基于路由表分析的路由一致性检查

高毓航 龚俭
（东南大学 计算机系，210096 南京）

摘 要：本文提出了一种新的路由一致性检查方法，它基于对路由器中网络运行最新痕迹的分析实现，可更为合理地给出大规模互联网络的连通性信息。文中详细地介绍了该方法的设计思想，以及采用 Java 语言和 Web 技术的实现手段和实现技巧。

关键词：网络连通性、路由表、路由选择、一致性检查
分类号：TP393

Routing Consistency Check Based on Routing Table Analysis

Gao Yuhang, Gong Jian
(Southeast University, Computer Science Dept., 210096 Nanjing, P.R.China)

Abstract: Based on analyzing the last operating trails accumulated in the routers, a new method for route consistency check is proposed in this paper, which can work out the connecting information in a large scale inter-network more reasonably. A set of algorithms are described in detail for the total solution, and the way of implementation with Java and Web are also introduced at the same time.

Keywords: Network Connectivity, Routing，Routing Table, Route Consistency Check

Preferences:

[1] Wang Kehong, Yu Xin, Wang Xidong etc. "Java Programming", Tsinghua University Press.
[2] "SQL Interface of Java",Tsinghua University Press.
[3] “AdvancedCiscoRouterConfiguration:StudentGuide”,SoftwareRelease10.2-0.1 ，CiscoSystems,Inc.
[4] RFC1213, Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets:MIB-II

丨 本文研究内容受国家 863 计划重大课题 863－317-01-3-99 资助
* 高毓航，在读工学硕士研究生，东南大学计算机系，主要从事网络管理的研究。
* 龚俭，工学博士，东南大学计算机系教授、博导，主要研究方向包括网络管理、网络安全、网络体系结构、开放分布式处理等。

1．引言

随着网络规模的日益扩大和计算机互联网络的发展，网络管理成为目前的研究重点和热点。配置管理是网络管理的基本系统管理功能，其管理目标是提供一组可以用来了解和控制网络配置的工具，同时也为其他管理功能提供服务支持。拓扑发现和网络连通性分析是配置管理的核心功能，同时也为其它系统管理功能提供有用的信息。拓扑发现和网络连通性分析可确定网络中各元素之间的互连关系以及网络中的路由选择情况。由于网络的互联结构越来越复杂，以及随着政策性路由的日益增多，及时发现网络中的实际路由情况与网络管理的配置要求的差异成为重要的管理内容。目前采用 CIDR 等技术之后的 Internet 主干网的路由有 40000 多条，CERNET 华东北地区网中的路由也有数百条之多，因此靠管理员人工观察网络路由的变化，并及时发现其中的异常是一件十分困难的工作，而网络路由一致性检查就是满足这一要求的一种路由信息管理功能。

传统的网络连通性检查用基于 ping 或并发的 ping 和 traceroute 构造的拓扑发现算法实现，这类拓扑发现算法运行时要占用大量的资源，因此只能按需要不定时地运行，而其运行的结果是一张反映网络中各节点间互连关系的静态的拓扑图，它不包含路由表工作最为需要的节点间的路由信息，也无法支持高级配置管理的动态运行。本文提出了一种路由一致性检查方法，其主要思想是用 SNMP 协议动态地采集网络中的路由选择信息，通过有效的分析和归纳，更精确地支持对网络连通情况的实时监测和动静态路由一致性检查功能（Consistency Check），并以此构成动态配置管理的基础。

本文讨论了这种路由一致性检查方法的基本工作原理，介绍了系统实现的算法，用一个实例验证了系统的有效性，最后对其在一个实际的网管系统中的应用进行了性能分析。

2．基本工作原理

本文中的系统采用 SNMP 协议实时地读取指定路由器的路由表数据，再图形化显示成表格。系统将这个当前的路由表与所保存的上一次检查结果进行比较，以发现路由的变化，同时系统还可路由现状与预定义的静态路由结构进行比较，以检查当前的网络路由状态与管理员所要求的路由政策是否一致。通过这种一致性检查，可方便地发现网络的连通性变化情况。作为路由一致性检查上的补充，系统除了可提供传统的网络路由检查和主机连通性检查之外，还可提供路由器上防火墙配置的一致性检查，即检查当前路由表的属性是否符合对应的防火墙过滤要求。

