

NetDevOps 入门与实践

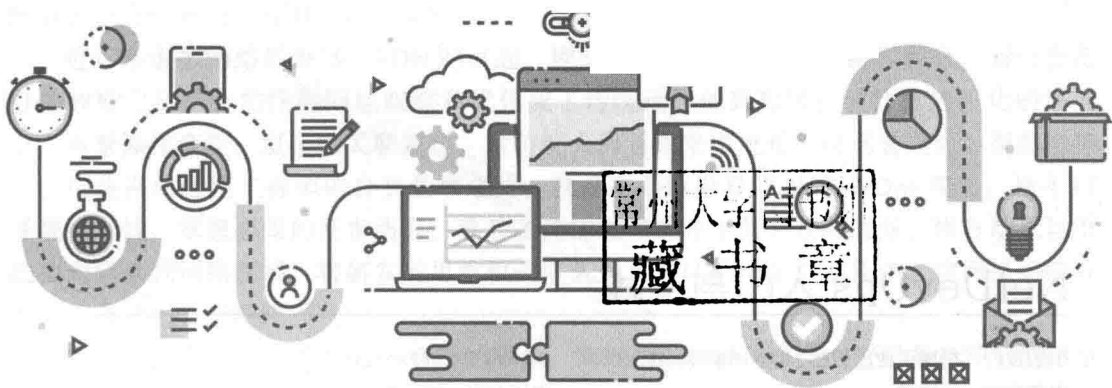
余欣 著



机械工业出版社
China Machine Press

NetDevOps 入门与实践

—— 余欣 著 ——



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

NetDevOps 入门与实践 / 余欣著. —北京: 机械工业出版社, 2018.5
(网络专业人员书库)

ISBN 978-7-111-59909-8

I. N… II. 余… III. Linux 操作系统—程序设计 IV. TP316.85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 086384 号

NetDevOps 入门与实践

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 高婧雅

责任校对: 殷虹

印刷: 三河市宏图印务有限公司

版次: 2018 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 186mm×240mm 1/16

印张: 21.5

书号: ISBN 978-7-111-59909-8

定价: 79.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379426 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

Praise 本书赞誉

(本书推荐人排名不分先后，以音序排列)

随着通信技术近年来颠覆性的发展和变化，对传统网络技术工程师们的挑战越来越大。作者以传统网工[⊖]成功转型的亲身经验撰写了本书，它直击传统网络工程师们的痛点，是难得的兼具实用价值和实践意义的“惊艳”之作，令人耳目一新！

——方芳，思科大中华区副总裁兼运营商 & 媒体广电事业技术部总经理

网络运维和系统运维本不是一个世界。技术栈、操作任务甚至运维价值观都是截然不同的，一直以来泾渭分明，各自精彩。

近年来虚拟网络的发展、SDN 的兴起，网络与 IT 系统逐渐开始跨界融合，而结合部分的故障定位、全局性的问题跟踪和优化成了传统运维的新盲区；云计算规模化的环境下，海量操作变更、复杂的关联定位，对传统人肉运维来说更是不可承受之痛。新的形势下，传统网络运维工程师的自我救赎之路，就是本书所倡导的 NetDevOps 理念：补齐 IT 系统技术栈，掌握必要的开发语言，熟悉主流的批量运维工具和基础服务，将自动化运维的理念延伸到网络领域，将研发的思维模式嵌入到传统的网络运维动作中，将网络运维标准化、自动化、智能化。

本书深入浅出展示了 NetDevOps 的理念、基础知识和最佳实践，值得有意转型的网络工程师深入研究学习。

——林恩华，中国移动苏州研发中心广州支持中心总经理助理

网络运维可视化、自动化和智能化的快速发展背后的本质诉求是能满足大型互联网公司的巨大网络规模增速和高效高质运维要求，具体又体现在人均运维效率和稳定性指标的极致追求上。每一位互联网企业的网络工程师都恰逢其时，有幸在网络运维领域引领技术发展的潮头并对各行各业中网络技术的发展产生一定的影响。网络运维 DevOps 就是网络工程师发展的方向，已在大型互联网公司深深扎根、蓬勃发展。余欣在阿里巴巴工作期间

