

网络管理中基于移动 Agent 的通信模型及性能分析^{*}

郑洪方 韩传冰 王光兴

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳110004)

摘要 为了保证网络的可靠性和性能,网络管理变得尤为重要。随着 IP 网络规模的飞速发展,基于 SNMP 的集中式网络管理在扩展性和灵活性方面显得尤为不足。自从移动 Agent 技术的出现至今,其应用范围越来越广,其分布式计算弥补了 M/A 模型的不足。本文就移动 Agent 技术提出两种通信模型,并就模型进行性能方面的理论上的论证,最后进行试验仿真并得出结论。

关键词 移动 Agent, SNMP, 响应时间, 性能管理

The Communication Model and Performance Analysis in Network Management Based on Mobile Agent

ZHENG Hong-Fang HAN Chuan-Bing WANG Guang-Xing

(School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004)

Abstract In order to ensure the reliability and efficiency, network management is becoming especially important. With the rapid development of IP network size, the centralized network management based on SNMP appears incapable on scalability and flexibility. Since the advent of mobile Agent technology, its application range is growing fast and its distributed computing makes up the deficiency of M/A model. This article will advance two communication models on mobile Agent, and make theoretic analysis on performance management and draw the conclusion at last.

Keywords Mobile Agent, SNMP, Response time, Performance management

1 前言

基于 TCP/IP 的 SNMP 已经成为事实上的工业标准^[1],然而由于网络规模的飞速发展,传统的基于 SNMP 的轮询方式占用大量的带宽,因而不适用于广域网的网络管理。随着 Internet 应用的逐步深入,特别是信息搜索、分布式计算以及电子商务的蓬勃发展,人们越来越希望在整个 Internet 范围内获得最佳的服务,渴望将整个网络虚拟成为一个整体,使软件 Agent 能够在整个网络中自由移动,移动 Agent 的概念随即孕育而生。

移动 Agent 是一个可以在异构网络上的主机之间自主迁移和独立运行的计算机程序。它寻找合适的计算资源、信息资源或软件资源,利用与这些资源同处一台主机或子网的优势,处理或使用这些资源,代表用户完成特定的任务。移动 Agent 的运行环境称为移动 Agent 平台,通信是移动 Agent 平台中必须具备的基础设施之一。但是,由于移动 Agent 特有的移动性,使得情况不再像传统的分布式进程通信那样简单。移动 Agent 通信机制应满足以下要求:(1) 位置透明性,是指系统应该提供寻址机制动态地定位目标 Agent,从而对用户屏蔽 Agent 的移动性;(2) 可靠性,是指消息经过有限次发送或者转发后能够到达目标 Agent;(3) 高效性,是指寻求适当的平衡,使得 Agent 迁移和消息发送的开销之和变得最小;(4) 异步性,是指通信机制的设计不应该影响 Agent 的异步运行能力,应尽量减少对 Agent 迁移的限制,支持 Agent 的异步迁移;(5) 自适应性,是指不同的应用会对移动 Agent 通信和迁移有不同的要求,从而需要通信机制能够相应地进行调整。

2 相关的工作分析

目前在基于移动 Agent 的框架研究中,提出了下一代网

络分布业务架构^[2,3],从理论上构思了该架构下统一消息业务的实现。在网络管理中应用智能 Agent 来进行管理的概念已经被提出^[4]。主动式网络技术在分布式 IP 网络管理的方式得到应用^[5]。国内外对分布式网络中的性能和效率问题作了大量的工作,并提出了排队模型^[6]等理论模型。本文将在前人的基础上提出新的并行通信模型并在性能管理方面加以试验模拟。

3 通信框架分析

3.1 基于 SNMP 的网络管理

SNMP 包括 4 个组成部分(如图 1 所示):

