

卫星网络流量测量方法的研究

张登银 乔丽霞

(南京邮电大学计算机科学与技术系 南京 210003)

摘要 该文针对卫星组网的特点,研究基于 SNMP(Simple Network Management Protocol)的被动测量方法在卫星网络流量测量中的应用。首先介绍采用 SNMP 测量网络流量的基本原理。在此基础上引入监控节点选择算法,以减少监测设备的数量,提高网络流量测量性能。最后给出了实际开发的应用程序及实验结果。利用该结果可进一步计算或统计处理,进而确定卫星网中资源的分配和使用,调整网络达到最佳性能。该文实现的完整流量测量,为卫星网络实施流量工程提供了实时准确的数据和有效的网络管理依据。

关键词 卫星组网, 流量测量, 简单网络管理协议, 流量工程

中图分类号: TN915.6, TN927

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)05-0800-05

Study of Measurement Methodology for Satellite Network Traffic

Zhang Deng-yin Qiao Li-xia

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract Taking into account the features of satellite networking, solving the measurement for traffic in satellite networks by adopting passive measurement method based on SNMP is studied in this paper. The principle of measurement for network traffic using SNMP is studied firstly. Based on this, a selecting algorithm of nodes monitored is introduced so as to decrease the number of devices monitored and enhance the network performance of measurement for traffic. Finally, the flow chart of application explored in practice and the related experimental results are given. Further calculating or statistical disposing using the results can be processed. Then the distribution and utilization of resources in satellite network can be confirmed and the network can be adjusted to the optimal performance. The whole procedure of measurement for traffic is implemented and real-time exact data and available network management evidence are provided for the implementation of traffic engineering in satellite network.

Key words Satellite networking, Measurement for network traffic, SNMP (Simple Network Management Protocol), Traffic engineering

1 引言

流量工程(Traffic engineering)的目标是优化网络工作性能,其研究重点是对自治系统内部的各种业务流进行管理和控制。实施流量工程的一个必要前提就是对网络流量的测量,为网络性能分析提供最原始的数据。流量测量还可用于检测链路拥塞和拒绝服务攻击^[1,2]。

测量网络流量的方法很多,例如 RMON, NetFlow, NeTraMet&NeMaC 等,可分为主动测量和被动测量两类。主动测量方法是通过主动地向网络中注入流量,然后根据反馈信息来判断网络链路性能状况。这种方法对测量主机的性能要求不是很高,但其测量过程需要一段时间,对于卫星网这种拓扑结构不断变化的网络难以实现网络性能的实时监测;

被动测量方法是通过从交换机或路由器被动地监听网络链路路上的流量来收集数据,收集过程可按适当地周期进行。这样在需要根据网络链路性能状态进行约束路由时可以直接得到可用信息。这种测量方法对测量主机的性能要求较高,因为它必须处理通过该节点的所有通信流量,尤其是在通信速率较大时。测量流量需要在网络中布置很多测量主机,如何选择最小的测量主机的集合来获得每条链路的通信流量,以便减少网络开销提高测量效率,是流量测量需要研究的一个首要问题。

卫星网是一个由不同轨道上多种类型的卫星,按照空间信息资源的最大有效综合利用原则,互通互连,有机构成的智能化体系。卫星网本身的特点决定了其可用资源要远远小于地面网络,所以在卫星网中实现流量工程来平衡网络中不同链路、路由器和交换机之间业务负荷就显得尤为重要。目

前国内外对卫星网流量工程技术尚未提出完整的研究和实现方案。对于流量测量的研究也仅局限于地面网, 并且尚未有具体的实现。星上路由一般布置在中高轨卫星, 卫星网络拓扑结构呈现周期性的慢变化^[3]。本文针对这种卫星网的特点, 对卫星网中流量测量的方法进行研究, 提出了适合卫星网络的流量测量方法, 并且对其进行实际应用开发与实验, 结果表明本文实现的完整流量监测可以为在卫星网络中实施流量工程提供准确的原始数据和可靠的网管依据。

2 基本原理

卫星网络具有拓扑变化、延时加大等特点, 而且星上可用资源受限, 因此适合采用被动测量技术, 以便实时监测网络性能, 调整网络资源的分配和使用。目前, 被动测量技术主要是基于 SNMP/RMON 和数据捕获, 工作原理是网络管理工作站轮询交换机或路由器等网络设备中的代理或周期性探测以获得每个端口的流量大小。简单网络管理协议 (SNMP) 现已在地面网络中广泛使用, 具有易于实现、便于扩充等优点, 已成为网络管理事实上的工业标准, 采用 SNMP 的方法测量数据会获得最大的通用性。因此, 我们选用基于 SNMP 的被动测量方法, 结合卫星组网的特点来实现各种业务流的测量。

