

一种支持组播的 SNMPv3 改进模型

程春玲 张登银 崔国亮 隋宗见

(南京邮电大学计算机学院 南京 210003)

摘要 随着三网融合的发展,业务类型逐渐增多,设备数量急剧增加。典型的基于单播模式的 SNMP 网管系统在数据采集过程中存在大量的重复数据发送,造成带宽开销大、网管系统效率不高。提出一种支持组播的 SNMPv3 改进模型,它引入了组播组的概念和组代理实体。模型扩展了 MIB 库的定义,改进了 SNMP 引擎,使其能识别和处理组播消息;给出了管理站和代理端的模型结构和主要模块;随后阐述了基于改进模型的组管理流程和基于组播轮询的数据采集的实现流程。系统测试结果表明,基于改进模型所开发的原型系统采用组播轮询的方式进行数据采集,可以减少数据的重复发送,减少网络流量,提高数据查询和数据采集的效率。

关键词 组播,SNMPv3,网络管理,MIB

中图法分类号 TP393 文献标识码 A

Improved Model of SNMPv3 Supporting Multicast

CHENG Chun-ling ZHANG Deng-yin CUI Guo-liang SUI Zong-jian

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

Abstract With the development of triple play, the type of business increases and the number of devices increases dramatically. Some problems, such as the data repeat sending, large broadband overhead and low efficiency, are more serious in typical SNMP network management system based on unicast mode. An improved SNMPv3 model supporting multicast was proposed and the concepts of multicast group and the entity of group proxy were introduced. In the improved SNMPv3 model, the definition of MIB was extended and the SNMP engine was improved to identify and process the multicast messages. The improved model and main modules on management stations and proxies were given respectively. Then the implementation flows of group management and data collection based on improved model were described. The test results for the prototype system show that the data collection based on multicast polling can save the resource of senders, reduce network traffic and improve the data query and data collection efficiency greatly.

Keywords Multicast, SNMPv3, Network management, Management information base

1 引言

随着三网融合的逐步演进,网络规模不断增大,设备数量急剧增加,对高效的网络管理提出了新的挑战^[1,2]。采集网络设备信息,是进行性能管理、故障管理的基础,是网管系统的基本功能。而传统的基于单播轮询和自陷两种方式^[3]的数据采集已不适合拥有海量设备的三网融合环境。虽然广播方式可以大大提高系统的数据采集性能^[4],但是实际情况并不允许大量广播包在公网上散播,广播方式只适合小区局域网的环境下。因此,在一定范围内采用组播进行数据采集,可以提高网络管理的性能^[5]。

目前,进行网络管理使用最为广泛的是简单网络管理协议(SNMP)。它有 3 个版本,支持 SNMPv3 是网络设备的趋势^[2]。但现有的 SNMPv3 标准并不支持组播,因此改进 SNMPv3,使之支持组播并保证组播的安全性,满足三网融合

环境下网络管理的要求,是本文研究的重点。本文在 SNMPv3 中引入了组和组密钥管理的概念,提出了一种支持组播的 SNMPv3 改进模型。在管理站端和代理端分别从扩展设备 MIB(Management Information Base)、改进 SNMP 引擎、扩充组管理模块和组密钥管理模块等方面进行了改进。在此基础上,给出了基于改进模型的组管理和数据采集的实现流程,并对基于改进模型的数据采集的性能进行了实验分析。本模型采用组播的方法能够节省发送者资源和网络带宽,减少网络流量,大大提高综合网管系统中数据查询和数据采集的效率,特别是在设备数量多、网段多等情况下。本模型适用于在设备量大、实时性要求高的网络中进行网络管理。

2 支持组播的 SNMPv3 改进模型

2.1 IP 组播

IP 组播是一种允许发送者一次发送单一数据包到多个

到稿日期:2011-05-15 反修日期:2011-08-15 本文受江苏省重大科技支撑计划(BE2009063),常熟市科技发展计划(CG201001),教育部博士点基金(20093223120001)资助。

程春玲 女,副教授,CCF 会员,主要研究方向为网络计算技术、信息安全等;张登银 男,博士,研究员,主要研究方向为 IP 网络、信号与信息处理、信息安全等;崔国亮 男,硕士生,主要研究方向为计算机网络在通信中的应用;隋宗见 男,硕士生,主要研究方向为计算机在通信中的应用。