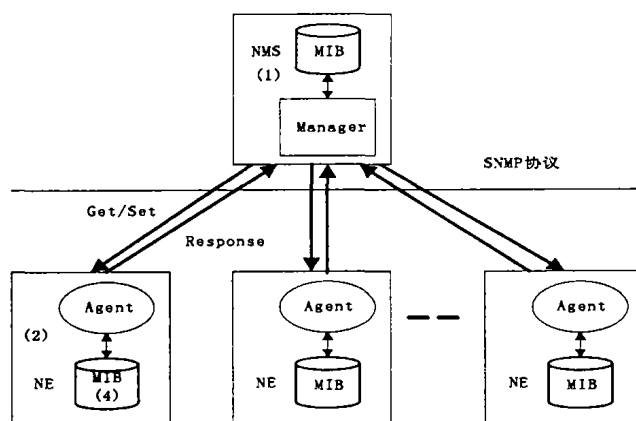


图1 基于 SNMP 的网络管理系统结构

1 Manager: SNMP 管理器。

2 SNMP Agent: 分布在网络管理设备上的代理。

3 SNMP 协议: Manager 同 SNMP Agent 之间通信的协

议。

^{*}课题受国家863项目资助(No2002AA712051)。郑洪方 博士研究生,主要研究方向:宽带网络管理。王光兴 教授,博导,国务院学科评议组成员,主要研究方向:卫星网络,网络管理等。

4 MIB(management information base): 描述被管理对象状态的管理信息库。

管理器(manager)是一组软件程序,执行管理活动。管理者以轮询的方式从代理处取得网络结点的状态数据;接收代理发来的 Trap。管理者在 C/S 结构中处于 Client 的地位。

代理(Agent)是一个软件,在被管理的网络设备中运行,代理收集所代表对象的状态数据。代理在 C/S 结构中处于 Server 的地位。

3.2 基于移动 Agent 的网络管理

移动代理是一个具有自治特性的程序,它可以在自己的控制下中断运行,携带代码和状态从网络中的一个结点到达另一个结点,并能继续执行。移动代理还具有自学习能力,能够根据环境的变化作出相应的调整,从而更好地完成预定的任务。其系统结构如图2所示。

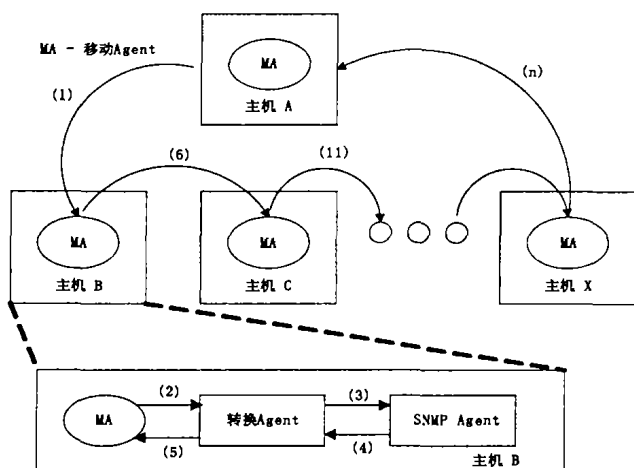


图2 基于移动 Agent 的网络管理

两种管理体系的定性比较:

3.2.1 扩展性比较 在基于 SNMP 的网络管理中, NMS 负责所有网管信息的处理,当网络扩大时,会大大增加 NMS 的数据流量,有可能成为系统的“瓶颈”。而在基于 Agent 的网络管理中由于移动 Agent 的特性,通向 NMS 的流量大幅度减少,因此在增加被管理设备时,并不会导致 NMS 的流量增加很大。

3.2.2 占用带宽比较 前者的 NMS 只是盲目地收集所有原始数据,实际的处理往往只用到部分数据,从而造成带宽的浪费。而在后者中,因为代理在本地已将大量的原始数据和中间数据处理完毕,只需将一些重要的中间数据和最后结果传送到 NMS 即可,因此大大减少了 NMS 的流量。

3.2.3 灵活性比较 前者灵活性由于管理状态与策略不易发生改变,因此灵活性不好。后者当需要一个新的功能时, NMS 只需将一个具有完成新功能的新代理传送到被管理设备上代替旧的代理即可,所以灵活性大大增强。

4 移动 Agent 通信模型的最优化分析

4.1 移动 Agent 系统的2种通信模式:

4.1.1 远程通信(remote communication) 运行在不同主机的 Agent 通过 RPC 或 RMI 相互通信。

4.1.2 移动通信(mobile communication) 一个 Agent 通过本地过程调用移动到远程主机,与另一个 Agent 进行通信。

移动通信模式可以节省传输中间数据的通信开销,因此可以在高延迟、低速率的不可靠的网络环境里良好地运行。下

面将从理论上建立并行通信模型并进行性能最优化分析:

首先进行语义的定义:

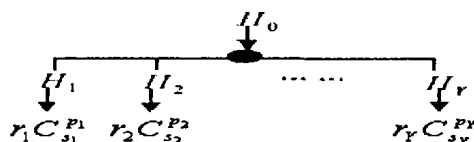
定义1 $CC = \{H_i | 1 \leq i \leq X\}$ 为任意一个移动 Agent 可以移动到的主机; CS 为通信模式,表示为 $\{r_1 C_{s_1}^p, \dots, r_Y C_{s_Y}^p\}$ or $\text{PAR} \{r_1 C_{s_1}^p, \dots, r_Y C_{s_Y}^p\}$, 其中 $r C_s^p$ 代表进程 s 的函数 p 被调用 r 次,上述并行通信公式代表 Agent Y 同时执行每个 $r_i C_{s_i}^p$ 。

定义2 建立一个二元组 $CM = (CC, CS)$ 代表 Agent 的通信模式;对于 Agent 的迁移序列(migration sequence),我们用 $MS = (H_1, \dots, H_Y)$, 其中 $H_i \in CC \ 1 \leq i \leq Y$ 来表示;对于 Agent 的操作,定义为 MR 操作,即 $MR = (M_i\text{-操作}, R_j\text{-操作})$, $M_i\text{-操作}$ 代表客户(client) Agent 从主机 H_i 移动到主机 H_j ; $R_j\text{-操作}$ 代表客户 Agent 在主机 H_j 上执行 $r_j C_{s_j}^p$;下图即为操作 M, R_j :

$$H_i \xrightarrow{M_i\text{-operation}} H_j \xrightarrow{R_j\text{-operation}} r_j C_{s_j}^p$$

当 $H_i \neq H_j$ 并且 $H_i = @S_j$, MR 操作代表移动通信;当 $H_i = H_j$ 并且 $H_i \neq @S_j$ 时, MR 操作代表远程通信; $@S_j$ 代表 Agent S_j 运行的主机。

定义3 对于给定的 $CM = (CC, CS)$, $MS = (H_1, \dots, H_Y)$, 在并行通信情况下,即 $CS = \text{SEQ} \{r_1 C_{s_1}^p, \dots, r_Y C_{s_Y}^p\}$ 时,过程可以表示为: $\{M_1, R_1, \dots, M_Y, R_Y\}$, 过程图为:



下面定义 MR 操作的消耗 $COST_{MR}$: $COST_{MR} = COST_M + COST_R$, $COST_M$ 代表 M 操作的消耗, $COST_R$ 代表 R 操作的消耗;在并行操作情况下, $COST_{PAR} = \max_{i=1}^Y COST_{M_i, R_i}$;由上述公式可以得出,对于 CM 预先给定情况下,整个过程的总消耗由 Agent 的迁移序列决定。

4.2 通信消耗分析及建模

定义 $\tau(H_1, H_2)$ 为主机 H_1 和主机 H_2 的平均网络带宽, $\delta(H_1, H_2)$ 为主机 H_1 和 H_2 间的平均网络延迟。三元组 $B_s = (B_{code}, B_{data}, B_{exection})$ 用来描述 Agent, 其中 B_{code} 代表代码状态, B_{data} 代表数据状态, $B_{exection}$ 代表执行状态;

则一个 Agent 从主机 H_1 到 H_2 迁移消耗公式为:

$$B_{mig}(H_1, H_2, B_s) = \begin{cases} 0 & \text{if } H_1 = H_2 \\ p(B_{cr} + B_{code}) + B_{data} + B_{exection} & \text{else} \end{cases}$$

公式中 p 代表代码不在主机 H_2 的概率, B_{cr} 为要求传输代码的数据量。所以单个 Agent 从主机 H_1 到 H_2 迁移的执行时间为:

$$T_{mig}(H_1, H_2, B_s) = \begin{cases} 0 & \text{if } H_1 = H_2 \\ (1+2p) \cdot \delta(H_1, H_2) + [2\mu + \frac{1}{\tau(H_1, H_2)}] \cdot B_{mig}(H_1, H_2, B_s) & \text{else} \end{cases}$$

下一步定义 θ 为回应消息的比例, $0 \leq \theta \leq 1$, 则

$$B_\theta(H_1, H_2, B_{rep}) = \begin{cases} 0 & \text{if } H_1 = H_2 \\ \theta \cdot B_{rep} & \text{else} \end{cases}$$

对应的执行时间为:

$$T_\theta(H_1, H_2, B_{rep}) = \begin{cases} 0 & \text{if } H_1 = H_2 \\ \theta \cdot B_{rep} \cdot (2\mu + \frac{1}{\tau(H_1, H_2)}) + \delta(H_1, H_2) & \text{else} \end{cases}$$

