

网络管理发展及其关键技术

陈 坚¹, 中山宏¹, 成卫青²

(1. 中兴通讯股份有限公司网管产品部, 江苏 南京 210012;

2. 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘 要:旨在对纷繁复杂的互联网网络管理技术进行合理的分类并对网络管理发展趋势进行预测。首先概述了网络管理概念,然后从网络管理技术的产生背景、网络管理功能和网络管理层次等方面分析了互联网网络管理管理的发展历程,并将网络管理发展分成了功能层次逐渐递增的3个阶段:可用性管理、网络行为监测和网络内容监管。研究认为网络管理的发展趋势是继续设法保障网络具有良好的服务质量,并将越来越注重网络秩序和网络信息安全的维护。

关键词:可用性管理;网络行为监测;网络内容监管

中图分类号:TP393.07

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)04-0214-05

Network Management Evolvment and Related Key Technologies

CHEN Jian¹, SHEN Shan-hong¹, CHENG Wei-qing²

(1. Network Management Product Department, ZTE Corporation, Nanjing 210012, China;

2. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Aims to classify complex technologies of Internet network management into reasonable categories and to predict the development trend of the network management. The concepts of network management are first outlined, and then the evolvement of Internet network management is analyzed in terms of the backgrounds of network management technologies, network management functionalities, and network management layers. In this paper, the network management evolvement has been divided into three stages with gradually increasing functional levels: availability management, network behavior monitoring and network content regulation. This study indicates that the development trend of network management is to continue to try to ensure the network with good service quality, and to increase emphasis on network order and network information security maintenance.

Key words: availability management; network behavior monitoring; Internet content regulation

0 引言

纵观互联网网络管理的发展,最初的网络管理旨在保证网络设备以及网络正常运转,逐渐发展到关注网络流量和网络行为,然后发展到关注网络信息是否有益或合法。归纳起来,网络管理发展经历了3个阶段:可用性管理、网络行为监测和网络内容监管,其中后一个阶段包含了前一阶段的管理内容,并增加了新的管理内容和管理技术。

1 网络管理概述

网络管理的基本目的是使网络资源得到有效的利用,网络出现故障时能及时报告和处理,以保证网络能

够正常、高效地运行^[1]。当前最典型的网络管理体系结构是简单网络管理协议(SNMP)管理体系结构和电信管理网(TMN)管理体系结构,它们在解决IP网络和电信网管理方面的问题中发挥了重要的作用。SNMP网络管理模型的突出特点是简单、易于实现,因而得到了厂商的支持。特别是在Internet上的成功应用,使得它的重要性越来越突出,已经成为事实上的工业标准。国际电信联盟ITU提出了电信管理网TMN概念,目的在于建立一个具有综合管理能力的网管体系结构对电信网络进行有效的管理^[2]。

1.1 TMN 模型

1985年ITU-T在M.3000建议中提出了一种应用于电信服务供应商运营支持系统(OSS),基于公共管理信息协议(CMIP)体系结构的参考模型TMN。TMN标准为电信网络而制定,已成功用于电路交换有线网络的管理。TMN对于网络管理的重要意义在于

收稿日期:2010-08-09;修回日期:2010-11-29

基金项目:中兴通讯研究基金项目(nj200909080002)

作者简介:陈 坚(1972-),男,硕士,研究方向为网络管理;中山宏,硕士,高级工程师,从事电信网管系统规划和开发。

它引入了两个重要的基本概念:FCAPS 模型和分层体系结构^[3]。

●FCAPS 模型指网络管理可以分为故障、配置、计费、性能和安全 5 个不同方面的管理。

(1)故障管理包括网元(network element)故障管理、诊断、报警管理和关联、根本原因分析等;

(2)配置管理包括设备配置的生成和存储、网元的配置、配置审计和撤销、设备清单管理等;

(3)计费管理包括使用数据的收集,常用于向享用服务的网络用户提供服务帐单;

(4)性能管理包括网元健康和统计监测、阈值确定、交叉报警的阈值生成、性能报告生成、趋势分析等;

(5)安全管理包括安全相关服务的管理、认证、加密、入侵检测等。

●TMN 另一大贡献是提出了网络管理的分层体系结构概念。TMN 分层体系结构包含下列 5 层:

(1)事务管理层(Business Management Layer, BML):包括拥有被管网络的企业的商业目标的详细说明,它实现与这些商业目标有关的功能。

(2)服务管理层(Service Management Layer, SML):管理提供给用户的网络服务合同事项,维护服务相关的参数。功能包括服务创建和管理服务质量。在本层,网络不直接可见,不过网络的性能直接影响服务质量。

(3)网络管理层(Network Management Layer, NML):管理网络,包括网络中所有的网元。在本层,网元看作是功能实体(例如路由器、交换机等)而不是特定厂家设备。在本层执行的功能包括配置网络向用户提供服务,监测网络向 SML 提供相关服务信息。

(4)网元管理层(Element Management Layer, EML):处理各个网元的管理。通常,设备厂商销售网元设备时也销售网元管理系统;这些网元管理系统有时使用专有协议与网元通信,进行配置和监测。网元管理层发送配置数据到网元,以及从网元检索监测数据,将厂商无关的接口提供给 NML。

(5)网元层(Network Element Layer, NEL):包含构成网络的所有网元,将特定厂商接口提供给 EML。

1.2 因特网标准管理框架

TMN 标准设计用于电信网络,并设想使用分离的网络来管理电信网络。而因特网网络管理模式使用相同的网络传送数据流量和管理流量。TMN 标准开发了一个复杂的多个电信管理体系结构的规范(包括功能的、物理的、信息的和逻辑的分层体系结构),而因特网管理标准主要关注的是网络管理协议的定义,定义了著名的简单网络管理协议 SNMP^[4]。

在基于 TCP/IP 技术的互联网的早期发展过程中,

主机数、物理网络数、用户数都比较少,网络管理问题很少被考虑。直至 1987 年 11 月,才发布了简单网关监控协议(SGMP),标志着 TCP/IP 网络有了专门的管理工具^[4]。互联网架构委员会(IAB)为了集中对网络管理进行研究,以选择一个最适合于 Internet 的网络管理方案,于 1988 年批准 SNMP 和 Netman 工作组分别研究作为短期解决方案的 SNMP 和作为长期解决方案的 CMOT^[5]。由于这两个协议在被管对象级上实现兼容是不现实的,因此 IAB 后来允许 SNMP 和 CMOT 各自平行发展。1990 年 5 月发布了 RFC1157(RFC1098 的更新),SNMP 被 IAB 批准为标准网络管理协议和架构,并且被推荐用于 Internet 和所有 TCP/IP 网络中。

SNMP 体系结构模型包含网络管理站和网元的集合。网络管理站执行管理应用程序监视和控制网元。网元是主机、网关、终端服务器及其他类似设备。SNMP 管理标准使用管理者-代理模型,与 TMN 的相似。在每个被管网元上都有一个代理(agent)。设备中的管理代理维护一个虚拟的信息库,称为管理信息库或 MIB,MIB 定义了网络设备中支持的各种被管对象。管理代理通过获取或修改 MIB 对象的值来执行网络管理站请求的网络管理功能。网络管理站和网元中的代理之间使用 SNMP 协议传送管理信息。一般情况下,网络管理站基于 SNMP 周期地轮询被管理设备中的代理进行信息收集,实现对网元的监控。此外,代理还可以主动提供少量的 trap 报文引导轮询的同步和焦点。已有许多提供 SNMP 管理功能的商业或免费工具可以使用。例如著名的 MRTG(MultiRouter Traffic Grapher),一个网络流量统计分析工具,它使用 SNMP 协议从被管设备得到流量信息,并用 JPEG 图形表示流量负载,再嵌入 Web 网页显示给用户。除 MRTG 外,还有一些用于 Linux 的免费或商业网络管理工具^[6],例如:SNMP 分组嗅探器 SNMP Sniff;在 Web 上执行 SNMP 查询并显示结果的网络统计收集和报告工具 NetSCARF Scion;基于 Web 的 SNMP 网络管理系统的 RMONX,它提供许多可选软件:网络状态、事件检测与通知、趋势监测、MIB 浏览与配置。

