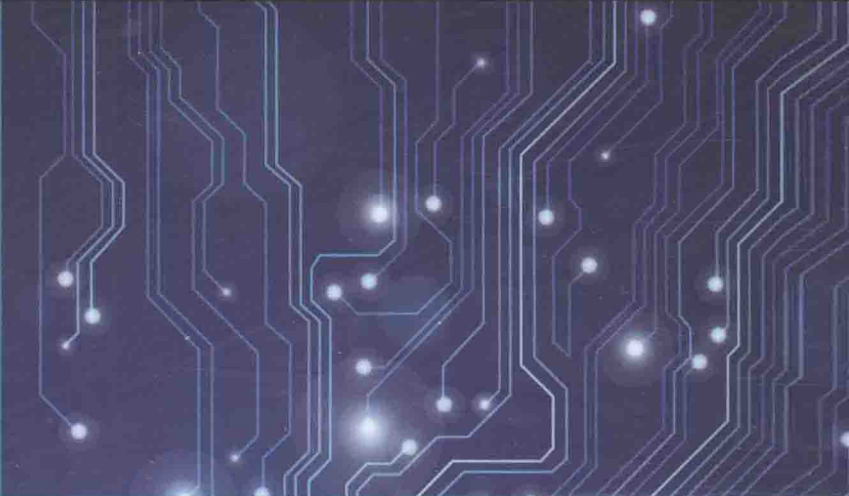


思科系列丛书



网络故障分析

——路由篇

(下册)

李涤非◎编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

思科系列丛书

网络故障分析 ——路由篇 (下册)

李涤非 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书阐述了计算机网络中与路由相关的故障诊断方法,并通过案例讲解了如何应用理论知识分析网络故障的产生原因,重点在于分析过程,旨在为读者提供一种易于理解和掌握的网络故障分析方法,以达到有效排除网络故障的目的。

全书共6章,分上、下两册出版。上册内容包括:网络基础和故障排除方法、直连路由和静态路由的故障分析、RIP协议的故障分析。下册内容包括:EIGRP协议的故障分析、OSPF协议的故障分析、路由安全技术。本书为下册。

本书适合网络工程师、管理员和自学网络技术的读者阅读,既可作为思科网络技术学院的教辅用书,也可作为相关院校师生的教学参考读物。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

网络故障分析. 路由篇. 下册 / 李涤非编著. —北京: 电子工业出版社, 2015.1
(思科系列丛书)

ISBN 978-7-121-24714-9

I. ①网… II. ①李… III. ①计算机网络—故障诊断②互联网络—路由器—故障诊断 IV. ①TP393.07
②TN915.05

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第260377号

策划编辑: 宋 梅

责任编辑: 宋 梅

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 26.25 字数: 588千字

版 次: 2015年1月第1版

印 次: 2015年1月第1次印刷

印 数: 3000册 定价: 79.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

互联网是一个全球性的网络，它的主体是终端设备（包括服务器、个人计算机以及目前各种手持 PC 设备），它们直接向用户提供各种资源。而互联网的另一个组成部分是各种网络设备，路由器又是其中的重要部分。路由器使用路由协议在网络设备之间传递网络可达信息，这些信息保证了用户终端之间能够通过互联网相互通信，因此路由器在互联网中承担了极其重要的角色。随着互联网规模的增长，网络技术人员维护网络的任务更加繁重，各种疑难问题也大大增加。由于路由设备在互联网中处于核心地位，因此，如果能够快速、有效地解决路由故障问题，对于提高网络的可用性和可靠性具有非常重要的意义。

本书阐述了计算机网络中与路由相关的故障分析方法，这种方法区别于其他同类书籍所采用的程序框图式的叙述方式，而是根据数据分组在网络中传输的路径、所经历的处理过程确定故障发生的位置，然后分析可能发生的故障原因。本书通过设计好的案例讲解如何应用理论知识分析和解决网络故障问题，重点在于讲解分析过程，旨在为读者提供一种易于理解和掌握的网络故障分析方法。

全书共 6 章，分上、下两册出版。本书为下册，以下是各章的简要内容。

第 4 章，介绍 Cisco 开发的 EIGRP 协议，首先介绍 EIGRP 协议的开发背景以及该协议与传统的距离矢量协议 RIP 的相同点和主要区别。在理论部分重点阐述 DUAL 算法的工作机制和各项防止路由环路的措施，介绍 EIGRP 复合度量的计算方法。在协议实现部分，讲述 EIGRP 协议的基本配置方法、手工汇总以及如何利用 EIGRP 协议自动传播默认路由。针对 EIGRP 独有的非等值负载均衡特性，详细描述其实现机制、负载分担策略以及相关的配置命令和实现方法。在本章的最后，按照 EIGRP 协议的工作过程，首先介绍 EIGRP 邻居关系方面的故障排除方法，随后阐述路由发送和路由安装方面的故障原因及相应的解决方法，同时介绍 SIA 问题的产生原因、故障定位方法以及针对该问题的预防措施。