M 操作中 Agent 迁移和执行时间总的耗费为:

$$B_{mig}(H_1, H_2, B_a, B_{rep}, \theta) = B_{mig}(H_1, H_2, B_a) + B_\theta(H_1, H_2, B_{rep})$$

$$T_{mig}(H_1, H_2, B_a, B_{rep}, \theta) = T_{mig}(H_1, H_2, B_a) + T_\theta(H_1, H_2, B_{rep})$$

同理, R 操作的耗费为:

$$B_R = r_j \cdot B_{RPC}(H_i, @S_j, B_{req}(p_j), B_{rep}(p_j))$$

$$T_R = r_j \cdot T_{RPC}(H_i, @S_j, B_{req}(p_j), B_{rep}(p_j))$$

其中 $B_{req}(p_j)$ 和 $B_{rep}(p_j)$ 分别为在调用 p_j 过程中请求和回答的通信量; 所以, MR 的总的操作消耗为:

$$COST_{M,R_j} = B_{M_i} + B_R$$

$$COST_{M,R_j} = T_{M_i} + T_R$$

综上, 并行通信的最优化模型为:

首先定义一个加权值 w , $w(m_i, r_{j-1}, m_i, r_j) = COST_{M,R_j}$ 代表从主机 H_i 移动到主机 H_j 的通信代价, 其中 r_j, C_{ij}^r 运行在主机 H_j , 如图1所示。

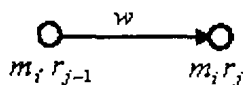


图1

对于给定的 $CS = SEQ(r, C_{ij}^r)$, $MR_{SEQ} = (V, A)$, 当 $V = \{m_i, r_j | 1 \leq i \leq X, 0 \leq j \leq Y\}$ 并且 $A = \{(m_i, r_0, m_i, r_j) | 1 \leq i, i' \leq X, 1 \leq j \leq Y\}$ 时, $f(m_i, r_0)$ 为最优解:

①若网络负载是性能管理的主要考虑因素, 则并行通信的最佳模型是:

$$f(m_i, r_0) = \sum_{j=1}^Y \{ \min_{1 \leq i' \leq X} [w(m_i, r_0, m_i, r_j)] \}$$

②若执行时间是性能管理的主要考虑因素, 则并行通信的最佳模型是:

$$f(m_i, r_0) = \max_{1 \leq j \leq Y} \{ \min_{1 \leq i' \leq X} [w(m_i, r_0, m_i, r_j)] \}$$

5 算法仿真与比较

我们利用 NS(网络仿真器)来测试模拟网络结构的性能。模拟一个有 200 个结点的局域网。这里不考虑应用层上的处理时间, 这里用的移动代理系统是 IBM 的 Aglet, 它采用的是 ATP(agent transfer protocol)传输协议。代理平台对于移动代理的基本动作有: 创建、启动、停止、消息发送和接收等。我们考察系统中访问被管理节点 MIB-II 中的 ifInErrors 变量时的反应时间, 此变量代表由于错误而导致的丢弃的包的数量。

首先对比两种基于移动 Agent 的体系结构:

MS1代表远程通信(remote communication)模式; MS2对应移动通信(mobile communication)。

5.1 实验数据的参数表

活动进程 (kb)	B_{code}	B_{data}	$B_{execution}$	B_{cr}
	9.5	300	0	0.5
通信数据 (kb)	B_{req}		B_{rep}	
	0.5		0~1024	
其他参数	μ	p	θ	
	0	100%	0~100%	

图2

5.2 仿真结果

①当 $B_{rep}=512k$ 时 θ 与网络负载的关系为:

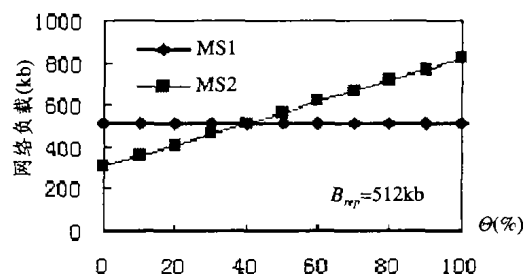


图3

②当 $\theta=50\%$ 时, B_{rep} 与网络负载的关系为:

