



CCIE职业发展系列  
CCIE Professional Development

[ciscopress.com](http://ciscopress.com)



# IP路由协议疑难解析

## Troubleshooting IP Routing Protocols

The comprehensive, hands-on guide for  
resolving IP routing problems

[美] Faraz Shamim Zaheer Aziz 著  
Johnson Liu Abe Martey

卢泽新 白建军 朱培栋 朱珂 译

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

# IP路由协议疑难解析

Troubleshooting  
IP Routing Protocols

[美] Faraz Shamim Zaheer Aziz 著  
Johnson Liu Abe Martey

卢泽新 白建军 朱培栋 朱珂 译

人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

IP 路由协议疑难解析 / (美) 沙米 (Shamim) 等著;  
卢泽新等译. —2 版. —北京: 人民邮电出版社, 2008.8  
(CCIE 职业发展系列)  
ISBN 978-7-115-18274-6

I. I… II. ①沙…②卢… III. 计算机网络—通信协议—  
路由选择 IV. TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 083612 号

## 版 权 声 明

Faraz Shamim, Zaheer Aziz, Johnson Liu, Abe Martey: Troubleshooting IP Routing Protocols

Authorized translation from English language edition published by Cisco Press.

Copyright ©2002 by Cisco Systems, Inc.

All rights reserved.

本书中文简体字版由美国 **Cisco Press** 出版公司授权人民邮电出版社出版。未经出版者书面许可, 对本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有, 侵权必究。

CCIE 职业发展系列

### IP 路由协议疑难解析

- 
- ◆ 著 [美] Faraz Shamim Zaheer Aziz  
Johnson Liu Abe Martey  
译 卢泽新 白建军 朱培栋 朱 珂  
责任编辑 付 飞
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 46.5  
字数: 1 165 千字 2008 年 8 月第 2 版  
印数: 3 001 - 6 500 册 2008 年 8 月北京第 1 次印刷  
著作权合同登记 图字: 01-2001-2470 号  
ISBN 978-7-115-18274-6/TP
- 

定价: 99.00 元

读者服务热线: (010)67132705 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

## 关于作者

Faraz Shamim, CCIE #4131, 是 Cisco 公司服务提供商高级网络服务部 (ANS-SP) 的网络咨询工程师。他为所负责的多个 Internet 服务提供商提供咨询服务。Faraz 在 CCO (思科在线连接) ([www.cisco.com](http://www.cisco.com)) 上编写了有关 ODR、OSPF、RIP、IGRP、EIGRP 和 BGP 等协议的文档、白皮书和技术短文。Faraz 还参与 Cisco 新招聘的工程师的培训工作, 负责改进和讲解“Cisco 互联网络基础”和“高级 Bootcamp 培训”等课程。他还为 Boulder 的科罗拉多大学和巴基斯坦 Karachi 的 Sir Syed 工程与技术大学 (SSUET) 的硕士研究生讲授过“Cisco 互联网络 Bootcamp”课程。Faraz 曾经是 SSUET 大学的一名访问学者, 在巴基斯坦 Lahore 的 Lahore 管理与科学大学 (LUMS) 做过关于 OSPF 的报告。Faraz 曾经参与过 CCIE 实验室测试的开发工作并指导 CCIE 实验室的建设。Faraz 还在 Networker 会议上做 OSPF 主题方面的演讲。像本书的其他作者一样, 他也是从在 Cisco 技术支持中心为客户提供 IP 路由协议方面的技术支持开始了他的 Cisco 工作生涯, 现在已经在 Cisco 公司工作了 5 年。

Zaheer Aziz, CCIE #4127, 是 Cisco 公司 Internet 基础设施服务工作组的网络咨询工程师, 负责在 MPLS 和 IP 路由协议领域为主要的 ISP 提供咨询服务。在 Cisco 工作的 5 年里, Zaheer 在 Cisco 的 Networker 会议上和多次 Cisco 的活动中都作了发言。他也曾为 Cisco 的 *Packet* 杂志和 *Spider Internet* 杂志撰写关于 MPLS 和 BGP 的稿件。