第 5 章，介绍 OSPF 协议，它是当前业界使用最为广泛的路由协议之一，也是相对复杂的一种路由协议。本章首先介绍 OSPF 协议的特点以及作为链路状态协议与距离矢量协议的主要区别，随后详细阐述 OSPF 协议的工作过程、影响路由收敛的决定因素以及核心算法 SPF 的路由选择过程，在介绍 SPF 算法的优缺点后进一步讨论 OSPF 划分区域的必要性和原则。在协议实现部分，介绍 OSPF 协议的基本配置方法，如何通过 OSPF 协议自动传播默认路由，举例说明转发地址在外部路由选路方面的作用。针对 OSPF 划分区域的特点，介绍多区域 OSPF 的配置方法，举例说明 OSPF 特殊区域的适用场合以及 OSPF 虚拟链路的作用和它们的配置方法。在本章的最后，按照 OSPF 协议的工作过程，首先介绍引起 OSPF 邻居状态故障的各种可能的原因和解决方法，随后阐述路由发送和路由安装方面的故障原因及相应的解决方法，同时介绍

OSPF 虚拟链路的备份功能、多区域 OSPF 中次优路由问题的产生原因和解决方法，以及当存在多个边界路由器时的选路优化问题。

第 6 章，介绍保护路由协议的安全技术和访问控制列表技术及其在控制网络流量和路由更新方面的应用。本章首先阐述 RIPv2、EIGRP 和 OSPF 协议验证的工作原理和配置方法，包括明文验证和 MD5 验证类型的工作机制和适用场合，以及 OSPF 协议虚拟链路验证的各种配置方法。随后介绍造成每种路由协议验证失败的常见问题及其解决方法，接着介绍访问控制列表的基本概念和工作原理，包括标准 IP ACL 和扩展 IP ACL 的使用方法和应用案例、基于时间的 ACL 的语法规则和配置方法，以及使用 ACL 时需要遵守的几项重要规则。作为对 ACL 功能的补充，本章还介绍了本地策略（Local Policy）的使用方法。本章最后介绍 ACL 在控制路由更新以及过滤调试输出信息方面的使用方法。

笔者在编写过程中注重对基本理论和协议原理的讲解，以循序渐进的方式介绍网络中遇到的各种问题和解决方法，启发读者对这些问题进行深入思考，希望读者能够在真正理解的基础上掌握所学的内容。这种写作方式不同于目前图书市场上的其他同类书籍。笔者多年在思科网络技术学院担任培训教师，以笔者对目前学校和一些培训机构授课方式的了解，近年来，对网络知识的讲授方法逐渐演变为强调操作的重要性，在授课过程中以学生能否在设备上把预期的实验结果做出来为依据来判断学生是否掌握了学习内容。长此以往，导致学生过多地注重对各种命令的使用而不知不觉地忽略了对协议原理和实现机制的理解和掌握，以为熟练操作就是掌握所学知识的标志。这个问题反映到网络故障排除上就表现为遇到问题后只注意对各项配置命令的检查，或检查命令是否输入有误，或检查是否漏掉配置命令。如果确认配置命令无误，则面对故障便不知所措。他们通常将“故障排除”称为“排错”，意思是说排除故障的过程就是查找错误。殊不知在实际网络环境中，大部分网络故障都不是因为输入了错误的配置命令引起的。例如，目前互联网中不同网络设备接口的 MTU 尺寸不尽相同，同时网络中大量存在的过滤设备很可能造成 MTU 探测过程的失败，而很多主机的应用程序在发送 IP 分组时不允许在中途进行分片，从而造成数据分组传输失败。类似这种故障并非由配置错误造成，仅仅熟练掌握配置命令而对网络原理、数据分组经过网络设备时的处理过程等协议的实现细节不了解，不会运用相关网络协议的理论知识去分析遇到的问题，就无法排除这类网络故障。

笔者在本书中尝试从介绍网络原理入手，希望读者能够在掌握基本理论和网络协议的工作原理与实现方法的基础上，应用本书中介绍的故障排除方法，对遇到的网络故障问题进行分析、判断，最终找到故障原因并解决问题。这也是笔者在每一章的前面花大量篇幅详细介绍相关协议的实现机制、工作过程和配置方法的原因。希望读者在阅读本书时不要忽略这部分内容而直接跳到故障分析部分。因为前者是内在的基础，后者是外在的应用，忽略前者而重视后者便是舍本逐末。全书上册的第 1 章是其他章节的预备知识和理论基础，对于上面列举的 MTU 问题在本书的第 1 章中有详尽的论述。如果读者在故障排除过程中遇到对网络原理、协议的运行机