2 可用性管理

2.1 设备可用性管理

20 世纪 90 年代早期,SNMP 的主要目的是简化大型网络中设备的管理和数据的获取。许多网络管理软件包都用 SNMP 服务来简化网络的管理和维护,如 HP 的 OpenView,免费软件 MRTG。在 RFC1156 中,被管对象分成了若干对象组:系统、接口、地址转换、IP、ICMP、TCP、UDP 和 EGP。使用 SNMP GET 命令可以读取设备的许多操作参数(被管对象),例如接口组对象的

网络接口数对象,包含接口编号、说明、类型、最大传输单元、速率、物理地址、管理状态、操作状态、入字节数、入单播分组数、入非单播分组数等对象的接口表对象;IP 组的 IP 转发性质、默认 TTL、入数据报数、成功交付给 IP 用户协议的入数据报数等对象;地址转换组对象;ICMP 组对象;TCP 组对象等。使用 SET 命令设置设备的某些参数,例如某个网络接口的管理状态、地址转换表、IP 默认 TTL、IP 路由表等。

显然,这个时期网络管理的主要目的是使网络设备可用,从而使网络可用。基于 SNMP 主要用于实现网元级的故障管理和配置管理网络管理。

2.2 网络和服务可用性管理

为了更全面更深入地了解网络运行状况,IETF 于 1998 年成立了 IP 性能测度工作组(IPPM WG)。IPPM WG 主要任务是定义一些用于因特网数据交付服务质量、性能和可靠性度量的标准测度,这些测度提供无偏定量度量,网络运营商、端用户或独立测试组织都可以使用它们。这些测度可以用于端到端路径的性能和可靠性测量,也可以用于构成路径一部分的特定 IP 云的性能和可靠性测量。IPPM WG 定义的测度包括:连通性、单向时延和丢包、往返时延和丢包、时延变化、丢失模式、分组重排、批量运输能力、链路带宽容量等。IPPM 支持网络级别的网络管理,主要目的是了解网络性能,关注的仍是网络的可用性。

此外,IETF 还成立了 RMON(Remote Network Monitoring) MIB 工作组,负责定义用于网络远程监控的被管对象,用以解决 SNMP 在日益扩大的分布式互联中所面临的局限性^①。RMON 主要关注应用性能测量和区分服务统计收集,提供网络级以上的故障、配置和性能管理^[7]。RMON 监控规范中,远程监控设备称为监测器或探测器,一般是一个独立设备,用于管理一个网络。一个组织可以使用许多探测器,每个网段一个,管理自己的互联网。RMON 定义的对象分为 9 组:统计、历史、报警、主机、hostTopN、矩阵、过滤器、分组捕获和事件。RMON 的主要目标是:

(1)脱机操作,即当管理站不能持续与其 RMON 探测器保持联系的时候,允许探测器被配置为执行诊断并连续地收集统计信息;

(2)主动监测,指假如监测器上有资源,就连续地运行诊断并记录网络性能。一旦有任何故障,监测器便通知管理站发生故障了,并能存储关于故障的历史统计信息,这样管理站尝试剖析故障原因时可以回放

历史信息;

(3)问题检测和报告,即监测器能够被配置为认识特定错误状况以及连续地检查状况。当某个状况发生时,可以记录事件,并以若干方式通知管理站。

20 世纪末和本世纪初网络性能管理和 Service 管理是研究热点。除 IETF 外,还有不少组织关注互联网性 Service 管理。例如 NMF(网络管理论坛)于 1997 年就在 NMF 503 和 NMF 701 Issue 1.0 中定义了 SLA 术语。SLA 是客户和服务供应商双方就 Service、责任义务和优先级商定的一份正式合同。TMF(TeleManagement Forum)在 2001 年发布的 TMF GB917(“SLA 管理手册”)中主要内容包括 SLA 管理的动因和 SLA 履行、QoS 等级监控、信息报告、客户接口管理等方面的要求,QoS 和 SLA 参数框架,SLA 生命周期,SLA 管理框架,以及 SLA 建模^[8]。同年发布的 TMF 701v2 中详细定义了 Service 和 SLA 术语,给出了 Service 可用性、提供 Service 的时间、恢复 Service 的时间、时延、吞吐量、错误等 SLA 参数的定义,还提供了各种报告间隔、性能报告的内容与格式等问题的指南。学术界对 Service 管理的研究也一直未中断过。2001 年文献[9]提出 SLA 管理可从 SLA 参数定义、SLA 测量、SLA 一致性报告、QoS 管理等 4 个方面展开研究,并提出了一种基于效用的 QoS 管理模型。类似的研究还有 Mehdi Alasti 等人提出的用于无线网络的基于 SLA 并使收益最大化的用户调度算法^[10]。2002 年文献[11]提出管理 VPN Service 的端到端 SLA,使用应用级测度 Web 响应时间来评估端用户实际感知到的网络性能。