一般而言, 基于 SNMP 的流量测量由管理工作站 (MW), 管理代理 (MA), 管理信息库 (MIB) 和 SNMP 协议 4 部分组成^[4]。所有管理信息的对象都以固定格式存储在 MIB 中。MIB 给出了网络中所有可能的被管对象的集合的数据结构。被管理对象按照层次式树形结构组织, 这个树状结构中的每个分枝都有一个专用的名字和一个数字形式的标识符。该标识符唯一标志了一个对象的值, 它由一串整数构成。这个值称为对象标识符 (OID)。在 MIB 中规定了所有的 OID 及其值的含义。我们可以通过其数字标识符来查找 MIB 中的对象, 这个数字标识符从结构树的顶部 (或根部) 开始, 直到各个叶子节点 (或对象) 为止。也可以用另一种更短的格式表示, 即用数字形式标识符代替分支名。对象的格式由管理结构 (SMI) 定义, SMI 给出了定义 MIB 参数和结构的基本框架。MW 和 MA 配置并且轮询 MIB 来得到一些有用的对象。

SNMP 定义了 5 种协议数据单元 (PDU, 即 SNMP 报文) 来配置和轮询 MIB。其原理如图 1 所示。流量测量主要用到其中两类 PDU: GetRequest 和 GetResponse。SNMP 管理站使用 GetRequest 从拥有 SNMP 代理的网络设备中检索信息, SNMP 代理以 GetResponse 消息响应 GetRequest 消息。可以交换的信息很多, 如 system 对象组中系统的名字, interface 对象组中系统的网络接口数及表 ifTable 中的对象等。

MIB II 定义了很多对象组, 例如 system, interface, AT (地址转换), IP, ICMP, TCP, UDP, EGP, SNMP 等。有关流

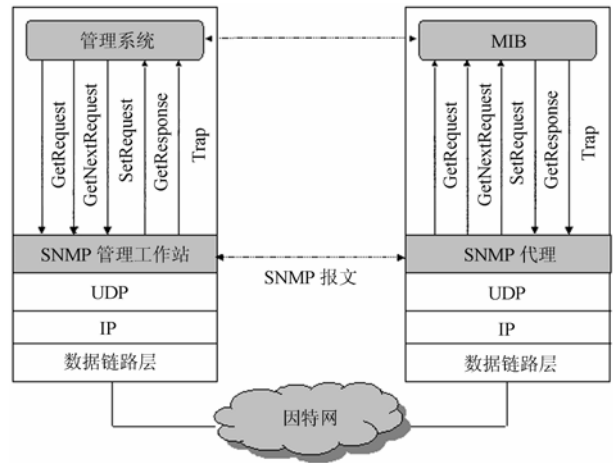


图 1 SNMP 原理

Fig.1 SNMP Principle

量测量的主要参数包含在 interface 组中, 包括: 接口收到的字节总数 ifInOctets, 接口发送的字节总数 ifOutOctets, 传输到高层协议的子网单播分组数 ifInUcastPkts, 高层协议请求传输到一个子网单播地址的分组总数 ifOutUcastPkts (包括那些被丢弃的分组或没有发送的分组), 传输到高层协议的非单播 (即子网广播或子网多播) 分组数 ifInNUcastPkts, 高层协议请求传输到一个非单播 (即子网广播或子网多播) 地址的分组总数 ifOutNUcastPkts (包括那些被丢弃的分组或没有发送的分组)。

流量的字节速率和接口分组速率分别为

$$\text{rate by bytes} = (\Delta \text{ifInOctets} + \Delta \text{ifOutOctets}) / \Delta t \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{rate by packets} = & (\Delta \text{ifInUcastPkts} + \Delta \text{ifOutUcastPkts} \\ & + \Delta \text{ifInNUcastPkts} + \Delta \text{ifOutNUcastPkts}) / \Delta t \quad (2) \end{aligned}$$

3 监控节点选择算法

流量工程的目标是在网络流量不断增大的情况下平衡网络流量, 减少网络拥塞, 优化网络性能。然而, 在基于 SNMP 进行流量测量时, 网管工作站需要周期性轮询网络设备中的代理, 监测的网络越大, 需要轮询的设备就越多。随着网管系统逐渐侧重于服务级和应用级管理, 网络监控过程需要以更快的频率收集更多信息。尤其是对于拓扑结构不断变化、星上资源受限的卫星网络, 高频率的 SNMP 查询会带来一系列问题, 诸如: 轮询周期不能满足实时需求, 轮询 MIB 产生额外的网络负载, 配置 SNMP 代理的网络设备性能因频繁处理查询请求而迅速下降, 等等。因此, 减少轮询设备的数量, 缩短轮询周期, 进而减少因查询引起的网络负载是卫星网络流量测量必须考虑的关键问题。这个问题可以应用监控节点选择算法^[5]来解决。

