出了实验的拓扑图。

使用两台运行着 Windows Server 2008 操作系统, 并具有相同硬件配置的服务器作为普通分层分布式数据采集算法和动态分层分布式数据采集算法的中心管理器, 且域内的每个被管设备都具备执行移动 agent 的环境。利用 Java 语言进行系统开发, 使用 Aglets 实现移动 agent。动态分层分布式数据采集算法对三个域内的采集过程是并行的。实验统计两种数据采集算法在实验拓扑环境中执行 50 次采集过程中, 移动 agent 在三个域之间移动总次数, 以及中心管理器对三个域采集一遍的最长时间开销。

图 3(b)(c) 展示了两种算法在完成对实验网络中三个域的所有被管设备的数据采集后的 agent 移动总次数、总时间的比较结果。动态的分层分布式数据采集算法在域内实现了并行的数据采集。图 3(b) 展示了三个域所有 agent 的移动总次数。图中第 4、8、15、16、17、28、43、44、45 次采集时, 不同域内不同被管设备出现采集超时, 动态分层分布式数据采集算法在 agent 移动的次数以及采集时间方面都比普通分层分布式算法少, 特别是在 43、44、45 次数据采集时, 域 1 和 2 中大量关节点发生拥塞, 普通分层分布式数据采集算法在移动 agent 迁移次数仍然是 50 次, 而动态分层分布式数据采集算法则只有 34 次, 减少了 agent 的移动次数。关于采集时间的比较如图 3(c) 所示, 普通分层分布式数据采集算法在第 43 ~ 45 次时由于多数节点响应超时, 采集时间发生了剧变, 而动态分层分布式数据采集算法却未发生太大变化, 因此说明了动态分层分布式数据采集算法更适应网络的实时变化。

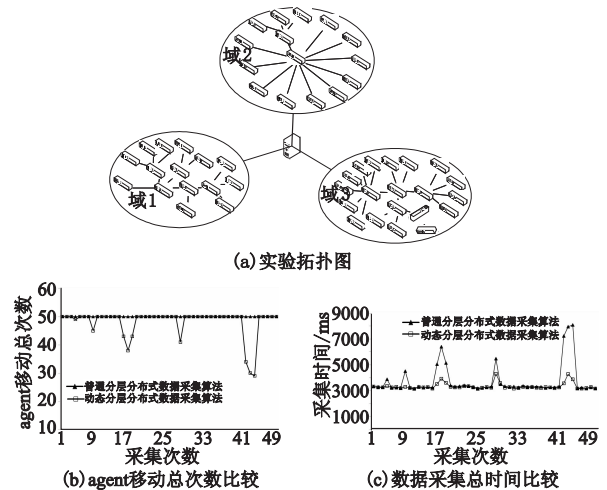


图3 算法性能分析实验拓扑图和实验结果

由理论分析和实验分析可以得出, 本文提出的动态分层分布式数据采集算法较普通的分层分布式数据采集算法在性能上更优, 扩展性更好。

4 结束语

本文分析了分层分布式模型应用于网络管理的数据采集的优缺点, 并在此基础上提出了一种动态分层分布式数据采集算法。该算法对普通分层分布式的域内采集以及域间采集进行了改进, 从而使算法能够有效地控制数据采集的通信量, 缩短采集时间, 减轻中心管理器的负担, 从而改善了数据采集系统的性能。本文提出的动态分层分布式数据采集算法要真正地部署在复杂互联网环境中还需要进一步的实验验证, 同时如何提高分布式系统的安全性仍需要进一步研究。

子分别为0.1、0.3、0.5三种情况。在信干比增益分簇模型和协同度分簇模型下使用利益树分簇方案,在不同的CSI失真程度下,对比系统使用两种方案得到的簇结构所达到的性能。仿真结果如图6所示。从图中可以看出,系统在本模型下的性能不随CSI失真程度的加剧而变差,但系统在协同度模型下的性能随着CSI失真度的加剧变差。这是由于获取的CSI失真程度越大,式(10)计算出的协同度和真实值之间的差距越大,导致生成的簇结构越差,系统协同性能越差。而平均信干比增益分簇模型以 $\bar{\tau}_{ij}$ 衡量基站间的协同程度, $\bar{\tau}_{ij} = E[\hat{\tau}_{ij}] = \tau_{ij} + E[\Delta\tau_{ij}]$,其中 $E[\Delta\tau_{ij}]$ 为均值,和标准差没有关系,而CSI失真的加剧(即 η 值增大),只是失真标准差的变化,只会影响 $\hat{\tau}_{ij}$ 而不会影响 $E[\Delta\tau_{ij}]$ 值的大小,从而 $\bar{\tau}_{ij}$ 值不会随CSI失真加剧而变化。因此平均信干比增益分簇模型具有抗CSI失真性能。

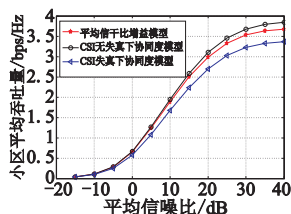


图5 不同分簇模型下的利益树分簇方案性能

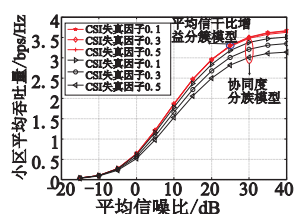


图6 不同分簇模型下系统性能与CSI失真度关系

4 结束语

本文分析了现有的协同度分簇模型在CSI失真时存在的问题,提出了一种基于平均信干比增益的分簇模型,并对该模型的可行性进行了理论分析,对提出的分簇模型进行了仿真验证。仿真结果表明,CSI失真时,平均信干比增益分簇模型得到的簇结构优于协同度分簇模型得到的簇结构,且本分簇模型具有抗CSI失真性能。

参考文献:

- [1] BOCCARDI F, HUANG H. Limited downlink network coordination in cellular networks[C]//Proc of the 18th IEEE International Sympo-

sium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. 2007;1-5.