接收者的通讯机制^[6]。在 IP 组播环境中,发送者仅需向一组接收者发送一个数据包拷贝,支持组播的路由设备便会自动将包转发到每个组播接收者^[7]。因此,IP 组播在大多数网络链路上仅有一个原始数据包拷贝被传送。与单播相比,组播大大降低了发送者和网络资源的负载。

目前,大多数网络设备已经支持 IP 组播协议。要实现基于组播的网络管理还需扩充代理(数据设备的网管接口)和管理站的 SNMP 模型,以支持一点到多点的消息传送。另外,通过组播技术可以使代理自由加入和离开组播组,可以灵活配置监管特定组的设备,使其具有很好的可控性。因此,基于组播进行网络管理,不仅可以提高网络利用率,而且能按需灵活管理网络设备,提高网管系统的效率。

2.2 模型的总体结构

SNMPv3 只支持一对一的高安全的单播方式,其引擎标识(ID)、认证密钥以及加密密钥等都是唯一的。要实现一对多的通信,则与原 SNMPv3 中的引擎 ID 和密钥唯一性标准相抵触。因此,在改进模型中引入了组播组的概念,并对组播组及其成员信息和组密钥进行管理。相应地,在原有两个 SNMP 实体的基础上扩充了组代理实体,其作用包括:根据与管理站的通信产生组播流,接收管理站的组播流用于配置代理,将组播流回复给组播组管理站。

SNMP 是基于管理站/代理模式的,支持组播的 SNMPv3 改进模型要将组播和 SNMPv3 相结合,必须对管理站(网管系统)和代理(被管设备)都进行扩充和改进,使其能够识别组对象,存储组信息和完成消息传送。因此,对原 SNMP 模型的改进主要包括:对设备 MIB 库的扩展、对 SNMP 引擎的改进、增加组管理模块 GM、群组密钥管理模块 GKM 和密钥管理模块 KM。改进后的模型如图 1、图 2 所示。由于组播是动态配置和管理的,一个设备上的代理可以根据需要配置为一个组代理或设备代理,因此组代理和设备代理的模型相同。

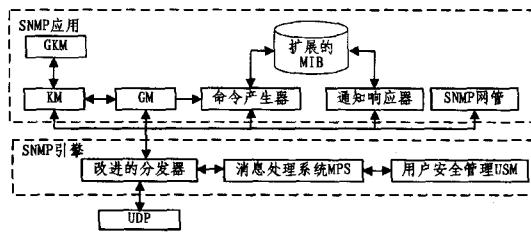


图 1 管理站端 SNMPv3 改进模型

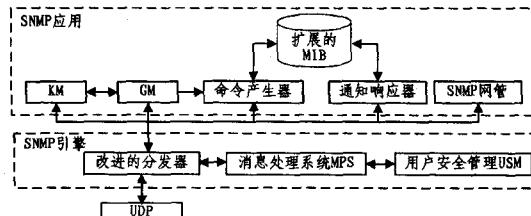


图 2 代理端 SNMPv3 改进模型

上图中,GKM(Group Key Management)为群组密钥管理模块,仅部署于管理站端,根据组播密钥管理协议通过特定算法生成密钥,并将密钥分发给群组中的每个组成员^[8];管理站端和代理端的 GM(Group Management)为组信息管理模块,用于管理组信息和组成员信息;KM(Key Management)为密钥管理模块,实现从 GKM 获取组密钥和更新本地密钥功能;

扩展的 MIB 库存储组及其成员信息的定义;改进的 SNMP 引擎实现组播消息的正确发送和接收,使分发器可以识别组播数据包和兼容新添加的功能模块。

2.3 主要模块

2.3.1 MIB 扩展

SNMP 体系的核心是管理信息库 MIB。它是网络中所有被管对象的集合,采用分层的树型结构来定义被管对象。经 SNMP 传输的所有管理信息都被收集到 MIB 库中,因此要实现基于组播的 SNMP,首先应对 MIB 做相应的扩展,使其能够存储组信息。