Johnson Liu, CCIE #2637, 是 Cisco 公司企业高级网络服务部的资深客户网络工程师。他在南加利福尼亚大学获得了 MSEE 学位, 已经在 Cisco 公司工作了 5 年多。他还是 Cisco Press 其他书籍的技术编辑, 包括 *Internet Routing*

*Architecture* 和 *Large-Scale IP Network Solutims* 等书。Johnson 参与多个大型企业和网络服务提供商的大规模 IP 网络的设计项目，这些项目都涉及到了 EIGRP、OSPF 和 BGP 等协议。Johnson 也是 Networker 会议上 EIGRP 协议的应用和疑难解析方面正式发言人。

Abe Martey, CCIE #2373, 是 Cisco 公司 Cisco 12000Internet 路由器系列的一名产品经理，特别擅长高速 IP 路由技术和 IP 路由系统。在担任产品经理以前，他是 Cisco 技术支持中心 (TAC) 一名擅长 IP 路由协议的技术支持工程师，后来又到了 ISP 部（现在是基础设施工程服务部），在这里他的工作与顶级的 Internet 服务提供商紧密相关。Abe 有电子工程的硕士学位，已经在 Cisco 公司工作了 6 年多。Abe 也是《IS-IS 网络设计解决方案》（中文版由人民邮电出版社出版）一书的作者。

## 关于技术审稿人

Brain Morgan, CCIE #4865, CCSI, 是 Allegiance 电信公司数据网络工程部的经理, 他已经在网络界工作了 12 年多。在到 Allegiance 公司之前, 他是一名讲授 ICND、BSCN、BSCI、CATM、CVOICE 和 BCRAN 的讲师和教学顾问。他还是 *Cisco CCNP Remote Access Exam Certification Guide* 一书的作者之一, 并且也是 Cisco Press 其他一些书籍的技术编辑。

Harold Ritter, CCIE #4168, 是 Cisco 高级网络服务部的网络咨询工程师。他负责帮助 Cisco 顶级客户设计、实施和解决各种路由协议问题。他作为一名网络工程师已经工作了 8 年多。

John Tiso, CCIE #5162, 是 Cisco 公司银牌合作伙伴——NIS 公司的一名资深技术专家。他在 Adepth 大学获得了科学学士学位。Tiso 通过了 CCDP 认证、Cisco 安全和语音接入认证以及 SUN、微软和 Novell 的认证。

# 献 辞

## Zaheer Aziz:

把此书献给我已故的父亲，感谢他为我们的生活更加美好而奋斗终生。他独立奋斗、不辞辛劳、艰难困苦的一生是对我工作的一种鞭策。说真的，如果能够看到此书，他将会非常高兴，但是他已经不在人世；毫无疑问，如果能够看到此书，曾在空军服役的父亲肯定也会热血沸腾，但是他已经不在人世；如果能够看到此书，他还会为我热烈鼓掌，但是他已经不在人世。所以，我希望同样为我们辛劳一生的母亲能够享受这种成功和胜利的喜悦，我们家庭的成功同样离不开她的贡献。我祝愿她幸福、长寿。

## Johnson Liu:

把此书连同我最深的爱一起献给我的妻子 Cisco Liu，她给予了我写这本书的灵感和支持。

## Abe Martey:

把此书献给 Cisco 全球 TAC 以前和现在的所有工程师们，感谢他们非凡的热情、奉献以及为我们这个星球上和太空中任何一个网络操作员所提供的极其优秀的技术支持和疑难解析。

## Faraz Shamim:

把此书献给我的父母，他们给予了我永远回报不尽的关爱。还要献给我的妻子，每当我感觉太懒而不想继续写下去时，她总会给我支持。也要献给我的儿子 Ayaan 和 Ameel，他们总是在很多时候耐心地期待我的关注。