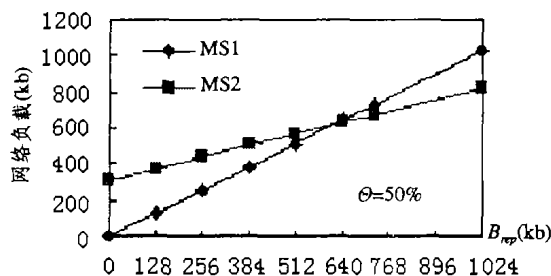


图4

③当 $\theta=50\%$ 时, B_{rep} 与执行时间的关系为:

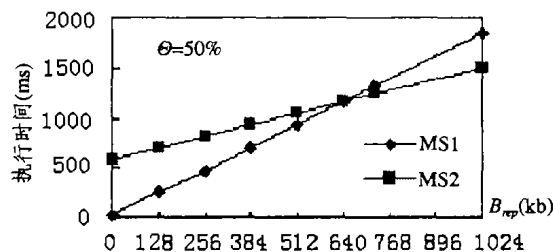


图5

从上面图3~图5可以得出如下结论:

在同等 θ 的条件下, 在 B_{rep} 变大时, 即要求系统可靠性高时, 移动通信(mobile communication)所引起的网络负载远小于远程通信; 同样, 移动通信方式的执行时间也明显地小于远程通信模式。

下面对基于移动通信(mobile communication)模式的移动 Agent 技术的网络管理和传统的基于 SNMP 的网络管理的性能进行比较:

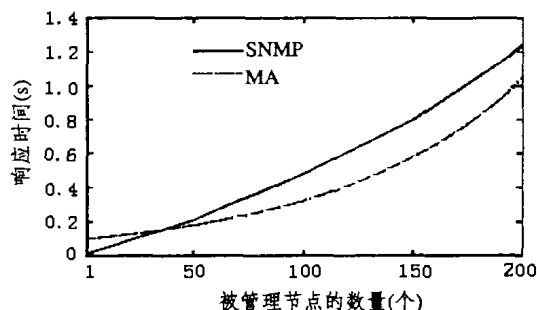


图6

将此模型应用于响应时间的模拟, 会发现当网络规模变大时, 基于移动 Agent 的响应时间明显地小于基于 SNMP 协议的响应时间, 因此性能得到提高。

结论 本文从理论上对基于移动 Agent 的和传统的基于 SNMP 的网络管理系统的通信方式进行比较,然后对基于移动 Agent 的两种通信模式进行最优化分析,并用模拟实验进行验证。定性分析和实验结果都表明:移动通信模式是保证基于移动 Agent 的网络管理高性能较优的方式。最后应用此模型对基于 SNMP 和移动 Agent 的网络管理的性能进行比较,得出当网络规模较大时,基于移动通信模式的移动 Agent 会显著提高网络的性能。

参考文献

- Kinga A, Huntb R. Protocols and architecture for managing TCP/IP network infrastructures Computer Communications, 2000, 23: 1558~1572
- Barotto A M, Souza A D, Westphall C B. Distributed Network Management Using SNMP, Java, WWW and CORBA. Journal of Network and Systems Management, 2000, 8(4)

- Cabri G, Leonardi L, Zambonelli F. Mobile Agent Coordination for Distributed Network Management. Journal of Network and Systems Management, 2001, 9(4)
- Mountzia M A, Rodosek G D. Using the Concept of Intelligent Agents in Fault Management of Distributed Services. Journal of Network and Systems Management, 1999, 7(4)
- Sabrina F, Jha S. An Adaptive Resource Management Architecture for Active Networks Telecommunication Systems, 2003
- Stamatelopoulos M F, Maglaris B. Performance and Efficiency in Distributed Enterprise. Journal of Network and Systems Management, 1999, 7(1)
- Puliatitoa A, Tomarchiob O. Using mobile agents to implement flexible network management strategies. Computer Communications, 2000
- 赵永翼, 王光兴. 一种基于分布式网络的性能管理模型及算法. 东北大学学报(自然科学版), 2000, 123(2)
- 刘奕明, 陈涵生. Agent 模型在网络管理中的应用. 计算机工程, 2003, 29(21)
- 冯新宇, 吕建, 曹建农. 通用的移动 Agent 通信框架设计. 软件学报, 2003, 14(5)

(上接第43页)

成随机图等概率摘除边,以研究边的变化对随机图最大块的影响;针对第二种情况,拟等概率摘除随机图的上层顶点(UAV),以研究如果对 UAV 进行定点清除,随机图中的最大块会发生怎样的变化。根据逾渗理论(Percolation Theory),上述过程分别属于边逾渗(Bond Percolation)和点逾渗(Site Percolation)。