制等不清楚或不理解的地方，请返回到本书的理论部分仔细阅读。

本书面向初学者或刚入职的工程技术人员，因此不涉及一些复杂、难懂的网络技术。同时在讲解故障排除方法时尽量避免采用单纯罗列所有可能的故障原因，然后再逐一列举解决方法的叙述方式。本书的重点在于介绍故障分析方法和过程，使读者最终获得运用已掌握的理论知识分析和解决未知问题的能力。

本书由李涤非编写并统稿，参加编写工作的还有董燕、李国鼐、邢学东、王炬和吴晓明。

感谢思科公司刘亢经理对本书部分章节提出的意见和建议，更要感谢电子工业出版社的宋梅老师，没有宋梅老师的耐心帮助和鼓励，本书将无法完成。

由于作者水平有限，不足之处在所难免，请读者给予批评指正。

邮件地址：lidf2014@163.com

李涤非

2014年12月于北京

目 录

第 4 章 EIGRP 协议的故障分析	1
4.1 EIGRP 协议是如何工作的	2
4.1.1 EIGRP 协议的特点及工作过程	2
4.1.2 EIGRP 构建邻居关系的条件	7
4.1.3 EIGRP 的度量计算方法	9
4.1.4 DUAL 算法的执行过程	14
4.2 EIGRP 协议的配置方法	25
4.2.1 EIGRP 的基本配置	26
4.2.2 EIGRP 的路由汇总	33
4.2.3 其他相关的 EIGRP 命令	38
4.2.4 EIGRP 的非等值负载均衡	43
4.2.5 通过 EIGRP 传播默认路由	48
4.3 EIGRP 协议故障分析	61
4.3.1 EIGRP 无法建立正常的邻居关系	61
4.3.2 路由器没有向外发布应有的路由条目	82
4.3.3 路由表中没有安装应有的路由条目	92
4.3.4 SIA (Stuck In Active) 问题	108
4.4 本章小结	119
第 5 章 OSPF 协议的故障分析	121
5.1 OSPF 协议是如何工作的	122
5.1.1 OSPF 协议的特点及工作过程	122
5.1.2 OSPF 建立邻居关系的条件	136
5.1.3 在不同的拓扑类型中 OSPF 同步拓扑库的过程	138
5.1.4 多区域 OSPF	152
5.1.5 特殊的 OSPF 区域类型	165
5.1.6 多区域 OSPF 中的虚拟链路	170
5.1.7 OSPF 的选路原则	172
5.2 OSPF 协议的配置方法	173
5.2.1 OSPF 协议的基本配置	173
5.2.2 通过 OSPF 传播默认路由	179

5.2.3	多区域 OSPF 配置	181
5.2.4	将外部路由导入 OSPF	184
5.2.5	配置 OSPF 的特殊区域	188
5.2.6	配置虚拟链路	195
5.3	OSPF 故障分析	197
5.3.1	邻居状态问题	198
5.3.2	路由器没有向外发布应有的路由条目	247
5.3.3	路由表中没有安装应有的路由条目	265
5.3.4	利用虚拟链路解决骨干区域被分割的问题	292
5.3.5	OSPF 的选路问题	298
5.4	本章小结	313
第 6 章	路由安全技术	315
6.1	保护路由协议	316
6.1.1	实现 RIPv2 验证	316
6.1.2	实现 EIGRP 验证	326
6.1.3	实现 OSPF 验证	337
6.2	访问控制列表	365
6.2.1	访问控制列表概述	365
6.2.2	ACL 的工作原理	366
6.2.3	标准 IP 访问控制列表	369
6.2.4	扩展 IP 访问控制列表	381
6.2.5	基于时间的 ACL	396
6.2.6	访问控制列表的使用规则	399
6.2.7	访问控制列表在其他方面的应用	404
6.3	本章小结	409
	参考文献	411

第4章



EIGRP 协议的故障分析

本章要点

- ✎ EIGRP 协议是如何工作的
- ✎ EIGRP 协议的配置方法
- ✎ EIGRP 协议故障分析
- ✎ 本章小结

本章介绍另外一个动态路由协议——EIGRP（Enhanced Interior Gateway Routing Protocol，增强型内部网关路由协议），它是 Cisco 公司在 20 世纪 90 年代初开发的一个私有路由协议。既然已经有了 RIP 协议，为何还要开发其他的动态路由协议呢？这是因为 RIP 协议不适用于大型网络，最明显的问题是它的度量最大值定义为 15 跳（规定最大 15 跳的原因是开发 RIP 协议时网络规模很少超过 15 跳），这意味着最远的两个网段之间不能超过 16 台路由设备，所以就限制了网络的规模。不过这个度量最大值本身并不是问题的关键，只要在协议中修改这个度量最大值将其定义为更大的数值即可。实际上，在 OSPF 和 EIGRP 协议开发完成之前，Cisco 公司已经发布了 IGRP（Interior Gateway Routing Protocol，内部网关路由协议），它与 RIP 协议相同都是传统的距离矢量协议，但是 IGRP 协议打破了 15 跳的限制，将跳计数的最大值定义为 255 跳。