[⊖] 业界对网络工程师的简称，下文也会出现。

经历了网络工程师队伍转型的剧痛，并表现出了优秀的 DevOps 思路和能力。这本书作为网络 DevOps 入门指南写得深入浅出，非常符合网络 DevOps 的实际工作，各种细化的小场景、小步骤非常接地气，同时又富含 DevOps 的深层思想，我相信对传统网络工程师或初入行的网络工程师来说深具价值，推荐给大家研读学习。

——刘洋，阿里巴巴网络系统事业部总经理

伴随互联网业务的高速发展，网络规模持续快速增长，数量庞大的网络设备产生海量的运营数据，传统的人机交互的运维方式面临巨大的挑战。NetDevOps 利用 DevOps 的理念，推进网络运维的自动化与智能化，给网络运维带来了转机。本书介绍了 NetDevOps 产生的背景、发展历程，同时系统阐述了 NetDevOps 的框架体系、工具以及基本的软件编程知识，是国内难得的一本专业而又全面讲解 NetDevOps 技术的学习资料和参考手册，相信希望了解 NetDevOps 的网络同行们，能从本书中找到你们想要的内容。

——邵华，腾讯网络平台部网络架构中心总监

在软件工程领域中，DevOps 已经由一种文化演变成广泛落地的业务思维，将组织内的各个角色更紧密地联系在一起以提高生产力。但是在网络工程领域，受限于网络工程师技术栈及运维管理定势，如何理解 NetDevOps 思想进而在实际工作中更好地解决运维管理问题和新技术部署带来的挑战，仍存在不小的困难。

很高兴看到余欣用简明的语言和具体的场景将 NetDevOps 的方法论和实践进行了系统全面的呈现，是网络工程师、网络平台开发工程师不可错过的参考读物。

——宋磊，百度网络运维部技术经理

本书作者是网络行业的资深老兵，在 Cisco、Juniper 这样的网络设备制造商工作多年，也曾曾在阿里巴巴、京东金融的网络部门从事实际运维工作，拥有丰富的经验，亲身经历了 IP 网络的爆发式增长时代。面对最新的网络自动化运维的趋势，大量的传统运维工作必须转向软件自动化的方式，新的 SDN、NFV 等理念，也要求网络工程师具备软件编程能力。很多老网工在新的挑战面前，会有些眼花缭乱，不知从何入手。本书分享了作者自身的转型经验及丰富的实际案例，指出了一条切实可行的转型道路，对广大网工有非常好的参考价值，尤其是没有软件编程基础的网工。本书由浅入深地介绍了基本的概念和常用的工具，可以让大家少走弯路，节省很多自己去摸索试错的时间和精力。

——王卫，原瞻博网络大中国区总裁

由浅入深，有料清晰！作者结合自身在多家国际网络设备制造商和互联网公司的丰富经验，为读者指明了一条从传统向 NetDevOps 发展的转型之路。纯干货！值得一读！

——徐志骏，思科大中国华东区运营商事业部技术总监

本人与作者在 Brocade 共事期间，我们就意识到让老网工们快速转型 SDN 工程师是

不现实的，因为机器对机器的软件接口（API）不是网工们熟知的。找到一条有实战价值，门槛相对合理，容易启动的“工农结合”的路径就显得格外有吸引力。当前，作为一名新一代云网融合服务商的 CTO，团队建设的一个重要挑战和机会就是赋能老网工们，把建设运维实战经验与智慧总结形成清晰套路（算法），与专业码农们紧密配合，迅速实现运维排障经验软件化、自动化。与此同时，给网工们提供现实的发展演进路径，在实战项目中以商业价值目标为导向培养编程思维，接触机器接口，在一个个自动化的小任务中一步步实现自己的想法，获得真实成就感，成为新一代高度软件化的网络工程师、架构师和产品经理。针对这一目标，本书对 NetDevOps 相关的各个基础技术领域的功能、结构和过程维度的阐述简单直观而又高度实战。实验代码完整，注解清晰，实操容易上手，结果立竿见影。对数字化转型大潮中的网工们和相关技术团队的管理者们来说，本书不可不察。