首先, 我们将网络模型描述为一个有向图 $G=(V, E)$, $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 表示网络节点的集合, $E=\{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 表

示连接网络节点的边的集合。令 $n=|V|$, $m=|E|$ 分别表示 G 的节点数和边数, $\text{deg}(v)$ 表示节点 $v \in V$ 的度(即邻接边的总数)。 v_0 是网管工作站(NMW)的节点。假设 $v_0 \notin V$ 。

假设每个节点 v 满足流守恒定律, 即流入 v 的流量的总量与流出 v 的流量的总量近似相等^[6], 那么可以表示为

$$\sum_{e_i \in I_v} Bw(e_i) - \sum_{e_j \in O_v} Bw(e_j) = 0 \quad (3)$$

其中 I_v 和 O_v 分别是 v 的入口链路和出口链路。

严格来讲, 式(3)所示的流守恒只是近似成立, 因为可能会有直接流入或流出路由器的流量(例如路由协议交换, 管理流量和ARP请求), 多播流量, 延迟以及丢弃。在足够长的监控周期内, 可以忽略这些因素。Lucent对其网络中骨干路由器进行的测量表明: 流守恒是成立的, 其相对错误率一般低于0.05%^[6]。因此, 如果一个路由器有 k 条链路, 并且其中 $k-1$ 条链路的带宽利用信息可知, 那么该路由器其余链路的带宽利用信息可以由流守恒等式获得。

为了监控网络中的所有链路, 我们需要选择一个运行SNMP代理的设备子集, 可以覆盖 G 中的每条链路。也就是说, 由网管工作站监控的链路的两个端点中至少要有一个端点运行SNMP代理。我们可以这样推导这个问题的数学模型: 给定网络图 $G=(V, E)$, 例如图2, 寻找运行SNMP代理的设备的最小集合 $S \subseteq V$; v_0 通过查询 S 中的每个节点可以获得 G 中所有链路的利用信息。简言之, 如果 S 可以覆盖 G 中的每条链路, v_0 就可以监控所有链路的带宽利用信息。

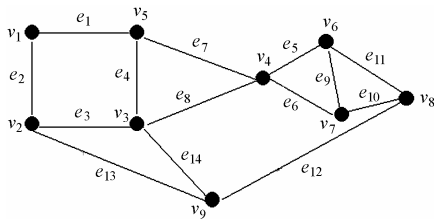


图2 网络图 G
Fig.2 Network graph G

下面来讨论保证所有链路流量可测量的充分条件。

定理 1 假设有向图 G 的测试节点集合为 S , $G' = G - S = \{G_1, G_2, \dots, G_j\}$ 表示从 G 中除去 S 中所有节点和与这些节点相连接的边, $G_i(1 \leq i \leq j)$ 表示所有 G' 的连接子图, n_i 和 m_i 分别是 G_i 的节点数和边数。如果 $\forall G_i$ 满足 $n_i \geq m_i$, 那么图 G 所有链路都可以测量或得到。

证明 如果对于 G_i 中每个节点 v_j 等式(3)都成立, 则有 n_i 个流守恒等式, 其中有 m_i 个链路流量为未知变量。如果 $\forall G_i$, $n_i \geq m_i$, 则等式系统是可行的。也就是说, 图 G 中所有链路都可测量或可得到。

根据定理 1 和证明, 我们可以给出以下推论。

推论 1 如果 $\exists G_i$ 满足 $n_i < m_i$, 那么至少有一条链路的流

量不能得到。

根据定理 1, 我们设计了一个监控节点选择算法, 其伪代码如图3所示。

```

//监控节点选择算法
输入: 网络图 G
输出: 监控节点集 S
BEGIN
    G0=G;
    选择初始监控节点集, 并将其加入 S;
    G0=G-S; //从G0中删除S的所有元素及其邻接边
    While (not (∀Gi, ni≥mi))
        BEGIN
            从ni< mi的Gi中选择最大deg(vj)的节点vj;
            S=S+{vj};
            Gi=Gi-{vj}; //从Gi中删除vj及其邻接边
        END //while()结束
    END //算法结束
    
```