路由一致性检查的结果依次分以下五个层次实现：

1) 检查动静态路由表中同一条路由选择的变化情况；
2) 检查动态路由表中是否出现了静态表中没有的新的动态路由选择；
3) 检查是否发现动态表中缺少静态表中已有的静态路由选择；
4) 在全检查模式下，检查动态载入的路由表是否缺少以下静态表中有的路由器；
5) 在全检查模式下，检查动态载入的路由表是否出现静态表中没有的路由器。

3． 总体框架设计

系统的基本运行方式采用的 Client/Server 结构，其总体形式如图 1 所示。

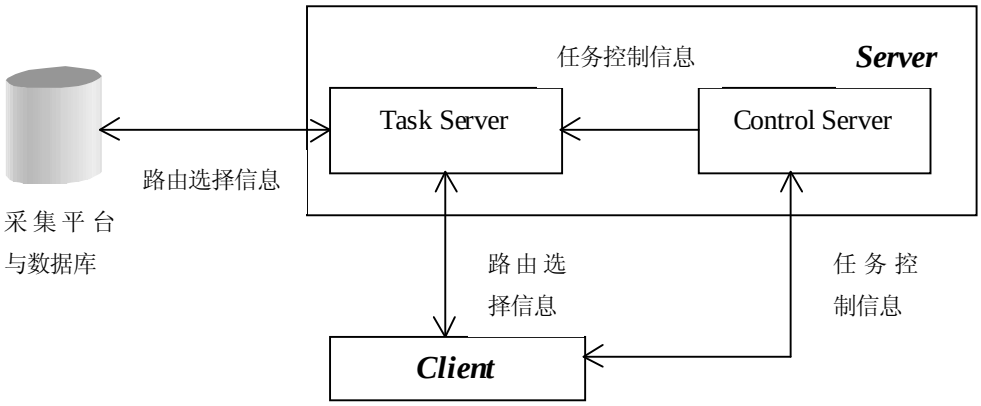

图 1 系统总体框架

在图 1 中，客户端（Client）集成了用户界面和与服务器端（Server）的接口，而服务器端（Server）则由两部分组成： Task Server 和 Control Server。Task Server 用于接收与处理来自客户端的任务请求，向采集平台发出进一步的任务请求，最后将结果返回给客户端。Control Server 负责接收客户端的中断任务命令，中断当前正在执行的任务。

本系统分为五个功能模块：路由表管理、路由一致性检查、网络路由检查、主机连通性检查和防火墙配置检查。在这五个模块中，网络路由检查和主机连通性检查分别实现了 traceroute 和 ping 的功能；防火墙配置检查则是分析用 tftp 得到的 CISCO 路由器静态配置文件，给出该路由器各端口的防火墙配置组别信息（ip route）和各组防火墙的定义（access-list）。模块实现模型见图 2。

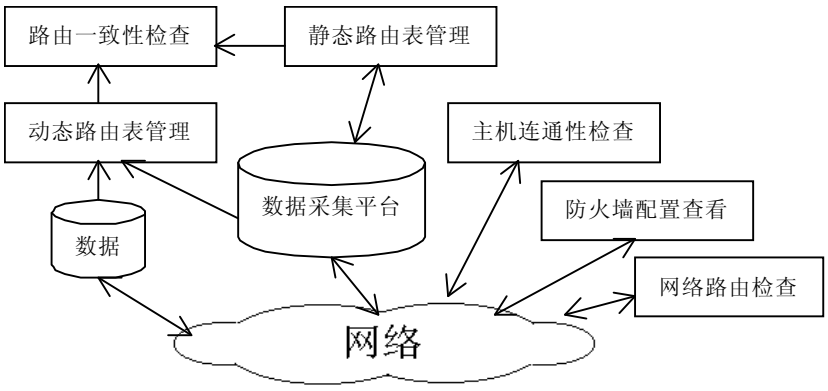

图 2 模块实现模型

4．动静态路由表管理模块设计

路由表管理实现了对动态路由选择表的实时读取和静态路由表的维护功能。因而可再细分为两个子功能：查看动态路由表和静态路由表管理。

4.1.查看动态路由表

该模块可供网络管理员选择管辖范围内的路由器，实时地通过 SNMP 协议去

读取路由器内存中当前正在使用的路由选择信息。通过查看动态路由表，可以获取当前使用中的详细的网络路由选择信息。路由选择信息(ipRouteEntry)中含有报宿地址(ipRouteDest)、当前路由器名、路由选择类型(ipRouteType)和下一跳地址(ipRouteNextHop)，在 SNMP V2 的 MIB 树中的定义位置为“.1.3.6.1.2.1.4.21.1”，具体定义参见 RFC1213。该模块的与路由器的交互操作见图 3。