——张宇峰，互联港湾 CTO

前言 Preface

为什么要写这本书

清晨，我们做的第一件事是什么？睁开眼。睁开眼看手机里的朋友圈是否有更新，昨晚下的单是否已经安排送货，今天的天气是否依旧晴朗。而这些信息的更新都是通过互联网传递到你的手机上。在很多人眼里，手机有电而没有网络是一件非常痛苦的事情。互联网在中国的发展也就是 20 来年的事，但它已经渗透到了我们工作、学习和生活的方方面面。网络是新时代的基础设施，无论上面有多么丰富多彩的应用软件，它们都离不开网络。这些年，应用程序的迭代速度非常快。而网络在这几十年中却没有发生多大的变化（虽然网络带宽一直在指数级增长）。特别是网络工程师们日常的工作似乎还是和 10 年前甚至 20 年前一样。虽然，这几年 SDN（Software Defined Networks）在快速发展，但是物理网络仍然没有发生多大的变化。大量的网络工程师还是通过 Telnet 或 SSH 登录到网络设备上，然后一条一条地敲击各种各样的命令。应用程序越来越多，应用程序生命周期越来越短。这对网络提出了很多的挑战，网络工程师的工作压力也是直线上升。这几年随着上层应用 DevOps 思想的发展，网络自动化的需求也在不断提升。那些安分守己的传统网络工程师面临着转型的痛苦。

我是一个和网络打交道 20 来年的传统网络工程师，但我一直是一个不安分守己且会偷懒的人。早在我大学期间，为了和同寝室的同学一起玩一款叫“红色警戒”的游戏而接触了网络。从两台电脑之间使用串口互联进行对战，到使用同轴电缆后 8 个同学可以在一个地图中互相厮杀，再到 1999 年通过双绞线接入互联网。那个时候，几个寝室的双绞线都汇聚到了我们寝室，我不知不觉也成了 96 级化学系的网络管理员。日常的“工作”就是帮同学看看网络怎么不通了；谁的 IP 地址又和谁冲突了；如何从其他同学的电脑里复制一些电脑游戏等。活脱脱就是一个小型网吧的工作人员。随着 1999 年学校寝室接入了互联网，出于对“工作”的热情，我开始用 Linux 自己搭建一些服务，比如 DHCP、DNS、FTP、BBS 等。慢慢又干起了系统管理员的“工作”。

在千禧年（2000 年）的毕业季，我的第一份工作是在一家大型的纺织公司做系统管理

员和 DBA。这份工作和化学没有任何的关系。而日常的工作就是帮助新员工开账号，每天备份那些数据库的数据到磁带中。为了减少自己日常的工作就开始写一些自动化的脚本。其实，当时就是为了每天能偷点懒。开一个账号，懒得去点那么多次的鼠标。每天的备份任务，懒得去一个个地核对和比较，而是让脚本自己去核对，自己去比较，然后把检查后的结果发送 E-mail 给我。

2003 年考完 CCIE 后到一家为中国电信服务的系统集成公司。在这家公司有幸参与了中国电信 CN2 (ChinaNet2) 的建设工作。在网络建设的初期有大量的设备配置需要增加和修改。纯手工的操作让我觉得痛苦不堪，此时又萌生了“偷懒”的思想。我开始用 Python、Perl 等语言写了一些脚本用于设备配置的生成和修改。当时设备并没有丰富的 API 接口，大部分都是用 Telnet 模拟登录来操作设备。

2007 年我进入了 Juniper 工作，在这里接触了更多的网络自动化的内容，也写了很多自动化脚本来操作网络设备。比如，2008 年考完 JNCIE 后，有幸做了一年多的中国区 JNCIE 考官。JNCIE 的考官除了要发卷子外，还需要负责给考生判卷。也是为了“偷点懒”写了一些自己用的脚本提高判卷的效率。2009 年开始学习 JUNOScript (一种可以运行在 JUNOS 上的脚本语言)，用 JUNOScript 来实现一些特殊的功能或者对命令进行重新格式化的输出。2010 年后由于需要经常参加设备的测试，开始使用 Python 等语言对 JUNOS 设备基于 NETCONF 协议进行操作。