- [2] VENKATESAN S. Coordinating base stations for greater uplink spectral efficiency in a cellular network[C]//Proc of the 18th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. 2007;1-5.
- [3] HOYDIS J, KOBAYASHI M, DEBBAH M. On the optimal number of cooperative base stations in network MIMO systems[J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2010,59(3): 1282-1293.
- [4] NG C T K, HUANG H. Linear precoding in cooperative MIMO cellular networks with limited coordination clusters[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2010,28(9): 1446-1454.
- [5] PAPADOGIANNIS A, GESBERT D, HARDOUIN E. A dynamic clustering approach in wireless networks with multi-cell cooperative processing[C]//Proc of IEEE International Conference on Communications. 2008;4033-4037.
- [6] LIU Jing-xin, WANG Dong-ming. An improved dynamic clustering algorithm for multi-user distributed antenna system[C]//Proc of International Conference on Wireless Communications & Signal Processing. 2009;1-5.
- [7] ZHOU Sheng, GONG Jie, YANG Shan-chi, et al. A decentralized framework for dynamic downlink base station cooperation[C]//Proc of IEEE Global Telecommunications Conference. 2009;1-6.
- [8] 黄开枝,郑丽清,李坤,等. 基于协同度的基站群利益树动态分簇算法[J]. 电子与信息学报, 2012,34(6): 1469-1475.
- [9] 郑丽清,黄开枝,李坤,等. 基于重叠分簇的联合预编码方案设计[J]. 电子与信息学报, 2011,33(10): 2293-2299.
- [10] NTT DOCOMO. LTE: a evaluation model[EB/OL]. (2008-08-12). http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG1_RL1/TSGR1_54/Docs/R1-083024.
- [11] SHAMAI S, ZAIDEL M B. Enhancing the cellular downlink capacity via co-processing at the transmitting end[C]//Proc of IEEE Vehicular Technology Conference. 2001;1745-1749.
- [12] GESBERT D, HANLY S, HUANG H, et al. Multi-cell MIMO cooperative networks: a new look at interference[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2010,28(9): 1380-1408.

(上接第4693页)

参考文献:

- [1] CASE J, FEDOR M, STALL M S, et al. RFC 1157, Simple network management protocol[S]. 1990.
- [2] BEEKHUIZEN P, DENTENEER D, RESING J. Reduction of a polling network to a single node[J]. Queueing Systems: Theory and Applications, 2008,58(4): 303-319.
- [3] ZHANG Li, MENG Xiang-ru, ZHOU Hua. Dynamic polling scheme of network fault management based on cloud model[C]//Proc of International Workshop on Intelligent System and Applications. 2009;1-4.
- [4] 杨指挥,王勇,苏瑞. 用于网络管理系统的智能轮询策略[J]. 计算机工程, 2010,36(9): 106-108.
- [5] SHEN Zi-hao, WANG Hui. Research of universal data acquisition system rule-based[C]//Proc of the 2nd International Conference on Future Computer and Communication. 2010;326-329.
- [6] 张新,常义林,孙方涛,等. 分层分布式网络故障监视算法研究[J]. 电子与信息学报, 2007,29(4): 771-775.
- [7] 宋艳. 分布式网络管理模型的研究及其关键技术的实现[D]. 南京: 南京邮电大学, 2011.
- [8] 李航,赵志刚,王光兴. 基于代理群的网络管理中群首选举算法的研究[J]. 计算机科学, 2005,32(5): 64-66, 70.

- [9] 谢慧,吴晓平,张用宇. 基于AntNet的网络管理性能优化研究[J]. 计算机技术与发展, 2009,19(10): 120-122, 126.
- [10] GAVALAS D, TSEKOURAS G E, ANAGNOSTOPOULOS C. A mobile agent platform for distributed network and systems management[J]. Journal of Systems and Software, 2009,82(2): 355-371.
- [11] LIN Shi-wei, ZHAI Yu-wen. The research of network management system based on mobile agent and SNMP technology[J]. Advances in Computer Science and Information Engineering, 2012,169(2): 39-44.
- [12] 张云勇. 移动agent及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [13] 章韵,王汝传,姜波. 一种基于移动agent的网络性能管理系统及性能分析[J]. 计算机科学, 2008,35(11): 122-125, 191.
- [14] GUO Fu-liang, ZENG Bin, CUI Liang-zhong. A distributed network management framework based on mobile agent[C]//Proc of the 3rd International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering. Washington DC: IEEE Computer Society, 2009;511-515.
- [15] MISHRA A, SHARMA A K, MADAM A. An analysis of management cost for mobile agent based network management model[J]. International Journal of Computer Application, 2012,42(5): 19-28.
- [16] TARJAN R. Depth-first search and linear graph algorithms[C]//Proc of the 12th Annual Symposium on Switching and Automata Theory. Washington DC: IEEE Computer Society, 1971;114-121.