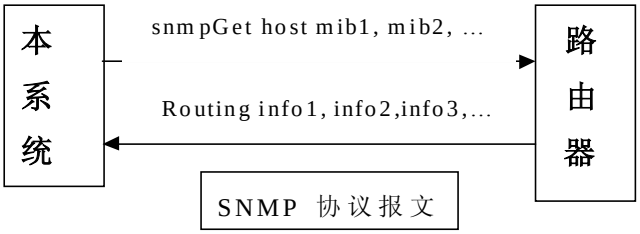

图 3 路由表读取操作

4.2.静态路由表管理

整个系统保存了一张含有所有指定路由器的路由选择信息的静态路由选择表。静态路由表管理则提供了一个对该表进行查看和维护的工具。采用 JAVA 的 APPLET 的所见即所得技术，使网络管理员可以方便地对每条路由选择信息进行增、删、修改等维护工作，以保有被认可的静态的网络连通信息。

静态路由表是一张已经过排序的被管理员认可的体现了网络的正确连通信息的路由表，也是将来进行路由一致性检查的关键。

5．网络路由一致性检查

路由选择表的变化实际上体现了网络的连通性变化。在路由器数目很多、路由表项长的情况下，单单靠手工检查动、静态路由表的一致性不仅是不实际的，而且很难发现异常路由，例如路由“死锁”和“活锁”。因此需要网络路由一致性检查工具来对路由观测值进行可达性分析。这里是通过比较观察值与观察认可的标准值之间的差异，即网络的动态路由与静态路由之间的差异，进而发现网络路由的确切变化。

本系统实现了四个层次的检查：路由选择变化、新的动态路由、缺少静态路由和在全检查模式下的活动路由器的一致性。其中在全检查模式下，系统认为动态路由表中包含了所能探测到的所有节点，因此活动路由器的一致性负责发现是否有新增加或断开的节点。

一致性检查的基本思想如下：以一个路由器为一致性检查的基础单位，采用报宿地址（ipRouteDest）唯一确定一条路由选择表项，再以各条路由表项为比较单位，检查其中的路由选择类型(ipRouteType)和下一跳地址(ipRouteNextHop)是否有任何变化。同时检查动态表中是否有路由选择表项的增、漏，以及动静态路由器的一致性，以便即时监测到路由和节点的变化。

该算法的时间复杂性可以从下列讨论得到。由于显示时的数据存储需要，多个路由器的表项数据被存储在一起成一张总表。如果在路由一致性检查中不作任何优化，完全采用顺序匹配，则整个检查算法的运算量是 $\frac{1}{2}n_{静} \times n_{动}$，其时间复

杂性为$O(n_{静} \times n_{动})$。其中，$n_{动}$、$n_{静}$分别代表动、静态路由表表项的总长度。因此如何优化算法、减小运算量是实现的核心问题。首先，应保持静态路由表中的各表项按报宿 IP 地址有序排列。对于从每一个路由器读回的动态路由表，采用二分查找方法与静态路由总表进行匹配比较，同时使用一个标识静态表各表项状态的数组，记录比较所得的状态值。这时，算法的运算量是$\log_2 n_{静} \times n_{动}$，时间复杂性为$O(\log_2 n_{静} \times n_{动})$，优化的效果随着表项的增大而显著。举例来看：当静态表长为 500，动态表长为 200 时，优化前的计算量是$O(500 \times 200)$，数量级是10^5；优化后的计算量为$O(\log_2 500 \times 200)$，数量级变成1.79×10^3。当静态表长为 50000，动态表长为 20000，优化前的计算量是$O(5000 \times 2000)$，数量级是10^9；优化后的计算量为$O(\log_2 50000 \times 20000)$，数量级变成$3.12 \times 10^5$。