本文对 MIB 库的组播扩展包括组信息表(groupInfo)和组成员信息表(groupMember)。其中,组信息表包括该节点所管理的组或所属组的所有信息,组成员信息表中包括该节点所管理的组的组成员信息。图 3 所示为 MoCA 设备的 MIB 库中添加的 groupInfo 分支树和 groupMember 分支树。

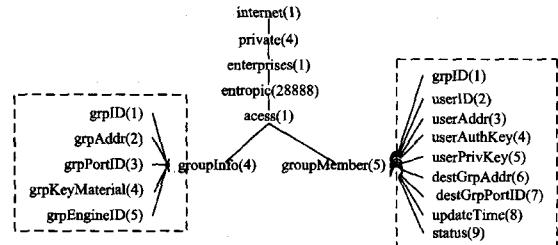


图 3 groupInfo 分支树和 groupMember 分支树

扩展 MIB 的组信息列表具体描述如表 1 所列,其扩展的组成员信息列表如表 2 所列。

表 1 组信息列表具体描述

字段名	管理站描述	代理描述
grpID	所管理的组 ID	所属的组 ID
grpAddr	所管理的组 IP	所属的组 IP
grpPortID	所管理的组口号	所属的组口号
grpKeyMaterial	组密钥	组密钥
grpEngineID	组引擎 ID	组引擎 ID

表 2 组成员信息列表具体描述

字段名	管理站描述	代理描述
grpID	所管理的组 ID	所属的组 ID
userID	代理 ID	管理站 ID
userAddr	代理 IP	管理站 IP
userAuthKey	代理认证密钥	管理站认证密钥
userPrivKey	代理加密密钥	管理站加密密钥
destGrpAddr	—	目的组播 IP
destGrpPortID	—	目的组播口号
updateTime	更新周期	—
Status	代理注册状态	—

2.3.2 SNMP 引擎的改进

SNMP 引擎的主要任务是从一个外部实体(UDP 包或应用程序)获取数据包,通过解析数据包的版本号、协议类型等内容处理数据包的包头,调用验证和加密解密函数,分析数据包的正确性和实时性,将数据包传送给上层应用程序或底层传输协议。在标准 SNMP 引擎中,分发器担负着待处理数据包在消息处理子系统(Message Processing Subsystem, MPS)和 SNMP 应用程序层或者传输协议层之间传送的任务^[9],即分发器属于 SNMP 引擎和其他 SNMP 函数模块之间的接口部分,因此必须修改分发器以识别和处理组播数据包。改进后的分发器如图 4 所示。

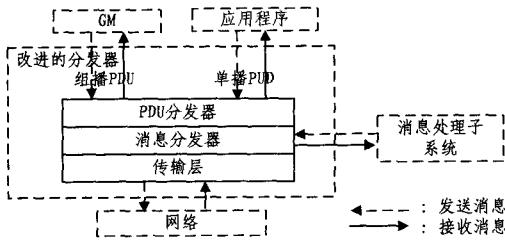


图 4 改进后的分发器

发送消息时,上层应用程序提供需要发送的 UDP 包,然后改进的分发器在该 UDP 包上附加由消息处理子系统提供的信息和安全子系统提供的安全信息,并进一步附加 GM 模块里的组密钥相关信息。一旦消息准备完毕,分发器便通过传输层将该消息发送出去。

接收消息时,改进后的分发器首先解析所接收消息的 SNMP 版本号,然后将该消息发送给消息处理子系统指定的版本消息处理模型,由它来继续解析该消息的其它部分,并且协调安全子系统的安全检查。另外,改进后的分发器还将有关组消息的部分交由 GM 模块来处理,经过版本消息处理模块、安全子系统以及 GM 模块的验证处理后,再由改进分发器的 PDU 分发器模块决定将该 PDU 发送给上层的某个应用程序。

2.3.3 组管理

组管理模块 GM 主要用来管理组成员信息,如加入、退出组和更新组等操作,它需要和 KM 模块、命令产生器以及改进的分发器配合。GM 从 KM 模块获取组密钥,并且根据该密钥生成组引擎 ID。