图3 监控节点选择算法的伪代码

Fig.3 Monitor node selection algorithm

在网管系统中, 一般根据节点的重要性、到网管工作站的距离和带宽限制等条件选择初始监控节点集。下面我们运用监控节点选择算法, 得出图2所示的网络图 G 的最小监控节点集 S 。假设 v_3 是初始监控节点, 算法的处理过程如下:

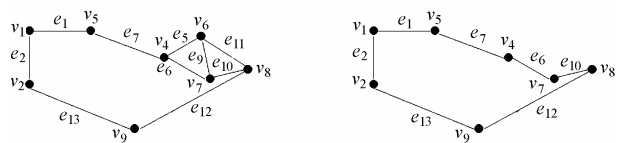
(1) 选择 v_3 , 从 G 中删除 v_3 及其邻接边 e_3, e_4, e_8 和 e_{14} , 得到 G_0 , 如图4(a)所示。 $n|G_0|=8, m|G_0|=10, n|G_0| < m|G_0|$ 。链路流量等式系统不可解。

(2) 选择 v_6 作为监控节点, 删除 v_6 及其邻接边 e_5, e_9 和 e_{11} , 得到 G_1 , 如图4(b)所示。 $n|G_1|=m|G_1|=7$ 。因此流守恒等式系统可解。

(3) 列出所有等式并解之。

G_1 的流守恒等式是:

$$\left. \begin{aligned} e_1 + e_2 &= 0 \\ e_3 - e_2 + e_{13} &= 0 \\ e_{14} + e_{12} - e_{13} &= 0 \\ e_{11} - e_{12} + e_{10} &= 0 \\ e_9 + e_6 - e_{10} &= 0 \\ e_8 + e_5 - e_6 - e_7 &= 0 \\ e_4 + e_7 - e_1 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$



(a) G_0 (b) G_1

图4 删除监控节点后的拓扑图

Fig.4 Topology of erased monitor nodes

因此, 图 2 所示的网络图 G 的最小监控节点集 $S=\{v_3, v_6\}$, 即只需要监测 v_3 和 v_6 而不是监测所有 9 个节点就可以知道网络中所有链路的流量信息。

4 实验结果

考虑到覆盖率、成本等因素, 本项目中设计了一种卫星星座系统, 路由交换部分由 6 颗中轨卫星组成, 6 颗卫星分为两个轨道平面, 两个轨道平面夹角为 90° 。3 颗高轨道卫星为等间隔的定点卫星。卫星网络的拓扑结构虽然会改变, 但其改变的频率并不高, 通过仿真软件 *stk* 可以观察到该星座系统在一天内至多通断两次, 也就是说卫星网络的拓扑改变周期的单位为小时。在卫星网络拓扑改变周期内, 网络的拓扑结构稳定, 而且卫星节点数量较少, 利用监控节点选择算法可以很快得到最小监控节点集, 在实际应用开发过程中, 可在后台利用监控节点选择算法快速离线计算出需要监控的节点集, 在此基础上, 对节点集进行配置, 开发相关的应用程序, 实现网络流量的测量。再利用流守恒等式求解方程, 其复杂度为 $O(n)$, n 为网络中的节点数, 从而得到所有链路的流量信息。图 5 是基于 Linux 平台用 C 语言开发的应用程序流程。该应用程序通过 *ucd-snmp* 软件包实现对网络设备 MIB 信息的获取, 可以实时监测网络接口流量信息和网络性能信息, 保存历史数据及每次采集的时刻并实时显示, 便于分析和预测等。因此, 在卫星网络拓扑改变周期内, 利用监控节点选择算法及流量测量应用程序可以几乎实时地实现网络流量测量。

我们在模拟实验网络环境中运行已开发的应用程序代码, 将由 SNMP 协议得到的信息(response→variables 中的值)实时显示, 可以得到为实施流量工程所需要的数据, 部分数据如表 1 所示。通过与可视化图形工具 *AdventNet MibBrowser* 观察到的结果比较, 证明该应用程序运行结果是正确的。

利用信息采集应用程序可以得到很多 MIB 对象的值, 尤其是用于网络性能管理的信息。部分实验结果数据如表 2 所示。

实验结果显示, 应用程序代码可以灵活高效地运行, 节

省系统资源, 减少数据冗余。为流量工程的实施提供原始数据和基本信息, 利用这些基本信息可进一步计算或统计处理, 得到接口输入错误率、输出错误率、输入丢包率、输出丢包率和接口利用率等性能指标^[7]。通过分析相关数据确定卫星网中资源的分配和使用, 进而调整网络达到最佳性能, 实现流量工程。