2014 年到 2016 年，我先后在两家互联网公司做网络工程师，负责网络的规划与运维工作。由于互联网公司自身的产品迭代速度很快，对网络的适配性也提出了更多的需求。虽然在互联网公司有很多的程序员，但大部分的程序员对网络和网络设备的理解远逊于网络工程师。这就导致了网络自动化的开发工作比较难推进。因此，我结合自己的编程能力和对网络的理解开始用代码去实现网络自动化的任务。

从 2016 年到 现在，我一直在 Cisco 工作。在这里我接触到了 DevNet (<https://developer.cisco.com>)。在 DevNet 的网站上我看到和学习了很多关于基础网络设备的编程知识。在 2016 年，Cisco 发布了思科全数字化网络架构 (思科 DNA)，这个平台不仅提供了实现全数字化的路线图，而且为网络工程师提供了网络自动化和网络安全的途径。这个平台的很多理念和架构为我写这本书提供了很多的帮助。

在这 20 来年的时间里，我积累了一些使用程序来操作网络设备的经验。一方面是想把这些经验分享给大家；另一方面也是想帮助那些想转型的传统网络工程师。这就是我写这本书的初衷。另外，我还想告诉广大的网络工程师们开发一个小工具用来管理设备其实并没有那么难。对于我这样一个非软件专业的人而言并没有觉得吃力，反而在开发中获得了更多的自信，也偷了“懒”。

最后，希望这本书能给广大的网络工程师在转型过程中带来一些帮助，也希望大家能少走弯路。

本书特色

首先，本书是专门针对网络工程师而写的。书中关于 Bash 和 Python 的基本语法部分使用了网络工程师更加熟悉的内容，并且提供了一些网络设备上的运行情况。

其次，本书的重点是如何编写和网络设备相关的代码。因此，在书中提供了很多关于如何处理网络设备输出的文本的例子，以及处理网络相关的数据。

最后，本书并不是一本纯粹讲解编程的书，而是一本从理论到实践的综合书籍。

读者对象

- 网络架构师
- 网络运维工程师
- 网络运维开发人员
- 网络与系统管理人员
- 网络规划与设计人员
- 网络专业在校学生

如何阅读本书

本书分为五篇，共计 14 章内容。

第一篇为概念篇，这一篇主要讲述什么是 NetDevOps，以及如何开始 NetDevOps 实践之路，包括如下 2 章内容。

第 1 章 从 SDN 开始谈起，讲解在 SDN 的大背景下，传统的网络都发生了什么变化，而这些变化给传统网络工程师带来了哪些影响。最后介绍了什么是 NetDevOps，NetDevOps 需要我们学习什么样的技能才能胜任。

第 2 章 在业务快速迭代的推动下，传统 IP 网络的自动化需求在不断增强。大量的网络工程师面临着新的挑战。这章介绍如何从零开始逐步过渡到 NetDevOps。这章将重点讲解 4 个话题：首先，在 NetDevOps 开始之前需要做什么；其次，在进行 NetDevOps 开发时，如何选择开发语言；再次，一些常见的 NetDevOps 开源工具或平台如何选择；最后，在进行 NetDevOps 时，对网络设备有哪些要求。

第二篇为基础篇，这一篇主要介绍了如何构建 NetDevOps 的工作环境以及在这些环境中的常用工具，包括如下 4 章内容。

第 3 章 介绍在 Linux 环境下，如何使用 Linux 下的工具登录网络设备，以及使用 SSH 工具建立一些 SSH 的隧道。

第 4 章 介绍在 Linux 环境下，如何使用一些工具获取网络设备的信息，以及获取网

络的可达信息，涵盖 SNMP、traceroute、ping 等工具。

第 5 章 使用 Linux 中三大文本处理利器（grep、awk 和 sed）来处理网络设备输出的文本内容。这些文本内容包括命令行的输出、设备的配置以及设备的日志信息等。这些工具可以帮助网络工程师快速地获取相关的数据和信息。