## 致 谢

### Faraz Shamim:

我希望本书能够帮助人们解决有关路由的问题。感谢我的经理 Sronivas 以及我的前任经理和导师 Andrew Maximov 为我写这本书所给予的支持。特别感谢 Bob Vigil, 他允许我在 RIP 和 IGRP 章节中使用他的一些资料。感谢 Alex Zinin 帮我澄清了本书中我使用的有关 OSPF 的一些概念。还感谢我的合著者 Zaheer Aziz、Abe Martey 和 Johnson Liu 能够容忍我经常提醒他们各自负责章节的最后期限。还要感谢 Cisco Press 的 Chris Cleveland 和 Amy Lewis 能够对我们迟交书稿给予理解。

### Zaheer Aziz:

我真心地感谢我的妻子帮助我把大量时间用在写这本书上所给予的支持、忍耐和理解。感谢我所在的 Cisco 公司的灵活氛围（特别是我的经理 Srinivas Vegesna）允许我工作的同时继续写书。非常感谢 Faraz Shamim（本书的第一作者）从 San Jose 通过电话邀请我共同撰写本书，当时我正在华盛顿出席 1999 年的第 46 届 IETF 大会。感谢 Moiz Moizuddin 审阅了我所写章节的技术内容。我还想感谢我的导师 Syed Khalid Raza 给予我一贯的指导并把我带入 BGP 协议的世界。最后，我想感谢使这本书的出版成为可能的 Cisco Press，以及 Christopher Cleveland 和 Brain Morgan 给了我很多极大改进书稿质量并使编写过程平稳推进的建议。

### Johnson Liu:

我想感谢我在 Cisco 公司的朋友和同事们，为了解决 IP 路由协议的问题他们同我一起度过了很多个夜晚。他们的专



业技能和知识无与伦比。特别感谢我的经理 Andrew Maximow 和 Raja Sundaram，我在 Cisco 工作期间他们始终给予全力的支持。最后，感谢我的技术编辑们，他们宝贵的建议和投入使本书的质量大大提高。

#### Abe Martey:

首先，我想感谢本书的其他作者，同时也是我的同事 Faraz、Johnson 和 Zaheer，感谢他们想到这么好的一个选题并让我一起参与其中的工作。我们都在 Cisco 技术支持中心的路由协议组工作，在这里我们获得了丰富的解决 IP 路由问题的经验。编写本书是我们与其他很多不在 Cisco 工作的人们一起分享经验的一次尝试。

我从很多 Cisco TAC 工程师、开发工程师以及作为 TAC 工程师的直接和间接的经理们那里得到了大量支持、指导和培训。我为这个作为培养大量优秀人才的摇篮的集体表示深深的敬意。这些人，无论男性还是女性，都是用他们的一生来维护 Internet 的运行。我想感谢我的那些同事（太多以至于不能在这里一一列出），感谢他们在过去的几年里与我一起分享他们的知识和智慧。

在过去的时间内，我与全球范围内的网络专业人员建立了非常好的个人关系，他们有的是我的客户，有的是我在 IETF、NANOG、IEEE 和其他专业的会议上所认识的朋友。我真诚感谢他们与我一起分享他们的知识和经验，以及他们对未来网络技术发展的专业性的洞察力和想像力。

我还想感谢 Cisco Press 的两位技术审稿人 Amy Lewis 和 Chris Cleveland，感谢他们为本书的出版所给予的帮助。还感谢我的几位亲人在整个项目中给我的支持和鼓励。

# 序

坐在 Cisco K 座 3 层的办公室里，我正在看一封 Kathy Trace 从 Cisco Press 发给我的电子邮件，信中问我是否有兴趣写一本书。她曾经读过我为 Cisco 在线连接写的技术短文，还说她想让我成为 Cisco Press 的一名作者。我对这件事非常热心，告诉自己“太棒了，让我们写本书吧！”但是选什么题目好呢？