(1) 以管理站为中心的组管理

SNMP 的管理站/代理模式以一个管理站为中心管理大量设备代理,这种管理方式可以自然地实现以管理站为中心的组管理。以管理站为中心的组管理是指管理站作为组控制器 GC(Group Controller),对所在组播组的通信类型、组的创建和所有代理拥有全部的控制权限,即所有代理只是扮演被动接收的角色。每一个管理站 GC 负责所在组播组内所有代理节点的加入、更新、退出、查询等操作。

(2) 动态组管理

本模型在管理站和代理之间允许两种通信方式:一对一和一对多。采用哪种通信方式,可以由管理站在运行时动态设定。同样,组成员的更新周期、SNMP 代理回复到单播地址还是组播地址等也可以由管理站来设定,即管理站可以在运行时动态更改这些配置,实现动态的组管理。

(3) 管理站和代理的组播扩展

作为消息接收者,代理要能够接收由管理站发送的组播消息,则需在代理的 SNMP 应用中添加组管理功能,如加入、退出组播组等,因此需对代理程序进行组播扩展。作为消息发送者,由于组播与标准 SNMP 中的单播在发送数据包时是类似的,只是接收者不同,发送方无需考虑加入/离开组播组,因此管理站采用组播方式与一个组代理进行通信时,只需要以单播或组播方式发出管理指令给代理即可。

(4) 管理站和代理之间的组通信

组通信主要包括组控制和组查询,在对 SNMP 做了组播扩展之后,单播方式主要用于组控制;组播方式既可以用于组查询,也可以用于组控制。管理站与代理之间可根据需要采

用单播或组播方式进行通信,以完成网管任务。当管理站只与某个代理进行通信时,它仍然采用原有的单播方式。

组管理模块 GM 添加的主要功能如下:

(1) 加入组(Join Group):配置设备里的 MIB 库,将该代理添加到一个组中。管理站通过给代理发送单播/组播 SNMP 配置(set-SNMP)消息的方式要求代理加入特定组,即在 groupInfo 表中完善 grpAddr 以及 grpPortID 等信息。最后,管理站将代理应获知的密钥用该组的共享密钥加密后传送给代理。

(2) 退出组(Leave Group):管理站通过给代理发送单播/组播 SNMP 配置(set-SNMP)消息的方式要求代理退出特定组,在 groupInfo 表中清空 grpAddr 以及 grpPortID 等信息或者将状态值(status)设为‘DAV’(退出组的标识)。然后,根据组播密钥管理协议对密钥进行更新。

(3) 更新组信息(Update Group):管理站通过给代理发送单播/组播 SNMP 配置(set-SNMP)消息的方式要求更新代理中的 MIB 信息,即在 groupInfo 表中更新 grpAddr 以及 grpPortID 等信息。

(4) 验证组成员(Check Group):根据代理提供的密钥对其身份进行认证。此操作发生在管理站给代理发送单播或者组播的时候,在 groupInfo 表中更新 grpAddr 以及 grpPortID 等信息之前。

2.3.4 组播密钥管理

组播密钥管理负责组管理的安全问题,包括密钥的分发和处理组成员动态变化时的密钥更新。通常的组播密钥管理可分为集中控制式、分布式和分层分组式 3 种方案^[10]。由于 SNMP 本身的管理站/代理模式是一种集中控制方式,且集中式密钥管理简单、安全性强,便于进行全面的管理,因此在 SNMPv3 改进模型中,组播密钥的管理适合采用以集中控制式为主的管理方案,即以管理站为中心负责组播密钥的分发和更新。

本文采用逻辑密钥树方案实现密钥的管理,将管理站作为一个组控制器和密钥服务器 GCKS(Group Controller and Key Server)管理一棵逻辑密钥树。树中每个节点对应于一个密钥,根节点对应组密钥,叶节点对应 GCKS 和组成员之间的共享密钥,中间节点对应孩子树中组成员之间的共享密钥,可用于为子组的通信加密。

当组成员要求加入时,先向 GCKS 发起注册。GCKS 对其进行身份认证,并生成共享密钥 k。然后 GCKS 在密钥树上创建该组成员对应的叶节点并将 k 作为其密钥值。为了实现后向加密,新创建的叶节点到 GCKS 路径上全部的密钥都要更新。GCKS 在本地完成密钥更新之后,将更新后的密钥按照特定顺序分发给各个组成员。