第 6 章 在 NetDevOps 的实践过程中，我们需要搭建一些基础的服务。这些服务包括 TFTP、DNS 和 DHCP 等。在微模块流行的时代，网络工程师使用 Docker 可以快速地构建起这些基础服务。

第三篇为提高篇，这一篇将开始介绍编程相关的内容。这一篇都是编程的一些基础知识，包括如下 3 章内容。

第 7 章 这一章主要介绍 Linux 环境或网络设备上的 Bash 编程基础知识。通过 Bash 基本语法并结合一些工具，我们可以和设备进行简单的交互或处理一些数据。

第 8 章 这一章主要介绍 Python 的编程知识。本书的大部分编程内容都是基于 Python 语言的。因此，这一章是后续章节的基础。这一章关于 Python 的基本语法是专门为网络工程师重新编写的。使用的例子将是网络工程师比较熟悉的内容。

第 9 章 我们在和网络设备进行交互或者进行网络相关的编程时，经常需要处理一些常用的数据类型，这些数据类型包括 JSON、XML、YAML 和 YANG。熟练掌握这些数据类型的处理是编程的基础。在这章，我们将介绍上述这四种数据类型的常用处理方法。

第四篇为实践篇，这一篇将通过一些实际的例子来介绍，包括如下 3 章内容。

第 10 章 NetDevOps 必然需要和网络设备进行交互，从而获得我们需要的数据。本章将介绍三种常见的连接网络设备的方法，它们分别是：命令行登录、NETCONF 以及 REST。

第 11 章 连接到网络设备后就可以获取很多的信息，其中通过命令行获取的数据大部分是半结构化的数据。这些半结构化的数据需要进行结构化处理。这一章将通过几个 Python 的模块来处理这些数据。

第 12 章 我们在处理网络相关数据时，有两种常见且特殊的数据需要处理，它们分别是网络地址和网络拓扑数据。同样，我们将通过几个 Python 的模块来处理这些数据。

第五部分为案例篇，这一篇将介绍 3 个常见的案例来帮助大家更好地了解和掌握 NetDevOps 的相关内容，包括如下两章内容。

第 13 章 众所周知，绝大多数的网络设备都会有配置文件，获取和管理这些配置文件是 NetDevOps 工作的基础。通过程序化的方式自动地获取这些配置就打通了程序和网络设备之间的通道，这是后续获取更多信息的基础。另外，网络设备的配置文件也是最需要且被优先管理的内容，这些内容的版本管理也是非常重要的。本章将通过网络设备的配置管理案例来描述如何多厂家、并发地与网络设备进行数据交互。

第 14 章 网络运维与管理的独特之处是，该工作是基于网络拓扑的。获取和处理网络拓扑是基本功能。该章通过两个小的案例来介绍，它们分别是：基于 ISIS 协议来获取网

络拓扑并进行简单的网络拓扑分析；使用 BGP 协议进行简单的网络流量调度。

其中，本书的第 2 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 11 章是重点。如果你有一定的 Python 编程基础，那么可以参考第 9 章及之后的章节，这些章节提供了 Python 用于网络管理与维护常用的一些模块，这些模块可以提高你的工作效率。如果你是一位传统的网络工程师且对编程和 Linux 环境不是十分了解，请从本书的开头读起。笔者希望通过本书的内容能循序渐进地带领大家走上 NetDevOps 之路。

勘误和支持

由于笔者的水平有限，编写时间仓促，书中难免会出现一些错误或者不准确的地方，恳请读者批评指正。如果读者朋友有更多的宝贵意见，欢迎你发送邮件到 netdevops@hotmail.com 联系我。本书的大部分代码示例都放在 GitHub 上，其地址为 https://github.com/netdevops-engineer/newbie_book。期待能够得到大家的真挚反馈，在技术之路上互勉共进。