3 基于 IP 流技术的网络行为监测

传统的网络管理主要依赖于 SNMP 数据,或者基于报文采集。SNMP 协议有个缺点,即不能以一种统一通用的数据描述格式保存所有被管理设备的标识、状态和配置等信息^[12],难以用于大规模网络的网元级和服务级的管理。另外,RMON 虽然扩展到支持应用性能管理,但支持的测度较少,而且 RMON 监测器收集到的多是统计信息,不能满足高层次管理的分析需要。随着网络规模的扩大和网络速率的增长,依赖全报文采集的网络性能和服务管理也变得越来越不可行。因此近些年增加了一种网络管理信息源,即 IP 流。一个 IP 网络的流量主要由穿过网元的 IP 流组成,访问有关流的信息对于管理常常是有用甚至必需的^[13]。

基于流的 IP 流量测量技术便于解决 IP 专业人员遇到的许多公共问题,例如分析新应用及其对网络的影响;了解最活跃的协议、信息源(talker)、接收者(listener)、主机和会话;减少峰值 WAN 流量;故障诊断及

①http://www.net130.com/CMS/Pub/softlevel/softlevel_networkmanagement/2006_12_22_49157.htm

②<http://www.cisco.com>

了解网络瓶颈点;检测非授权 WAN 流量;安全和异常检测;确认 QoS 参数等。

Cisco 发明了 NetFlow,是 IP 流量流技术的先锋。NetFlow 能够为 IP 应用有效地提供一组服务,包括网络流量计费、基于使用的网络记帐、网络规划、安全、服务拒绝监测能力和网络监测^②。NetFlow 版本 9 是最新版,采用灵活可扩展的方法记录网络性能数据,是 IETF 标准 IPFIX (IP Flow Information Export) 的基础。

为适用于大规模网络的网络管理,流测量技术一般都支持包抽样(packet sampling),例如 Cisco 的 NetFlow、HP 的 sFlow 和 Juniper Jflow 都支持。产生 IP 流记录的测量过程一般包括分组首部捕获、加时戳、抽样、分类和流记录维护等步骤。分组的选择可以依据到达时间(基于时间的抽样),依据分组在流中的位置(基于计数的抽样),或者依据分组的内容(基于内容的抽样)^[14]。NetFlow 还支持流抽样(flow sampling)以降低 CPU 开销和输出的流记录总量。

目前如何利用 IP 流测量数据进行网络管理,对于学术界也是一个研究热点,例如,文献[15]研究了对 IP 流进行基于规则的异常检测,文献[16]研究了基于抽样流统计数据进行单向丢包估计,文献[17]研究基于自适应流抽样的超点检测。

可用性管理的目的是使网络可用,而基于流的网络管理主要关注的不是网络的可用性而是网络行为,基于对网络流量的分析来了解主机(用户)网络行为以及发现异常或故障。从管理功能上看,基于流的网络管理主要包括计费管理(基于使用的计费)、安全管理(异常检测)、性能管理(网络统计监测)和故障管理(故障诊断)。

4 网络内容监管

网络管理的最高境界是保障网络性能良好并且内容安全。因此笔者认为最高层次的网络管理是以规范网络行为、保障信息安全为目的的网络内容监管。

由于因特网是一个媒体,它的影响力甚至超过传统媒体,因而网络的虚拟空间其实也是现实世界的一部分。因此因特网从最初相对自由的世界走向受控的世界是必然趋势。网络监管的目的是维护一个健康的网络环境,并保障公民在“虚拟空间”的合法权益。网络监管必须从改善网络环境、建立良好秩序的大局着眼,不是只对网民言行进行监督。