那么 IGRP 协议是否就能够适用于大型网络呢？答案是否定的。传统的距离矢量路由协议之所以难以用于大型网络，本质上并不是度量值的限制而是其周期性更新的特点难以满足大型网络对收敛时间的要求。试想，如果按照更新间隔为 30 秒计算，在最远的两个网段之间相隔 10 台路由设备的网络中，相隔最远的两台路由设备之间相互学习到对方的路由条目所花费的时间为 270 秒（将近 5 分钟），而大型网络中最远的网段之间的路由设备数量远不止 10 台的规模。当然，我们也可以设置较短的更新间隔，但是这样一来虽然缩短了收敛时间，却增加的对线路带宽的占用。因此为了适合大型网络的需求，必须从根本上改变传统的距离矢量协议的工作机制以缩短收敛时间。

Cisco 公司开发 EIGRP 协议的初衷，正是为了设计一种适合于大型网络的路由协议。它不但能够快速收敛，而且还能较少地占用线路的带宽。下面具体介绍 EIGRP 协议的工作原理和实现方法。

注释：Cisco 公司在 2013 年 2 月将 EIGRP 协议的基本内容提交给 IETF 审核，准备成为 Informational RFC。这就意味着任何网络设备生产商只要按公开的协议内容编写系统软件，都可以与启用 EIGRP 协议的 Cisco 路由器直接互操作。当然这只是理论上的预期，实际情况还要看其他厂商的支持态度。

4.1 EIGRP 协议是如何工作的

4.1.1 EIGRP 协议的特点及工作过程

针对 EIGRP 协议有两种不同的说法：一种称为高级距离矢量协议；另外一种称其为混合型路由协议。当前的 Cisco 文档中倾向于称它为高级距离矢量协议。

根据动态路由协议工作机制的不同，可将它们分为距离矢量路由协议和链路状态路由协议

这两大类。这两类路由协议有一个本质上的区别：距离矢量路由协议直接将自己路由表中的内容作为路由更新信息发送给相邻的路由设备；链路状态协议不直接发送自己路由表中的内容而是将拓扑库中的信息发送给相邻的路由设备。

EIGRP 与 RIP 协议都是直接将自身路由表中的内容发送给相邻路由设备，因此从这个本质特征上讲 EIGRP 属于距离矢量协议，之所以前面冠以“高级”这一修饰词，是因为它与传统的距离矢量协议（如 RIP 协议）相比功能有所增强，缩短了收敛时间，提高了工作效率。EIGRP 又被称为“混合型路由协议”是因为在距离矢量的算法基础上加进了链路状态协议的一些特性，如路由器之间通过 Hello 数据包建立邻居关系以及增量更新和构建拓扑表等机制，它兼有这两种路由协议的特点。

尽管该协议被命名为增强型 IGRP (EIGRP)，但 EIGRP 与 IGRP 协议仅在路由度量的计算方法上兼容，它们的路由算法和工作过程则完全不同。IGRP 协议仍采用贝尔曼-福特 (Bellman-Ford) 算法，而 EIGRP 的路由算法称为 DUAL (Diffusing Update Algorithm, 扩散更新算法)，在 4.1.4 节中将介绍这个算法的具体内容。

注释：20 世纪 80 年代中期，为了弥补 RIP 协议的局限性，Cisco 公司开发了私有的 IGRP 协议。它与 RIPv1 相同属于有类路由协议，这使得它在当今网络中的应用受到了限制，随着 EIGRP 协议日趋成熟，从 IOS 版本 12.2 (13) T 和 12.2 (R1s4) S 开始 Cisco 公司不再支持 IGRP 协议。

1. EIGRP 协议的特点

EIGRP 协议有如下特点。

- ① EIGRP 是无类路由协议，通告路由信息时携带子网掩码，它支持 VLSM 和 CIDR 技术。
- ② 采用 DUAL 算法计算最优路由，保证路由无环。
- ③ 采用多因子（链路的带宽、延迟等）参与度量计算，计算结果为综合度量值。
- ④ 快速收敛，适合在大型网络中部署使用。
- ⑤ 采用增量更新机制发送路由更新（非周期性更新），节省线路带宽。
- ⑥ 设备之间的 EIGRP 通信使用组播（224.0.0.10）或单播地址。
- ⑦ 保存满足可行性条件的备份路由，当前主路由由条目失效后可快速切换到备份路由。
- ⑧ 灵活的路由汇总功能，可在任意接口上执行手工汇总。
- ⑨ 支持非等值负载均衡。
- ⑩ 使用 RTP (Reliable Transport Protocol, 可靠传输协议) 保证信息传递的可靠性。
- ⑪ 支持多个网络层协议，除支持 IP 路由外，还可以在 IPX 和 Appletalk 网络中作为路由协议。