特别致谢

这里要特别感谢毛厚君先生，他是这本书的第一位读者，不但给了我很多的宝贵建议，而且帮我润色了全书的文字。如果没有他的帮助我想是很难完成这本书的。

致谢

在本书的写作过程中得到了很多同事和朋友的支持与帮助。没有你们的支持与帮助，本书将难以如期完成。

在本书的写作过程中需要实验环境，感谢徐晓东先生为我提供了便利。

感谢思科同事们的支持和鼓励，他们是方芳女士、徐志骏先生、杨骏先生、刘佳女士等。

感谢身在美国的朋友杨文嘉先生提供了关于 Arista 产品和技术的相关信息。

最后，我要特别感谢我的家人，我为写作这本书，牺牲了很多陪伴他们的时间，但也正因为有了他们的付出与支持，我才能坚持写下去。

谨以此书献给我最亲爱的人，以及众多的网络工程师朋友们！

余 欣

目 录 Contents

本书赞誉

前言

第一篇 概念篇

第 1 章 NetDevOps 理念与要义..... 2

1.1 从 SDN 开始说起..... 2

1.1.1 OpenFlow 打开了新的一扇窗..... 3

1.1.2 简单聊聊 SDN 控制器..... 4

1.1.3 NFV..... 5

1.1.4 云和 SDN..... 6

1.1.5 SD-WAN..... 8

1.2 NetDevOps, 你需要知道的事..... 8

1.2.1 什么是 NetDevOps..... 8

1.2.2 NetDevOps 适用环境..... 9

1.2.3 为什么我们需要 NetDevOps..... 10

1.2.4 NetDevOps 需要什么样的人..... 10

1.3 小结..... 11

第 2 章 如何开始 NetDevOps..... 12

2.1 文档内容与版本管理..... 12

2.1.1 版本管理的重要性..... 13

2.1.2 需要管理哪些文档..... 13

2.1.3 如何实施版本管理..... 14

2.1.4 版本管理的工具..... 16

2.2 编程语言的选择..... 17

2.2.1 程序语言的选择..... 17

2.2.2 数据描述语言的选择..... 18

2.3 自动化工具的选择..... 22

2.3.1 Ansible..... 22

2.3.2 Puppet..... 23

2.3.3 Chef..... 23

2.3.4 SaltStack..... 24

2.3.5 如何选择..... 24

2.4 网络设备的编程接口..... 25

2.4.1 网络设备接口的分类..... 25

2.4.2 网络设备编程接口的特征..... 27

2.5 小结..... 29

第二篇 基础篇

第 3 章 认识命令行工具..... 32

3.1 用 screen 实现终端的会话管理..... 33

3.1.1 安装 screen..... 34

3.1.2 screen 基本语法..... 34

3.1.3 screen 基本操作..... 35

3.1.4 定制你的 screen	36	第 5 章 处理网络设备输出的文本	70
3.1.5 用 screen 连接串口	36	5.1 正则表达式基础	70
3.1.6 管理 screen 的日志	38	5.1.1 正则表达式到底是什么	71
3.1.7 多人共享一个会话	38	5.1.2 单字符的匹配	71
3.2 用 Telnet 和 SSH 管理设备	39	5.1.3 多字符的匹配与次数匹配	75
3.2.1 Telnet	39	5.1.4 在网络设备上的正则表达式	77
3.2.2 SSH 介绍	40	5.2 使用 grep 进行搜索与获取信息	78
3.2.3 SSH 的基本使用	40	5.2.1 什么是 grep	78
3.2.4 利用 SSH 远程执行命令	42	5.2.2 命令选项的解释	78
3.2.5 SSH 客户端常用配置	44	5.2.3 匹配控制	80
3.2.6 使用密钥登录设备	45	5.2.4 输出结果控制	81
3.2.7 使用 scp 进行文件传输	47	5.2.5 输入控制	83
3.2.8 利用 SSH 端口隧道转发功能	48	5.3 使用 awk 进行文本处理	84
3.2.9 利用 SSH 做 Socket 代理	50	5.3.1 认识一下 awk	84
3.3 小结	50	5.3.2 awk 的执行方式与语法	84
第 4 章 Linux 下的一些常用工具	52	5.3.3 截取部分信息	85
4.1 SNMP	53	5.3.4 使用内置变量	86
4.1.1 SNMP 简介	53	5.3.5 对特定内容进行统计分析	86
4.1.2 常见设备的 SNMP 配置	54	5.3.6 多文件操作	88
4.1.3 SNMP 工具	56	5.4 使用 sed 进行文本编辑	89
4.2 网络可达性检测工具	58	5.4.1 什么是 sed	89
4.2.1 Nmap	59	5.4.2 sed 语法简介	89
4.2.2 Nping	62	5.4.3 删除文件中的指定信息	90
4.2.3 iPerf	63	5.4.4 在文件中进行查找替换	91
4.2.4 Fping	64	5.4.5 在文件中插入内容	92
4.3 MTR	65	5.5 文本编辑工具 vi 和 vim	92
4.4 其他工具	66	5.5.1 vi 和 vim 简介	92
4.4.1 watch	66	5.5.2 vim 编辑器的模式	93
4.4.2 Wget	68	5.6 小结	97
4.4.3 CURL	68	第 6 章 常用基础服务搭建	99
4.5 小结	69	6.1 Docker 基础	100