当组成员离开时,为了实现前向加密,GCKS 需更新该组成员知道的全部密钥。为确保离开的组成员无法破解密钥更新报文,密钥更新从叶节点向根节点逐步进行,并且利用子节点的密钥对父节点的更新密钥进行加密。GCKS 在本地完成密钥更新之后,按照一定顺序将更新后的密钥分发给各个组成员。

以上的组播密钥管理由管理站端的 GKM 模块和管理站与代理端的 KM 模块共同实现。管理站端的 GKM 模块负责组密钥的生成和分发。当创建一个组时,管理站为组播树的

根节点，并在第一个加入代理的帮助下生成组密钥报文，其中包括两个密钥：用来加密组播报文的密钥和用来加密组密钥的密钥。当新的代理加入时，管理站用它为该组的共享密钥加密组密钥报文并将加密后的报文发送给该组员。如果需要更新密钥，管理站生成新的组密钥报文，并用当前组密钥的加密密钥加密后通过组播发送给所有组员。当某代理离开时，生成新的密钥并分发给其余组成员的代理。

KM 模块完成本地密钥的管理和更新，主要功能包括：

(1) 申请密钥(Get Key)。即在管理站创建一个组播组的时候，作为第一个组成员，参与生成新的密钥。

(2) 更新密钥(Update Key)。接收 GKM 模块发送的密钥更新报文，解密并完成本地密钥的更新。

3 支持组播的 SNMPv3 改进模型的流程实现

在改进模型的基础上，实现了组管理和基于组播的数据采集。

3.1 组管理流程实现

SNMPv3 改进模型基于 SNMP 的标准操作(如 SET 和 GET)。由于引入组播组，相应地扩充了一个 SNMP 实体：组代理。改进模型包括 3 个 SNMP 实体：(1)管理站，定义了组播组的所有配置信息，采用以管理站为中心的组管理方式；管理站既是发送者也是接收者，它是每一个组的管理者。(2)组代理，它根据和管理站的对话产生组播流，接收管理站组播流用于配置代理，并将组播流回复给组播组管理站。(3)代理，它受管理站的支配，接收管理站单播控制信息用于配置，例如加入组、退出组等，并将单播流回复给管理站。

SNMPv3 改进模型的组管理流程可以概括为以下几步：

① 创建组播组。管理站为组播组定义组名称、组播 IP 地址、组播端口号、组密钥等；组密钥从 GCKS 申请得到。

② 加入组播组。管理站给代理 A 发送一个加入组的单播 set 命令。代理 A 获取到报文后，先验证其是否处于该组播组中。如果不在，调用 Join Group 加入该组，同时更新代理 A 中的组播组信息，即 MIB 库。

③ 查询和更新组播组。管理站给组播组中所有代理发送组播消息，进行状态查询、密钥更新或配置更新等操作；代理经过验证报文后，调用 Update Group，更新相应组信息。

④ 退出组播组。管理站给一个或多个代理发送一个退出组的单播/组播 set 命令；代理获取到报文后，经过验证报文，调用 Leave Group，退出相应的组播组，同时清空或删除这些代理中的组播组信息，即清空或删除 MIB 库。

3.2 基于组播的数据采集实现

数据采集采用组播轮询的方式。首先需要管理站对所有的设备进行分组，可以通过向每个设备单播一个 SET 命令来实现；然后管理站进行组播轮询，即每次向一个组发送一个组播数据包，按组轮询设备。如果有设备处于掉线状态，所收到的回复必然少于实际所管辖的设备的数目。因此，在组播轮询一次后，可更新动态设备列表来动态获取设备状态信息；由于设备的静态信息基本不变，不同于反应设备当前运行状态的动态信息，为提高采集效率，可创建多个线程并行组播轮询，分别获取设备的不同属性信息；在接收设备的回复数据包时，解决发送和接收数据的速率不匹配的问题，可采用环形缓存策略和基于自适应的线程接收机制来实现^[4]。具体流程如