注释：EIGRP 的可靠性是通过 RTP 协议实现的，它是 Cisco 的私有协议。该协议封装在 IP 数据包内部，在 IP 报头中协议字段对应的协议号为 88。

EIGRP 协议既保留了传统距离矢量协议算法简单的特点，同时又能够实现快速收敛，符合大型网络对路由协议的要求。Cisco 公司在开发 EIGRP 协议时还添加了一些开放的、标准化路由协议（如 OSPF）所不具备的特性。例如，根据可行性条件（参见 4.1.4 节的内容）预先选择一条或多条可选备份路由（Cisco 的术语为 Feasible Successor，可行后继者），一旦最佳路径失效，只经过简单的比较之后便可将备份路由提升为当前最优路由并安装到路由表中。此外，EIGRP 协议可控制协议报文对链路带宽的占用率，为用户流量保留带宽，并且 EIGRP 还提供它所独有的非等值负载均衡特性。这些特性将在下面的内容中详细介绍。

2. EIGRP 协议的工作过程

（1）EIGRP 在工作过程中使用的数据包类型

在介绍 EIGRP 协议的工作过程之前，首先要了解 EIGRP 在工作过程中使用的如下 5 种数据包类型。

① **Hello**: 用于发现邻居以及维护邻居关系。建立和维护邻居关系用的 Hello 数据包其目的地址为组播地址 224.0.0.10。

② **Update**: 用于发送路由更新信息。当运行 EIGRP 的路由器第一次建立邻居关系时，更新数据包（Update）目的地址以单播方式传送给邻居。当路由表的内容发生变化时，EIGRP 进程以组播方式发送更新数据包通告路由信息。更新数据包要求可靠传输，因此收到更新包的一方需要返回确认信息。

③ **Query**: 当路由表中的路由条目失效且不存在可行后继路由时，EIGRP 进程向邻居发送查询数据包（Query），询问邻居是否拥有失效路由条目的替代路由。查询数据包通常以组播形式发送，在特定情况下以单播方式重新发送。EIGRP 协议要求收到查询数据包的一方必须回复，因此它是可靠的。

④ **Reply**: 专门用来回复邻居查询数据包（Query）的应答数据包。它使用单播地址回复查询方。

⑤ **ACK**: 用于对更新（Update）、查询（Query）和应答（Reply）数据包进行确认。确认数据包（ACK）是以单播形式的 Hello 数据包实现的，两者的区别在于：Hello 数据包内部的确认号为“零”，而 ACK 数据包中包含一个非零的确认号。无须对 ACK 本身进行确认，否则将陷入无休止的循环确认中。

在上述 5 种类型的数据包中，不需要对 Hello 和 ACK 进行确认，当路由器收到其他三种类型的数据包后必须进行确认。

（2）EIGRP 协议的工作过程

EIGRP 协议的工作过程与传统的距离矢量路由协议存在较大的差别，图 4-1 给出了 EIGRP 工作过程的主要步骤。

① 假设 RA 首先启动 EIGRP 进程，随后向 RB 发送 Hello 数据包。

② RB 收到 RA 的 Hello 数据包后，将它与 RA 的关系置为“待定 (Pending)”状态 (“待定”表示 RB 希望与 RA 建立邻居关系)，并且 RB 也向 RA 发送 Hello 数据包，随后 RB 向 RA 发送内容为空的单播 Update 数据包，其中的初始化 (Initialization) 比特置 1，表示这是初始化处理过程 (即初次建立邻居关系)。

③ RA 收到 RB 发来的 Hello 数据包和初始化比特置 1 的 Update 数据包后，将它与 RB 的关系置为“待定”状态，表示 RA 希望与 RB 建立邻居关系。