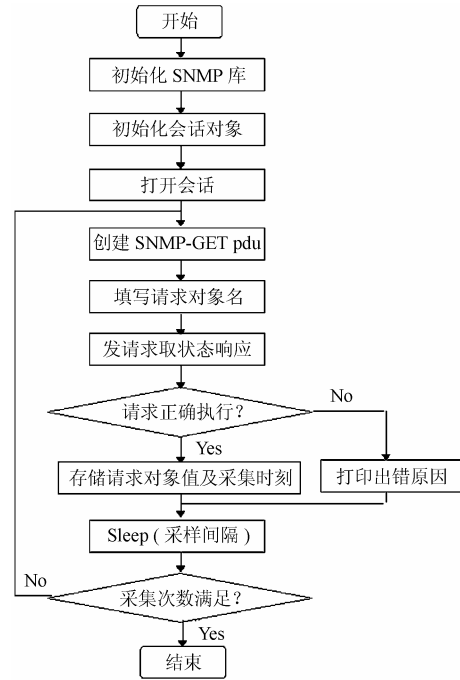


图 5 应用程序流程图

Fig.5 Flow chart of program

5 结束语

流量大小是网络操作和管理的一个重要度量指标。本文对卫星网中流量测量的方法进行研究, 提出了在卫星网络中基于 SNMP 进行网络流量的测量。在测量过程中引入最小监控节点选择算法以减少监控节点的数量, 提高了网络资源利用率, 优化了网络性能。最后, 我们给出了实际应用开发程序及实验结果。本文实现的完整流量监测, 可以为在卫星网络中实施流量工程提供准确的原始数据和可靠的网管依据。

表 1 为实施流量工程采集的部分数据

Table1 Part of data collected for TE implementation

RecordNum	ifSpeed (接口带宽)	ifInOctets (接收字节总数)	ifOutOctets (发送字节总数)	Date (日期)	Time (时刻)
1	10000000	582815426	88048	2003-09-03	14:47:30
2	10000000	608720176	91178	2003-09-03	14:47:35
3	10000000	630499670	94468	2003-09-03	14:47:40
4	10000000	658065554	97556	2003-09-03	14:47:45
5	10000000	686502222	101316	2003-09-03	14:47:50

表2 采集到的部分性能信息
Table1 Part of performance values

对象	实验对象值	描述
ifInErrors	0	无错误的输入包
ifInUcastPkts	3861655	输入 3861655 个单播包
ifInNUcastPkts	69444	输入 69444 个非单播包
ifInDiscards	0	接口没有丢弃输入包
ifOutErrors	0	无错误的输出包
ifOutUcastPkts	995	输出 995 个单播包
ifOutNUcastPkts	657	输出 657 个非单播包
ifOutDiscards	0	接口没有丢弃输出包

参考文献

- [1] Duffield N G, Grossglauser M. Trajectory sampling for direct traffic observation[A]. Gunningberg Per, Pink Stephen. Proceedings of ACM SIGCOMM[C]. Stockholm: ACM SIGCOMM Computer Communication Review, August 2000: 271-282.
- [2] ndley M, Kreibich C, Paxson V. Network intrusion detection:Evasion, traffic normalization, and end-to-end protocol semantics[A]. Wallach Dan S. Proc. 10th USENIX Security Symposium[C]. Washington, D C: Symposium Proceedings, August 2001: 115 - 131.
- [3] 孙勇谋, 王汝传, 王绍棣, 张登银. 基于中国的卫星移动通信系统星座设计方案研究. 通信技术, 2003, 8(6): 65 - 67.
- [4] Hans-Werner Braun. Accounting and measurement of Internet traffic [J/OL]. <http://www.sims.berkeley.edu/resources/infoecon/Accounting.html>, April 2002.
- [5] Xie Gaogang, Yang Jianhua, Wang Junfeng. Amethodology of effective measurement for link traffic[A]. Lin Jintong. Proceedings of International Conference on Communication Technology[C]. Beijing, China: Beijing University of Posts and Telecommunications, April 2003: 161 - 166.
- [6] Cisco System. NetFlow Services and Applications [J/OL]. http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/iosw/ioft/neflct/tech/nap ps_wp.htm, April 2002.
- [7] 张登银, 乔丽霞. 基于SNMP的流量工程信息采集系统研究[J]. 南京邮电学院学报, 2004, 24(4): 20 - 24.

张登银: 男, 1964年生, 博士, 副研究员, 研究方向为信号与信息处理、IP网络技术和信息安全.

乔丽霞: 女, 1980年生, 硕士生, 研究方向为IP网络技术和计算机通信.