下：

① 在轮询采集之前，管理站发送 SET 数据包对所有的设备进行单播分组；

② 管理站开始组播轮询，动态获取设备状态，产生设备列表；

③ 管理站采用多线程并行轮询的方法，分别获取设备的静态属性和动态属性；

④ 采集开始时，初始化动态设备列表、环形缓存、线程等，开启静态轮询线程、动态轮询线程、组播轮询线程，开始轮询；

⑤ 管理站采用环形缓存策略和基于自适应的线程接收机制，接收设备的回复数据包，协调接收速率和处理速率不匹配的问题。

4 实验及结果分析

4.1 实验环境

使用 C# 语言开发了一套基于 B/S 结构的面向三网融合的综合网管系统，它已在测试环境中运行。该网管系统使用了本文所提出的改进 SNMPv3 模型来完成网管系统的数据采集和数据查询。

测试的网络环境如图 5 所示。最高层为网管层，只有一个 M1 节点，管理两个组播组：grp01-M1 组和 grp02-M1 组；中间层为子服务器层，共有 4 个子服务器：EM1、EM2、EM3 和 EM4，每个子服务器管理一个组播组，分别为 grp01-EM1 组、grp01-EM2 组、grp01-EM3 组以及 grp01-EM4 组，其中代理 A4 被组 grp01-EM1 和组 grp01-EM2 共有，其余组均含有 4 个代理；这里，A1 → M1：表示数据由 A1 单播到 M1，A1 为代理，M1 为代理或者子管理站；A1 → > M1：表示数据由 A1 组播到 M1。

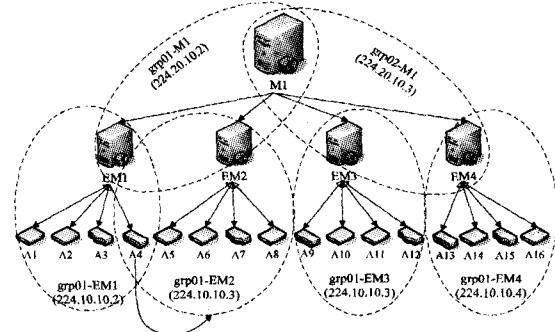


图 5 测试的网络环境

测试过程为：M1 向所管理的两个组播组 grp01-M1 和 grp02-M1 组播消息；这两个组中的组员接收到组播信息后，查看自身的 MIB 库。如果 destGrpAddr 不为空，则继续向目的组播地址组播该消息，如 EM1 将消息再次组播给组 grp01-EM1、EM2、EM3、EM4 一样。最后，最底层设备端的代理接收上层子服务器的组播信息后，以单播发送的方式回复上层子服务器。代理 A4 继续发送组播消息给组 grp01-EM2。其详细过程描述如下：

M1 → > grp01-M1；

M1 → > grp02-M1；

EM1 → > grp01-EM1；

EM2 → > grp01-EM2；

EM3 → > grp01-EM3；

EM4->>grp01-EM4;
A1,A2,A3->EM1;
A4->>grp01-EM2;
A5,A6,A7,A8->EM2;
A9,A10,A11,A12->EM2;
A13,A14,A15,A16->EM2。

4.2 实验结果

从轮询数据包总量和轮询总时间来比较单播和组播后的数据采集性能。在单播的情况下,所有管理站和代理通信时全部采用单播方式。

(1) 轮询数据包总量比较

图6所示为在设备数量相同时分别采用单播和组播方式的轮询设备的数据包总量比较。从图中可见,采用单播方式的轮询数据包总量大约在550~650kb之间,而采用组播方式则在250~350kb之间。轮询数据包总量减少了50%左右,可见组播方式可以大大减少轮询的数据包总量。