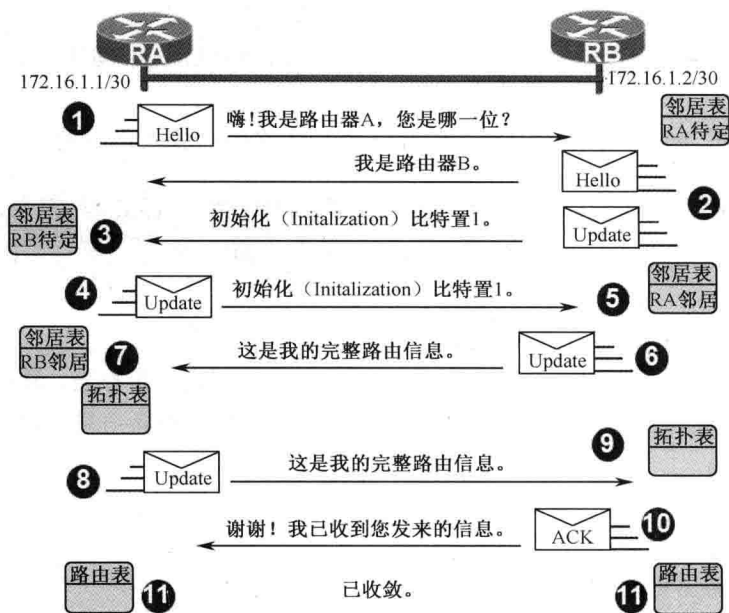


图 4-1 EIGRP 的工作过程

④ RA 向 RB 发送内容为空的单播 Update 数据包，并且初始化 (Initialization) 比特置 1，同时还包含有对上面步骤②中的单播 Update 数据包的确认信息。EIGRP 中的确认不仅仅通过 ACK 数据包完成，这里通过在 Update 数据包中顺带传送确认信息可减少数据包的数量，以减少对带宽的占用。

⑤ RB 收到 RA 发来的单播 Update 数据包获得确认信息后，将它与 RA 的关系置为“邻居”状态，这时 RB 正式认可了与 RA 的邻居关系。RB 能够收到 RA 发来的确认信息说明 RA 朝向 RB 方向的链路可达；而 RA 给 RB 发送确认信息说明之前 RA 曾收到过 RB 发给它的消息，这表明 RB 朝向 RA 方向的链路也是可达的。步骤④对步骤②的确认机制是为了检查链路是否双向可达，链路双向可达是 EIGRP 建立邻居关系的前提。

⑥ 当 RB 认可与 RA 的邻居关系后，RB 立即回复 RA 一个单播 Update 包，内含 RB 的路由条目，其中的初始化 (Initialization) 比特置 0，表示初始化过程结束。这个 Update 包中还包含针对上面步骤④中单播 Update 包的确认信息。

⑦ RA 收到 RB 发来的确认包后，确认链路是双向可达的，并将它与 RB 的关系置为“邻居”状态，这时 RA 也正式认可了与 RB 的邻居关系。至此，RA 和 RB 都互相承认对方是自己的邻居。同时 RA 收到 RB 的路由信息后将它们放入自己的拓扑表中。

⑧ RA 与 RB 成为邻居关系后，RA 立即回复 RB 一个单播 Update 数据包，内含 RA 的路由条目，其初始化（Initialization）比特置 0，表示初始化过程结束。该 Update 包中还包含针对上面步骤⑥中单播 Update 包的确认信息。

⑨ RB 收到 RA 的路由信息后将它们放入自己的拓扑表中。

⑩ RB 发送针对上面步骤⑧中单播 Update 包的确认信息，这个确认信息是以 ACK 数据包的形式发送的。

⑪ 路由器根据各自拓扑表中的路由信息计算最优路由并放入路由表中。

注释：启动 EIGRP 协议后，路由器会以固定的间隔持续发送 Hello 数据包。为了突出其他过程，后续发送的 Hello 数据包没有在图 4-1 中表示出来。

（3）EIGRP 协议工作过程的 3 个阶段

从上述过程中可知，EIGRP 协议需要维护 3 张表：邻居表、拓扑表、路由表。邻居表保存着符合条件的邻居信息；拓扑表记录着从邻居收到的所有路由更新信息；路由表保存着计算得到的最优路由信息。

总结上述的工作过程可将其简化为以下 3 个阶段。

- ① 建立邻居关系。
- ② 将接收到路由更新信息存入拓扑表。
- ③ 根据拓扑表中的路由信息计算最优路由并放入路由表中。

（4）EIGRP 协议与传统的距离矢量协议的区别

从上面的 EIGRP 工作过程可以看出，它与传统的距离矢量协议（如 RIP）存在较大的区别，主要表现在以下几个方面。

① 传统的距离矢量协议周期性地发送整张路由表，如果路由表的规模较大，会占用大量的 CPU 和带宽资源。EIGRP 不再采用周期性更新路由表的方法，而是当路由信息发生变化时只更新改变的部分（增量更新），这就节省了系统资源的占用。同时 EIGRP 通过定期发送 Hello 数据包探测相邻路由器的工作状态，Hello 数据包的大小很小，这样能够以较小的代价在相邻设备之间维护邻居关系，以便及时发现不可访问的邻居（Hello 包的发送间隔可调整）。而传统的距离矢量协议没有维护邻居关系的机制，只能依靠路由条目的计时器超时来发现路由失效。图 4-1 所示的邻居表中记录了邻居关系。在上述 EIGRP 工作过程中，邻居状态由“待定”转为“邻居”记录了邻居关系由初始状态变为完成状态的过程。只有当邻居关系确立以后，路由器才会向邻居发送完整的路由信息。