6.1.1	什么是 Docker	100
6.1.2	Docker 的基本概念	101
6.1.3	Docker 的运行环境	104
6.1.4	启动 Docker 镜像	105
6.1.5	构建 Docker 镜像	106
6.2	TFTP 服务器	110
6.2.1	定制一个 TFTP 服务镜像	111
6.2.2	启动一个 TFTP 服务器的容器	112
6.2.3	服务的检查	112
6.3	DNS 服务器	113
6.3.1	构建 DNS 镜像	113
6.3.2	启动和配置 DNS	114
6.3.3	用 DNS 记录设备的接口与 IP 的对应关系	115
6.4	搭建 DHCP 服务器	118
6.4.1	构建 DHCP 镜像	119
6.4.2	启动和配置 DHCP 服务	120
6.5	小结	121

第三篇 提高篇

第 7 章	Linux 编程基础	124
7.1	Bash 编程基础	124
7.2	第一个 Bash 程序	125
7.3	变量	126
7.4	数组	128
7.4.1	定义数组	128
7.4.2	数组取值	129
7.4.3	获取数组的长度	129
7.4.4	截取数组的内容	130
7.4.5	替换元素中的内容	130
7.4.6	删除数组中的元素或者数组	130

7.5	运算符	131
7.5.1	算术运算符	131
7.5.2	位运算符	132
7.5.3	自增 / 自减运算	136
7.6	测试	136
7.6.1	测试语法的结构	136
7.6.2	文件测试	136
7.6.3	整数测试	138
7.6.4	字符串测试	138
7.6.5	逻辑关系	139
7.7	判断结构	140
7.7.1	if 结构	140
7.7.2	case 结构	141
7.8	循环结构	141
7.8.1	for 结构	141
7.8.2	while 结构	143
7.8.3	until 结构	144
7.8.4	select 结构	144
7.9	函数	145

7.10	用 expect 实现与设备的交互式操作	147
7.10.1	expect 简介	147
7.10.2	用 expect 实现与设备的交互	148
7.10.3	用 expect 实现批量备份设备配置	150
7.11	网络设备上的 Bash	152
7.12	小结	154

第 8 章 Python 编程基础	155
8.1 Python 简介	155
8.1.1 Python 的版本差异	155
8.1.2 主机与网络设备上的 Python	156