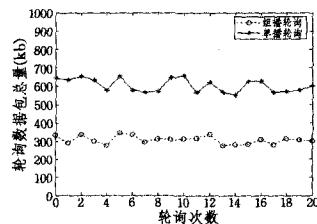


图6 轮询数据包总量比较

(2) 轮询总时间比较

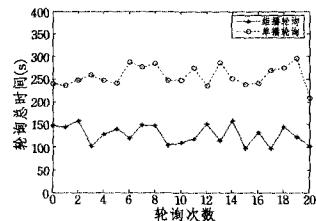


图7 轮询总时间比较

图7所示为在相同设备数量的情况下单播和组播方式的轮询总时间的比较。从图中可以看出,采用单播方式的轮询

总时间大约在230~300s之间,而采用组播方式的轮询总时间为110~160s之间,轮询时间大约缩短了一倍。

结束语 根据三网融合环境下进行网络管理的实际需求,为提高网管系统的性能,本文将SNMPv3协议和组播相结合,提出一种支持组播的SNMPv3改进模型,引入了组播组和组代理实体,给出了管理站和代理端的系统模型。并基于此改进模型开发了网管软件。从对软件的测试结果可以看出,与单播方式相比,采用组播进行数据采集时,轮询数据包总量和轮询总时间都会减少大约50%。因此,改进模型可以大大减少系统的轮询数据包量和缩短轮询周期,有效地提高了网管系统的性能。

参 考 文 献

- [1] 付玄.三网融合下的网管平台组网[J].通信世界,2010,22:36
- [2] Zeng Jian-qiu, Shen Meng-ru, Patta L. Triple Play: Development Trends and Business Strategy in China[C]// Management and Service Science(MASS). 2010:1-4
- [3] Boxma O, van der Wal J, Yechiali U. Polling with batch service [J]. Stochastic Models, 2008, 24(4):604-625
- [4] 程春玲,崔国亮,隋宗见.基于广播SNMP的网络管理并行轮询算法[J].计算机应用研究,2010,27(12):4711-4714
- [5] 陆正福,杨洋,何英,等.基于IP多播的SNMP研究[J].微计算机应用,2007,28(4):380-385
- [6] Biswas P K. A Formal Framework for Multicast Communication [J]. IEEE Systems Journal, 2010, 4(3):353-362
- [7] Yang Xiao. Physical path tracing for IP traffic using SNMP [C]// ICETC 2010 2nd International Conference on Education Technology and Computer. 2010, 5:5310-5317
- [8] Huang Chun-ying, Chiua Yun-peng, Chena K, et al. Secure multicast in dynamic environments[J]. Computer Networks, 2007, 51(10):2805-2817
- [9] Case J, Harrington D, Presuhn R, et al. Message Processing and Dispatching for SNMP [R]. RFC: 3412. Network Working Group, 2002
- [10] 李洋.安全组播通信技术的研究与实现[D].北京:北京邮电大学,2009

(上接第59页)

- [5] Zhao Qing-lin, Tsang D H K, Sakurai T. A simple and accurate model for nonsaturated IEEE 802.11 DCF[J]. Transactions on Mobile Computing, 2009, 8(11):1539-1553
- [6] Liu R, Sutton G J, Collings I B. A New Queueing Model for QoS Analysis of IEEE 802.11 DCF with Finite Buffer and Load [J]. Transactions on Wireless Communications, 2010, 9(8):2664-2675
- [7] Tian Guo-song, Tian Yu-chun. Markov Modelling of the IEEE 802.11 DCF for Real-time Applications with Periodic Traffic [C]// 12th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications. Melbourne, Australia, Sept. 2010:419-426
- [8] Zhao Qing-lin, Tsang D H K, Sakurai T. Modeling Nonsaturated IEEE 802.11 DCF Networks Utilizing an Arbitrary Buffer Size [J]. Transactions on Mobile Computing, 2010, 9(9):1-15
- [9] Bianchi G, Tinnirello I. Kalman filter estimation of the number of competing terminals in an IEEE 802.11 network[C]// Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. San Francisco, USA, 2003(2):844-852
- [10] Zhai H, Fang Y. How well can IEEE 802.11 wireless LAN support quality of service[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2005, 4(6):3084-3094
- [11] Song Y, Zhu X, Fang Y, et al. Threshold optimization for rate adaptation algorithms in IEEE 802.11 WLANs [J]. Transactions on Wireless Communications, 2010, 9(1):318-327
- [12] Laddomada M, Mesiti F, Mondin M, et al. On the throughput performance of multirate IEEE 802.11 networks with variable-loaded stations: analysis, modeling, and a novel proportional fairness criterion [J]. Transactions on Wireless Communications, 2010, 9(5):1594-1607
- [13] Prakash G, Thangaraj P. Throughput Analysis of IEEE 802.11b WLAN Under a Non-saturated Condition [C]// IEEE International Test Conference. Marriott Austin, 2010:65-69
- [14] Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function[J]. Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3):535-547