等概率随机摘除边等价于节点度数等概率缩小。不妨设随机摘边概率为 a ,则对于式(3)有:

$$S = 1 - e^{-(1-a)S} \quad (1)$$

从可靠性角度分析,在随机等概率摘边的情况下,通过坐标平移就可以得到可靠性的曲线。如图2为最大块随 a 变化的情况($f=4; k=4$,其它参数同图1)。仿真环境为 matlab6.1。

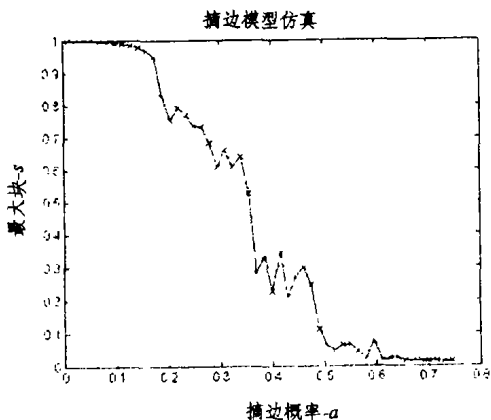


图2 最大块随摘边概率 a 的变化

图2所示为20次仿真结果的平均值。从图2可以看出,摘边概率 a 大于0.2以后,最大块迅速衰减。在移动自组网络中,恶意攻击与随机摘边或摘点不同,恶意攻击一般采用的是定点清除系统中关键节点的方式。在移动自组网络中,UAV 节点显然更重要,所以本文考虑随机等概率摘除 UAV 节点的情况。根据逾渗理论,UAV 节点之间构成的随机图仍可以有类似式(4)的方程,但整个移动自组网所构成的随机图不满足该方程。图3为最大块随摘掉 UAV 点概率 b 变化的情况(参数设置同图2)。

图3所示为50次仿真结果的平均值。可见,当 b 接近0.2时,整个系统所构成随机图的最大块随概率 b 增加而开始减

小。可以认为,在遭受恶意攻击的时候,UAV 的扇出度直接决定了信息层次扩散的健壮性。

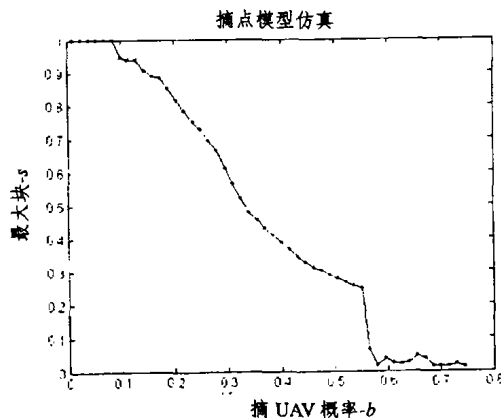


图3 系统最大块随摘掉 UAV 点概率 b 的变化

总结 本文分析了分布计算环境中信息的层次化扩散过程,并利用任意度随机图理论为信息层次化扩散建模。同时,结合应用需求,基于逾渗理论研究了信息层次扩散过程的可靠性和健壮性。给出了节点扇出与信息扩散可靠性和健壮性的关系。在分布式环境中,在没有全局知识的前提下,节点探测概率如果不独立,则必然产生度数分布呈现 Scale-Free 特性的随机图。对该类随机图来说,任意度随机图理论依然成立,但具体的分布由实际应用情况决定。为了增强系统抗毁能力,指挥控制类型的应用通常是同构的,即泊松或二项分布的随机图,因而本文做的假设是合理的。

参考文献

- Strogatz S H. Exploring complex networks[J]. Nature, 2001, 410: 268~276
- Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of 'small-world' networks[J]. Nature, 1998, 393: 440~442
- Newman M E J, Strogatz S H, Watts D J. Random graphs with arbitrary degree distributions and their applications[J]. Phys. Rev. E, 2001, 64(026118)
- Molloy M, Reed B. A critical point for random graphs with a given degree sequence[J]. Random Structures and Algorithms 1995, 6: 161~179
- Ball F, Barbour A. Poisson Approximation for Some Epidemic Models[J]. J. Applied Probability, 1990, 27: 479~490
- Albert R, Jeong H, Barabasi A L. Attack and error tolerance of complex networks[J]. Nature, 2000, 406: 378~382