我想到的一个主题是 OSPF。刚好 Johnson 也在我的办公室，我问他：“嘿，Johnson，你想和我一起写本书么？”他叫到：“写书？”我说：“是的，写本书，你怎么想的？”他考虑了一下，然后说：“好吧！那么我们开始做些什么呢？Cisco Press 的作者们几乎在每一个路由问题上都写过书，但是确实有一个主题还没曾涉及过——IP 路由协议疑难解析。”

显然，Johnson 的这个想法来自他的妻子。每当妻子在他工作时给他打电话的时候，Johnson 总会因为忙于解决客户的问题而让她等待。Johnson 的妻子，名字也叫 Cisco，随后给了他写一本疑难解析类型的书的想法，从而把它当做路由协议方面指南性的参考书以帮助客户自己成功地解决问题。

这个想法实在是太棒了！在这之前还没有谁写过关于这个主题的任何书。于是我打电话给当时正在华盛顿参加 IETF 第 46 届会议的 Zaheer，告诉他这个想法。他也认为这个想法不错。于是我们组成了一个有 3 个 TAC 工程师组成的撰写小组。我们 3 个人都是过去 3~4 年里在 TAC 处理各种路由问题的工程师，同时我们每个人都擅长一种或两种路由协议。我们的经理 Raja Sundaram 过去常说“我希望你能选择一个协议并在那个领域成为专家！”我最有经验的协议是 OSPF，Johnson 精通 EIGRP 和多播协议，而 Zaheer 则

非常擅长 BGP 协议。很快，我们意识到遗漏了一个非常重要的协议：IS-IS。我们 3 个关于 IS-IS 的经验还没有达到能够写一整章关于 IS-IS 疑难解答的水平，于是 Zaheer 建议由 Abe Martey 来写。Abe 已经答应为 Cisco 出版社写一本关于 IS-IS 的书，但是当他看到我们对这本书所投入的热情以后，同意成为我们这个写作队伍中的一员。

当开始这些章节的书写时，我们意识到我们正在从事一项网络路由管理员过去常常梦想的一件事情——一个包含解决各种 IP 路由问题方法的疑难解析的书籍。书中收集的数据都是根据过去 20 年我们解决 IP 网络各种疑难的经验，取自在客户的网络中所遇到的实际问题。我们想让它成为一本能够一次性解决问题的疑难手册和参考书。所以，同疑难解析一起增加了“理解协议”的章节以帮助读者回顾一个特定的协议并更新相关知识。这本书也是一本备考 CCIE 认证很好的参考书。本书将告诉读者如何解决网络中出现的各种 IP 路由问题。我们不可能讨论所有可能出现的情况，但是，通用的指导性方针和技巧将会告诉你解决可能遇到的典型问题的合理的解决方法。

Syed Faraz Shamim

# 前 言

随着 Internet 继续呈指数性增长，网络工程师构建、维护和疑难解析在数量上持续增长的合成网络的需求也在急剧增加。因为网络的疑难解析是一项需要工作经验的实际技巧，减少获取网络互连技术方面专门技能必需的学习曲线，从而及时填补支持快速增长的 Internet 的大量技能型工程师的需求已经变得非常关键。IP 路由是 Internet 技术的核心，有力的解决 IP 路由问题成为缩短网络不可用时间的关键。缩短网络不可用时间也随着在 Internet 上承担的关键业务应用程序的增长而变得日益重要。本书提供了解决网络疑难问题和维护其网络完整性的详细知识。

通过逐步重点介绍解决特定路由失败实景的方式，本书提供了解决 IP 路由疑难问题的独特方法。本书集中了 Cisco TAC 小组多年来的工作经验，首先给出关于路由的概述，随后重点介绍一名工程师在解决网络中出现的各种路由协议问题时应采取的步骤，提供了解决 BGP、OSPF、IGRP、EIGRP、IS-IS、RIP 和 PIM 等各种路由协议相关问题的方法和解决方案。本书提供了关于疑难解析技巧的完整理解和现实世界中的各种实例，从而帮助读者能够成功通过 CCIE 考试以及完成 CCIE 应该担负的任务。