整个检查算法的半形式化流程描述如图 4 所示。

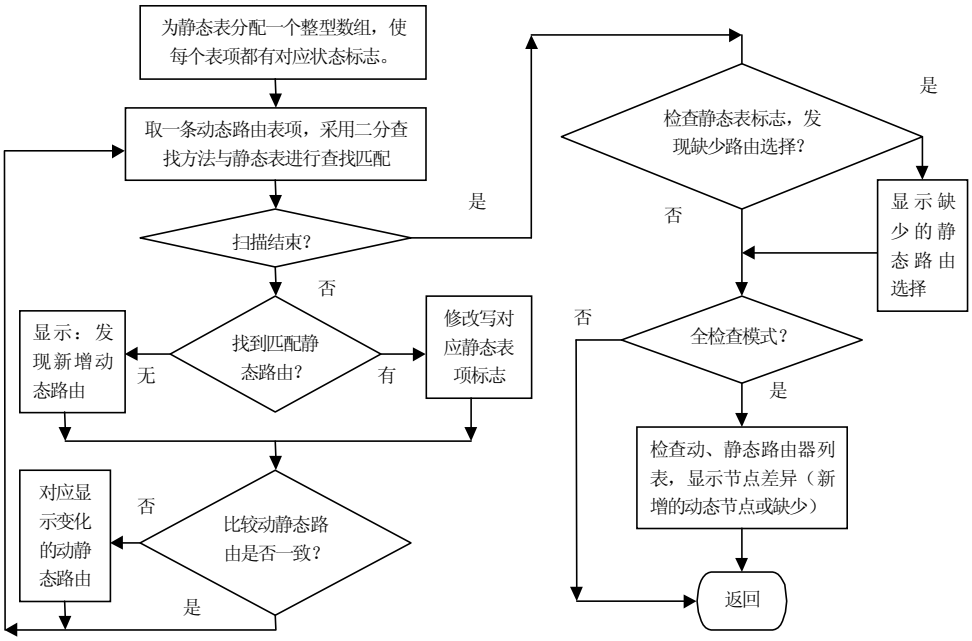

图 4 路由一致性检查算法

6．系统实现及性能分析

出于可视化管理（所见及所得），即为用户提供的友好的图形管理界面的需要，系统的客户端采用 JAVA 的 APPLET 技术来编写；为了方便数据采集与处理，服务器端为 JAVA 编写的 APPLICATION。

该路由一致性检查功能现已实现在 CERNET 华东北地区网络中心开发的 MUDMAN 网络管理系统中，路由一致性检查界面见图 5。

从图 5 可以知道该一致性检查可以进行两种模式下的检查，即全检查模式和部分路由检查模式。在界面左方的选项区选择检查模式和路由器，右方是结果区。观察下图可以发现检查结果是从五个方面给出：

1) 是否发现动静态路由表中对应的路由选择发生变化；
2) 是否发现动态路由表中出现了静态表中没有定义的新的路由选择；
3) 是否发现动态表中缺少静态表中有定义的静态路由选择；
4) 在全检查模式下，是否发现动态载入的路由表缺少已静态定义的节点；

5) 在全检查模式下，是否在动态载入的路由表中发现新的节点。

图 5 路由一致性检查界面

实现该检查算法的系统性能主要取决于路由表的长度。这可以从一致性检查算法的时间复杂性分析中看出，系统运算量的时间复杂性为 $O(\log_2 n_{静} \times n_{动})$，$n_{动}$、$n_{静}$ 分别代表动、静态路由表表项的总长度。由于实现时采用了 Java 的面向对象技术，系统运行时只占用显示必需的表格数据，无其他额外占用空间，因此检查算法的空间复杂性也取决与路由选择表项的长短，是 $O(n_1 + n_2)$。

7．结论

使用本文提出并实现的一致性检查与路由表管理工具，可以进行实时网络路由选择情况监测，与传统的方法相比，本文的方法所提供的网络连通信息更精确、直接。尤其是一致性检查，可以精确、快捷地检测出路由、节点变化，对于监察网络连通性的变化很有效。对系统的进一步的扩展可以从基于路由政策的智能的路由选择检查入手，把防火墙和网络拓扑结构等因素都考虑进去，提供自动的路由的正确性检查、合法性检查、路由漏洞检查，循环判断等功能。

参考文献

[1] 王克宏，郁欣，王曦东等，《JAVA 语言编程技术》，清华大学出版社。

[2]《JAVA 语言 SQL 接口》，清华大学出版社。

[3] "AdvancedCiscoRouterConfiguration:StudentGuide",SoftwareRelease10.2-0.1，CiscoSystems,Inc.

[4] RFC1213, Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets:MIB-II