② 传统的距离矢量协议只在自己的路由表中保存最优路由，一旦某条最优路由失效，路由器必须等待下次路由更新时才能获得最新的路由信息。而 EIGRP 协议将收到的路由更新信息全部保存到拓扑表中（其中不仅包括最优路由，还包括从邻居学到的所有其他路由信息），然后优选其中的最优路由放入路由表。这样，当最优路由失效后，路由器可以立即到拓扑表中查找新的替代路由，而不必像传统的距离矢量协议那样等待下一次更新的到来，这样就缩短了收敛时间。当然，也存在最优路由失效后，在拓扑表中找不到替代路由的可能，针对这种情况的解决方法将在 4.1.4 中具体介绍。

③ 由于传统的距离矢量协议消息交换的不可靠性，可能会产生路由黑洞问题。以图 4-1 为例，如果两台路由器之间运行 RIP 协议，假设由于线路故障造成 RA 和 RB 之间的链路只能单向可达（光纤线路容易出现单向断路的故障），例如，RA 朝向 RB 方向可达，而 RB 朝向 RA 方向断路。这时 RB 能够学习到 RA 发来的 RIP 路由更新信息并将其写入自己的路由表中（假设是一条关于 RA 左侧网段的路由条目），但是若根据这条路由向 RA 发送数据包则由于 RB 朝向 RA 方向断路而失败，这类路由被称为路由黑洞（路由表中显示路由可达但实际上无法访问）。传统的距离矢量协议中没有相应的机制来避免这种路由黑洞的产生。而 EIGRP 协议本身的可靠性机制能够探测出单向链路故障，从上面的 EIGRP 工作过程中可以看出，邻居的建立过程要求信息交换是双向的。如果线路仅仅是单向可达，则有一方肯定收不到确认信息，这样就不能建立邻居关系，进而也无法传递路由更新信息，从而避免了路由黑洞的产生。

综上所述，EIGRP 协议的各项特性使收敛时间缩短，同时提高了工作效率，并且弥补了传统距离矢量协议的不足之处。

说明：读者可能注意到，上面列出的 EIGRP 工作过程中只涉及 3 种 EIGRP 数据包类型（Hello、Update 和 ACK），其他两种类型的数据包（Query 和 Reply）将在 4.1.4 节做详细介绍。

4.1.2 EIGRP 构建邻居关系的条件

EIGRP 建立邻居关系的过程非常重要，这是路由器发送路由更新信息的前提条件，如果不能正确建立邻居关系，相邻路由器之间将无法进一步相互学习路由信息。EIGRP 协议规定了构建邻居关系的条件，这些条件包括：

- 相邻路由器的接口 IP 地址属于同一子网。
- 双方 EIGRP 进程的 AS（Autonomous System，自治系统）号相同。
- 双方计算度量的 K 值完全相同。
- Hello 包发送间隔（Hello Time）不超过保持时间（Hold Time）。

如何判断是否符合这些条件呢？EIGRP 建立邻居关系始于相互发送 Hello 包，在 Hello 数据包中包含了上述条件中的接口 IP 地址、EIGRP 进程的 AS 号、用来计算度量的 K 值和保持时间（Hold Time）。

接收方在收到发送方发来的 Hello 数据包后首先要判断双方接口 IP 地址是否属于同一子网，设置这个条件的原因与 3.3.2 节案例 4 中介绍的要求“路由更新包的源地址与接收更新信息的接口 IP 地址必须属于同一子网”的原因相同，只有满足这个条件才能保证双方通过直连路由可达，进而能够相互发送数据包（读者可参考 3.3.2 节中关于案例 4 的分析内容）。但是 EIGRP 的 Hello 包中并不携带接口 IP 地址的掩码信息，它如何判断双方的 IP 地址是否属于同一子网呢？它的具体做法是：收到 Hello 包的一方将该数据包的源 IP 地址与接收方接口 IP 地址掩码做与运算，计算出网络号与接收方接口的网络号相比较，相同则条件满足；不同则拒绝建立邻居关系并报告“Neighbor <接口 IP 地址> not on common subnet for <接口名称>”的错误提示信息。

由于 Hello 包中不携带接口 IP 地址的掩码信息，这种检查方法并不严谨，某些情况下可能导致其中一方检查结果满足条件，而另外一方检查结果不符合条件。关于这个问题将在 4.3.1 节中详加描述。

注释：如果在路由器接口上配置了多个 IP 地址，双方只检查主地址（Primary Address）是否在同一子网作为判断条件。

上面的内容检查通过后，再继续判断双方的 AS 号是否相同，这个信息也包含在 Hello 包中。在此读者先记下这个判断条件，关于 AS 号的含义将在 4.2.1 节中具体介绍。

接下来再判断双方的 K 值是否相同，这里提到的 K 值是用来计算度量值的系数，Hello 包中包含 K 值的内容。双方的 K 值必须具有相同度量才具有可比性，因此双方 K 值相同是建立邻居关系的必要条件。关于 K 值的具体含义将在 4.1.3 节中介绍。