## 本书面向的对象

本书是一本中级水平的书籍，书中假设读者已经对 IP 路由技术以及构建 IP 网络时使用的其他相关协议和知识有了一般的了解。

本书最适合的读者应该是负责保证网络高可用的网络管理员、网络运行工程师以及那些想成为 CCIE 的人们。

## 本书如何组织

虽然本书也可以逐页读下去，但是我们还是把它灵活地组

织了起来，从而允许读者能够很方便地在各章节之间进行跳转以得到实际工作中经常需要的内容。

- **第 1 章，“理解 IP 路由”**——本章概要介绍了 IP 路由协议，重点介绍以下内容：
  - IP 编址概念；
  - 静态路由和动态路由；
  - 动态路由；
  - 路由协议管理距离；
  - 路由器快速转发。

本书其余章节主要是在提供特定路由协议的各种关键内容的章节和描述针对该协议实际的、现实世界的疑难解析方法的章节之间反复切换。下面的列表给出了更加详细的说明：

- **第 2 章，“理解 RIP 协议”**——本章主要介绍彻底解决 RIP 问题所需的 RIP 的关键知识，主要包括以下内容：

- 度量；
- 计时器；
- 水平分割；
- 带毒性逆转的水平分割；
- RIP-1 分组格式；
- RIP 协议行为；
- 为什么 RIP 不支持非连续网络；
- 为什么 RIP 不支持变长子网掩码；
- 默认路由和 RIP；
- RIP 协议扩展；
- 兼容性问题。

- **第 3 章，“RIP 协议疑难解析”**——本章给出了解决常见的 RIP 问题的系统方法，主要包括以下内容：

- RIP 路由安装疑难解析；
- RIP 路由公布疑难解析；
- RIP 中路由汇总疑难解析；
- RIP 路由重发布疑难解析；
- RIP 中按需拨号路由问题疑难解析；
- RIP 中路由抖动问题疑难解析。

- **第 4 章，“理解 IGRP 协议”**——本章主要介绍彻底解决 IGRP 问题所需的 IGRP 的关键知识，主要包括以下内容：

- 度量；
- 计时器；
- 水平分割；

- 水平分割和毒性逆转;
- IGRP 分组格式;
- IGRP 协议行为;
- 默认路由和 IGRP;
- IGRP 中非等价负载平衡。

● **第 5 章, “IGRP 疑难解析”**——本章给出了解决常见的 IGRP 问题的系统方法, 主要包括以下内容:

- IGRP 路由安装疑难解析;
- IGRP 路由公布疑难解析;
- IGRP 路由重发布疑难解析;
- IGRP 中按需拨号路由问题疑难解析;
- IGRP 中路由抖动问题疑难解析;
- 变化量问题疑难解析。

● **第 6 章, “理解 EIGRP 协议”**——本章主要介绍彻底解决 EIGRP 问题所需的 EIGRP 的关键知识, 主要包括以下内容:

- 度量;
- EIGRP 邻居关系;
- 扩散更新算法 DUAL;
- DUAL 有限状态机;
- EIGRP 可靠传输协议;
- EIGRP 分组格式;
- EIGRP 协议行为;
- EIGRP 汇总;
- EIGRP 查询处理;
- 默认路由和 EIGRP;
- EIGRP 中非等价负载平衡。

● **第 7 章, “EIGRP 疑难解析”**——本章给出了彻底解决常见的 EIGRP 问题的系统方法, 主要包括以下内容:

- EIGRP 邻居关系疑难解析;
- EIGRP 路由公布疑难解析;
- EIGRP 路由安装疑难解析;
- EIGRP 路由抖动疑难解析;
- EIGRP 路由汇总疑难解析;
- EIGRP 路由重发布疑难解析;
- EIGRP 拨号备份疑难解析;
- EIGRP 错误消息。