网络上可能存在的不良信息包括色情、暴力、毒品和种族歧视等信息。当前网络监管的措施有很多种,

包括社会主流意识引导、行业约束、法制保障、民间自律和监督、网络实名制和技术手段控制,最常见的技术手段是对内容进行分级与过滤^③。WWW 联盟(W3C)于 1995 年推出网络内容选择平台(Platform for Internet Content Selection, PICS)规范。PICS 规范允许将标签与 Internet 内容相关联,它最初是设计用于帮助父母和老师控制儿童在因特网上访问的内容,后来用于使用户能够轻松找到合适的内容又避免那些对自己或儿童不适合、不需要的内容。PICS 规范允许不同的人 and 机构以最适合各自观点的方式标记网页内容,基于 PICS 可以较方便地开发分级服务和过滤软件。

当前 PICS 已经被 Web 描述资源协议(the Protocol for Web Description Resources, POWDER)取代, W3C 已经不再建议使用 PICS 进行软件开发。POWDER 提供的 PICS 没有的独特能力有:用于定义资源组的方法很灵活, POWDER 允许用一个 IRI (International Resource Identifiers)的任意特征来定义组,而 PICS 依赖 URL 前缀的概念;可以在语义 Web 环境中处理 POWDER,输出一个或多个资源描述框架(RDF)三元组, POWDER 文档还可以经过一个已定义的过程转换为一个 OWL (Web Ontology Language)本体再作同样处理,输出的也是 RDF 三元组;说明标签可以用 XML 和任何其他的用于编码 RDF/OWL 的语法编码^④。RDF 是描述网络中资源的 W3C 标准,用来描述网络资源,诸如网页的标题、作者、修改日期、内容以及版权信息等。RDF 解决的是如何采用 XML 标准语法无二义地描述资源的问题,并使所描述资源的元数据信息成为机器可理解的信息。利用 RDF 可以在 Web 页面中嵌入元数据,理解 RDF 的搜索引擎通过解析 RDF 可以比基于关键字匹配的搜索引擎得到更加关联的结果。

对网页内容的分级可以基于元数据和语义 Web,也可以采用基于统计和机器学习的自动文本分类方法,通过主动采集各网站的网页,并对页面内容和超链进行分析来实现对网页内容的分级^[18,19]。对包含不良信息的网页进行过滤主要采用 URL 过滤和关键字过滤以及相关的智能过滤技术^[20,21]。目前 Cisco IOS 能够提供 URL 过滤功能。此外,还有一些过滤软件,如美国的计算机安全和 Web 过滤软件 CyberPatrol,使用它可以避免孩子们访问不宜网站,并保护他们免受日益增加的来自网络欺凌和在线掠夺者的威胁。

5 结束语

随着网络技术的飞速发展,网络本身变得越来越复杂,其规模、复杂性和异构性比以往都大大增加。随着系统规模的增大和复杂度的提高,网络连接、性能、资源配置、安全等方面的问题也会随之出现,因此需要

③http://news.cyol.com/content/2010-07/29/content_3350190.htm

④http://www.w3.org/2009/08/pics_superseded.html

包含可用性管理和网络行为监测的网络管理系统来监测、控制网络的资源和服务。此外,随着因特网应用的日益广泛,网络变得越来越重要,它促进了人类发展的同时也给各个国家带来了净化网络环境、扼制网络违法犯罪的挑战。因此网络内容监管已成为网络管理不可或缺的一部分。纵观网络发展历程,笔者研究认为网络管理的发展趋势是继续设法保障网络具有良好的服务质量,并将越来越注重网络秩序和网络信息安全的维护。

参考文献:

- [1] 吴功宜,吴英. 计算机网络技术教程——自顶向下分析与设计方法[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [2] 郭军. 网络管理[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2007.
- [3] Chadha R, Kant L. Policy-Driven Mobile Ad hoc Network Management[M]. [s.l.]:Wiley-IEEE Press, 2007.
- [4] A Simple Network Management Protocol (SNMP)[S]. RFC 1157, 1990.
- [5] IAB Recommendations for the Development of Internet Network Management Standards[S]. RFC 1052, 1988.
- [6] Linux SNMP Network Management Tools[EB/OL]. 1998. <http://linas.org/linux/NMS.html>.
- [7] Waldbusser S. Remote network monitoring management information base[S]. RFC1271, 1991.
- [8] GB 917. SLA management handbook (public evaluation/version 1.5)[S]. TeleManagement Forum, 2001.
- [9] Jong-Tae Park, Jong-Wook Baek. Management of service level agreements for multimedia Internet service using a utility model[J]. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(5): 100-106.
- [10] Alasti M, Farrokhi F, Olfat M, et al. Service Level Agreement (SLA) Based Scheduling Algorithms for Wireless Networks[C]//2004 IEEE International Conference on Communications. [s.l.]:[s.n.], 2004:1028-1032.
- [11] Martin J, Nilsson A. On service level agreements for IP networks[C]// INFOCOM 2002. [s.l.]:[s.n.], 2002:855-863.
- [12] 从 SNMP 到 WBEM——论网络和系统管理的发展和展望[EB/OL]. 2006. <http://www.qqread.com/meetwindows/y084179041.html>.
- [13] Specification of the IP Flow Information Export (IPFIX) Protocol for the Exchange of IP Traffic Flow Information[S]. RFC 5101, 2008.
- [14] Quittek J, Zseby T, Claise B, et al. Requirements for IP Flow Information Export (IPFIX)[S]. RFC 3917, 2004.
- [15] Duffield N, Haffner P, Krishnamurthy B, et al. Rule-Based Anomaly Detection on IP Flows[C]// INFOCOM 2009. [s.l.]:[s.n.], 2009:424-432.
- [16] Yu Gu, Lee Breslau, Duffield N, et al. On Passive One-Way Loss Measurements Using Sampled Flow Statistics[C]// INFOCOM 2009. [s.l.]:[s.n.], 2009:2946-2950.
- [17] 程光,龚俭,丁伟,等. 基于自适应抽样的超点检测算法[J]. 中国科学 E 辑,2008, 38(10): 1679-1696.
- [18] 代六玲. 互联网内容监管系统关键技术的研究[D]. 南京:南京理工大学, 2005.
- [19] 唐春生,张磊,潘东,等. 文本分类研究进展[EB/OL]. 2001. <http://epcc.sjtu.edu.cn/seminar/>.
- [20] 黄旭. 基于信息搜集与内容分析的互联网不良信息监测技术研究[D]. 苏州:苏州大学, 2008.
- [21] 白广奇. 网页内容过滤的关键技术研究及实现[D]. 济南:山东大学, 2005.

(上接第 213 页)

参考文献:

- [1] 胡代平,王浣尘. 基于 Agent 的宏观经济决策支持系统[J]. 系统工程理论与实践,2002,1(1):33-37.
- [2] 杜玉强,王明哲. 基于 Agent 的决策支持系统的构建[J]. 微机发展,2003,13(2):66-68.
- [3] 刘海燕,王献昌,王兵山. 多 Agent 系统的研究[J]. 计算机科学,1995, 22(2):57-62.
- [4] Zambonelli F, Omicini A. Challenges and research directions in agent-oriented software engineering[J]. Autonomous Agents and Multi-Agent robotics Systems, 2004, 9(3): 253-283.
- [5] Aspen[EB/OL]. 2002. <http://1-eme.gdccc.edu.cn/ztzs/fzxt/5-2.htm>.
- [6] Arthur W B, Holland J H, Lebaron B, et al. Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market[M]//In Arthur W B, Durlauf S N, Lane D A. The Economy as an Evolving Complex System II. Redwood City: Addison-Wesley Press, 1997.
- [7] 宣慧玉,高宝俊. 管理与社会经济系统仿真[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2002:134-145.
- [8] 李春生. 基于多 Agent 的开放式金融投资辅助分析系统[J]. 佳木斯大学学报,2007,25(1):140-142.
- [9] Wenzhigang, Mehdi Q H, Gough N E. A New Animation Approach for Visualizing Intelligent Agent Behaviours in a Virtual Environment[D]. USA: School of Computing and Information Technology, Technology University of Wolverhampton, 2002.
- [10] 蒋云良,徐从富. 智能 Agent 与多 Agent 系统的研究[J]. 计算机应用研究,2003,20(4):31-34.
- [11] 高鸿业. 西方经济学[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2006: 423-473.
- [12] 朱永彬,薛耀文,高慧敏. 基于 Agent 的金融交易模拟终端设计与实现[J]. 计算机技术与发展,2008,18(8):249-253.