最后一个条件是关于 Hello 数据包的发送间隔与保持时间（Hold Time）之间的匹配关系。根据 EIGRP 协议规定，Hello 包的默认发送间隔与接口类型和速率相关：

- 对于局域网接口（如以太网接口）、点到点的串行链路接口（封装协议为 PPP 或 HDLC）、非广播型多路访问网帧中继 / ATM 的点到点子接口以及接口速率大于 1.544 Mbps 的 ISDN PRI 和帧中继接口（非点到点子接口），Hello 包的发送间隔默认为 5 秒；
- 接口速率小于或等于 1.544 Mbps 的 ISDN PRI 和帧中继接口（非点到点子接口），Hello 包的发送间隔默认为 60 秒。

接收方在收到 Hello 包后会启动一个保持计时器，它采用倒计时方式，其初始最大值为保持时间（Hold Time）。保持时间默认是 Hello 包发送间隔的 3 倍，当保持计时器到期（数值为 0）后如果还没收到下一个 Hello 包，则邻居关系解除。这个 Hello 包的发送间隔（Hello Time）与保持时间（Hold Time）可以手工调整，具体方法将在 4.2.3 节中介绍。为了维护稳定的邻居关系，应保证 Hello 包的发送间隔（Hello Time）小于保持时间（Hold Time）。需要注意的是，保持时间（Hold Time）会随着 Hello 包传递到对方设备，例如，在 RA 上分别设置发送间隔（Hello Time）10 秒和保持时间 30 秒，这个保持时间被 Hello 包传送到 RB，RB 根据这个保持时间计时，如果超过 30 秒收不到 RA 发来的 Hello 包，则邻居关系解除。反之亦然，在 RB 上设置的

保持时间也会随 Hello 包传送到 RA, RA 根据该保持时间计时。

上述条件都要满足,方可成功地建立邻居关系。EIGRP 协议的邻居关系非常重要,在初始启动 EIGRP 进程后如果不能正确地建立邻居关系,则相邻路由设备无法相互交换路由信息。当邻居关系已经建立后,如果由于某种原因造成邻居关系解除,路由器将删除其拓扑表中从该邻居学习到的路由条目,并且重新计算路由、刷新路由表的内容。因此 EIGRP 的邻居关系会直接影响学习路由的结果和路由表的稳定。

从本质上讲,之所以设置这些建立邻居关系的约束条件,是因为只有满足这些条件才能保证协议能够及时、正确地交换路由信息。在进行 EIGRP 的故障排查时,检查是否满足建立邻居关系的各项条件是一项重要的内容。

4.1.3 EIGRP 的度量计算方法

我们在选路时考虑的因素越多、越周到,所选择的路径就越合理。EIGRP 协议参考了链路的带宽、延迟、链路负载和可靠性 4 个因素来综合计算路由的度量值。与 RIP 协议只考虑跳计数相比,EIGRP 协议更加准确地描述了路径的优劣。

EIGRP 的度量值是 32 位长的整数,它的计算公式如下:

$$\text{度量值} = \{ [K1 \times \text{带宽} + (K2 \times \text{带宽}) / (256 - \text{负载}) + (K3 \times \text{延迟})] \times [K5 / (\text{可靠性} + K4)] \} \times 256$$

其中,度量因子含义如下所述。

- 带宽 (Bandwidth): 源和目的之间的链路最小带宽,单位是 kbps。
- 负载 (Load): 源和目的之间链路的最高负载,负载反应了接口带宽的实际利用率。负载的数值表示范围是 1~255,例如,255 表示百分之百的负载,128 表示负载约为百分之五十。
- 延时 (Delay): 源和目的之间接口的累计延时,单位是微秒 (μs)。
- 可靠性 (Reliability): 源和目的地之间链路的最低可靠性。可靠性表示链路以往发生故障的比率。可靠性的数值表示范围是 1~255,例如,255 表示百分之百的可靠性(链路没有发生过故障),128 表示可靠程度约为百分之五十(链路的故障率为 50%)。

上述 4 项因子以及链路的 MTU 值被包含在 Update 数据包中传递给邻居,用于计算度量值。尽管 MTU 也包含在路由更新信息中,但它并不实际参与 EIGRP 的度量计算(上面的计算公式中没有 MTU 的内容)。由于在 EIGRP 协议计算度量时综合考虑了多种因素,因此计算得到的结果被称为混合度量值。

公式中的 5 个 K 值称为权重 (Weight),从上面的公式可以看出这些 K 值决定了哪些度量因子参与度量计算以及它们在计算时所占的比重。4.1.2 节中提到的 K 值就是指公式中的这些权重,很明显如果相邻路由器的 K 值不同,则双方计算度量的依据也不相同,进而计算得到的度量值就失去了可比性,这就是为何规定双方 K 值相同才能建立邻居关系的原因。

链路(接口)的负载根据链路的实际情况定期计算(默认情况下以 5 分钟为间隔计算链路