8.1.3 构建 Python 运行环境	158	9.2 XML	198
8.1.4 缩进在 Python 中的重要性	161	9.2.1 XML 简介	198
8.2 基本数据类型	161	9.2.2 XML Schema	200
8.2.1 数字	162	9.2.3 NETCONF	201
8.2.2 列表	163	9.2.4 用 Python 处理 XML	202
8.2.3 元组	166	9.3 YAML	204
8.2.4 字符串	167	9.3.1 YAML 简介	205
8.2.5 字典	170	9.3.2 YAML 语法	206
8.2.6 集合	173	9.3.3 用 Python 处理 YAML	207
8.3 基本结构	175	9.4 YANG	208
8.3.1 选择结构	175	9.4.1 YANG 简介	208
8.3.2 循环结构	177	9.4.2 YANG 语法	211
8.4 函数	181	9.4.3 OpenConfig	214
8.4.1 函数的定义	181	9.4.4 Pyang 工具	214
8.4.2 函数的参数	183	9.5 小结	216
8.5 对象	186		
8.5.1 什么是对象	186		
8.5.2 对象的属性和方法	186		
8.5.3 创建对象	187		
8.5.4 对象的继承	188		
8.6 模块	190		
8.6.1 什么是模块	190		
8.6.2 如何使用模块	190		
8.7 小结	191		
第 9 章 常用数据类型与数据结构			
定义	192		
9.1 JSON	192		
9.1.1 JSON 简介	193		
9.1.2 网络设备上的 JSON	194		
9.1.3 JSON-RPC	196		
9.1.4 用 Python 处理 JSON	196		
		第四篇 实践篇	
		第 10 章 网络设备的连接与登录	218
		10.1 命令行方式登录	218
		10.1.1 telnetlib	219
		10.1.2 paramiko	221
		10.1.3 netmiko	224
		10.1.4 pexpect	227
		10.2 通过 NETCONF 连接到网络	
		设备	231
		10.2.1 安装 ncclient	231
		10.2.2 获取配置信息	231
		10.2.3 获取接口信息	233
		10.3 REST	235
		10.3.1 测试 REST 接口	236
		10.3.2 安装 requests 模块	237

10.3.3 使用 HTTP get 方法	237
10.3.4 使用 HTTP post 方法	238
10.4 小结	239
第 11 章 命令行文本处理	240
11.1 命令行文本输出	240
11.1.1 关于 TextFSM	241
11.1.2 安装 TextFSM	241
11.1.3 TextFSM 模板	242
11.1.4 如何编写 TextFSM 模板	243
11.1.5 在 Python 代码中使用 TextFSM	248
11.2 Cisco 配置类型	249
11.2.1 ciscoconfparse 模块	249
11.2.2 安装模块	250
11.2.3 获取配置内容	251
11.2.4 修改设备配置	252
11.2.5 配置审计	253
11.3 JUNOS 配置类型	254
11.3.1 层次化配置	255
11.3.2 set 命令行配置	256
11.4 小结	259

第 12 章 网络特有数据类型处理 260

12.1 Jupyter	260
12.1.1 安装 Jupyter	260
12.1.2 启动 Jupyter	261
12.1.3 使用 Jupyter	263
12.2 使用 netaddr 处理网络地址	264
12.2.1 安装 netaddr 模块	264
12.2.2 IP 地址的基本属性	264
12.2.3 处理 IP 地址的基本方法	265
12.2.4 IP 地址的加减法	266

12.2.5 地址的聚合	267
12.2.6 IPv6 地址	268
12.2.7 使用 netaddr 处理 MAC 地址	268
12.3 使用 ipaddr 处理网络地址	269
12.4 网络拓扑的处理	271
12.4.1 描述一个网络拓扑	271
12.4.2 最短路径的计算	273
12.4.3 可用路径的计算	276
12.5 小结	278

第五篇 案例篇

第 13 章 网络设备的配置管理 280

13.1 环境的准备	280
13.1.1 测试拓扑说明	280
13.1.2 Linux 服务器的准备	281
13.2 网络设备的配置获取	282
13.2.1 登录网络设备	282
13.2.2 处理多厂家问题	287
13.2.3 处理并行问题	290
13.3 网络设备的配置版本管理	295
13.3.1 用 git 创建一个本地设备配置 管理仓库	296
13.3.2 保存设备配置文件到本地 仓库	296
13.3.3 使用 git 检查版本信息	297
13.4 小结	299

第 14 章 网络拓扑的处理与应用 300

14.1 环境的准备	300
------------	-----

14.1.1 测试拓扑说明	300	14.3.1 基本信息	315
14.1.2 Linux 服务器的准备	300	14.3.2 路径计算	316
14.2 网络拓扑的获取与分析	304	14.3.3 BGP 服务	318
14.2.1 物理拓扑的获取	304	14.3.4 调用 BGP HTTP API	324
14.2.2 ISIS 协议拓扑的获取	311	14.3.5 结果测试	324
14.2.3 网络拓扑的路径分析	313	14.4 小结	325
14.3 网络流量工程应用	314		