● **第 8 章，“理解 OSPF 协议”**——本章主要介绍解决 OSPF 问题所需的 OSPF 的关键知识，主要包括以下内容：

- OSPF 分组细节；
- OSPF LSA 细节；
- OSPF 区域；
- OSPF 介质类型；
- OSPF 邻接体。

● **第 9 章，“OSPF 疑难解析”**——本章给出了彻底解决常见的 OSPF 问题的系统方法，主要包括以下内容：

- OSPF 邻居关系疑难解析；
- OSPF 路由公布疑难解析；
- OSPF 路由安装疑难解析；
- OSPF 中路由重发布问题疑难解析；
- OSPF 中路由汇总疑难解析；
- CPUHOG 问题疑难解析；
- OSPF 中按需拨号路由（DDR）问题疑难解析；
- SPF 计算和路由抖动疑难解析；
- 常见 OSPF 错误消息。

● **第 10 章，“理解 IS-IS 协议”**——本章主要介绍解决 IS-IS 问题所需的 IS-IS 的关键知识，主要包括以下内容：

- IS-IS 协议概述；
- IS-IS 协议概念；
- IS-IS 链路状态数据库；
- 为 IP 路由配置 IS-IS。

● **第 11 章，“IS-IS 疑难解析”**——本章给出了彻底解决常见的 IS-IS 问题的系统方法，主要包括以下内容：

- IS-IS 邻接体问题疑难解析；
- IS-IS 路由更新问题疑难解析；
- IS-IS 错误；
- CLNS ping 和 traceroute；
- 案例学习：ISDN 配置问题。

● **第 12 章，“理解 PIM 协议”**——本章主要介绍解决 PIM 问题所需的 PIM 的关键知识，主要包括以下内容：

- IGMP 版本 1、IGMP 版本 2 和 RPF 基础；
- PIM 密集模式；
- PIM 稀疏模式；

——IGMP 和 PIM 分组格式。

● **第 13 章，“PIM 协议疑难解析”**——本章给出了彻底解决常见的 PIM 问题的系统方法，主要包括以下内容：

——IGMP 加入问题；

——PIM 密集模式问题；

——PIM 稀疏模式问题。

● **第 14 章，“理解 BGP-4 协议”**——本章主要介绍解决 BGP 问题所需的 BGP 的关键知识，主要包括以下内容：

——BGP-4 协议规范和功能；

——邻居关系；

——路由公布；

——同步；

——接收路由；

——策略控制；

——可扩展 IBGP 网络（路由反射器和联邦）；

——最优路径计算。

● **第 15 章，“BGP 协议疑难解析”**——本章给出了彻底解决常见的 BGP 问题的系统方法，主要包括以下内容：

——BGP 邻居关系疑难解析；

——BGP 路由公布/产生和接收疑难解析；

——路由没有安装到路由表中疑难解析；

——使用路由反射器疑难解析；

——BGP 路由策略引起的出口流量问题疑难解析；

——小型 BGP 网络中的负载平衡问题疑难解析；

——BGP 路由策略引起的入口流量问题疑难解析；

——BGP 最优路径计算问题疑难解析；

——BGP 路由过滤疑难解析。



## 书中所用图标



## 命令语法惯例

本书中所用的命令语法惯例同 IOS 命令参考中所使用的约定相同。下面给出命令参考给出的惯例描述。

- 竖线 | 隔开多个相互独立的可选参数。
- 方括号 ([]) 表示可选参数。
- 大括号 ({} ) 表示一个必需的选择项。
- 方括号内的大括号 [{} ] 表示在一个可选参数内必需的选择项。
- 黑体表示按所显示的逐字输入的命令和关键字。在实际的配置实例和输出（不是一般的命令语法）中，黑体表示用户手工输入的命令（例如一个 **show** 命令）。

- 斜体表示由你提供实际值的参数。

本书的首要目的是为 Cisco 路由器上的 IP 路由问题疑难解析提供一个详细指南。出于这个考虑，后续章节主要介绍大家所熟知的路由协议，例如：

- OSPF 路由协议；
- IS-IS 路由协议；
- BGP 路由协议；
- PIM 多播路由协议。