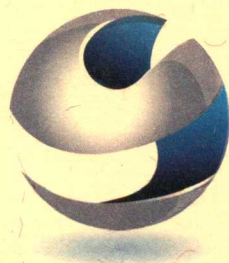


软件定义 移动网络 超越传统架构

Software Defined Mobile Networks(SDMN)
Beyond LTE Network Architecture

深入软件定义移动网络（SDMN），改变未来网络架构
掌握SDN、NFV前沿进展，探索5G未来发展
国际权威通信专家、资深工程师倾力创作



马杜桑卡·利亚纳吉（Madhusanka Liyanage）

[芬]

安德烈·格托夫（Andrei Gurtov） 主编

米卡·伊兰提拉（Mika Ylianttila）

肖善鹏 郭霏 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

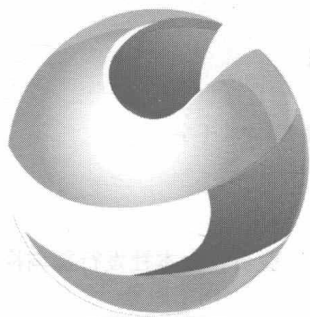


软件定义 移动网络

超越传统架构

Software Defined Mobile Networks (SDMN)
Beyond LTE Network Architecture

[芬] 马杜桑卡·利亚纳吉 (Madhusanka Liyanage)
安德烈·格托夫 (Andrei Gurtov) 主编
米卡·伊兰提拉 (Mika Ylianttila)
肖善鹏 郭霏 张悦 张蕾 张魏魏 译



软件定义网络 (SDN) 是一种面向未来的技术, 可以为移动网络提供所需的灵活性、可扩展性和性能改进。而软件定义移动网络 (SDMN) 将在超越传统架构移动网络中发挥关键作用。本书提供了对 SDMN 的可行性的深入讲解, 并评估了应用于移动宽带网络的新技术的性能和可扩展性限制, 以及 SDMN 将如何改变当前移动通信网络的网络架构。

本书由许多学术界权威研究人员和产业界一线资深工程师共同创作, 提供了超越目前移动通信网络架构和可行性实施方面的理论原则。

本书以易于理解的简单风格编写, 向通信研究人员、一线工程师、相关专业师生传授最新的电信知识, 为其解读 SDMN 的前沿理论, 以助其应对未来创新竞争。

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Ltd

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Software Defined Mobile Networks (SDMN): Beyond LTE Network Architecture, ISBN: 978-1-118-90028-4, by Madhusanka Liyanage, Andrei Gurtov, Mika Ylianttila, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由 Wiley 授权机械工业出版社独家出版, 未经出版者书面允许, 本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有, 翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2015-6384 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

软件定义移动网络: 超越传统架构/ (芬) 马杜桑卡·利亚纳吉 (Madhusanka Liyanage) 等主编; 肖善鹏等译. —北京: 机械工业出版社, 2019. 1
(5G 丛书)

书名原文: Software Defined Mobile Networks (SDMN): Beyond LTE Network Architecture
ISBN 978-7-111-61548-4

I. ①软… II. ①马… ②肖… III. ①移动网络 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 279360 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 林 桢 责任编辑: 林 桢

责任校对: 刘雅娜 封面设计: 鞠 杨

责任印制: 张 博

北京铭成印刷有限公司印刷

2019 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 240mm · 20 印张 · 1 插页 · 496 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-61548-4

定价: 89.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

原书推荐序一

在设计之初，互联网便是一个去中心化的分组交换网络，它支持多重冗余和容错，拥有很多的外围计算组件。时至今日，互联网已经占据了社会信息和通信技术（ICT）的大部分应用，从电视、音乐到视频流，再延伸到网络接入和交互式通信（语音和视频电话），甚至支持不同环境中的机器设备互连，并进一步连接到网络。与此同时，在摩尔定律的驱动下，价格下降、功耗降低、设备尺寸变小等因素导致计算、存储和联网变得更加便宜，以至于几乎所有的产品都可以融入智能化。企业 IT 系统也正在迅速向云计算转变，从而使计算、联网和存储服务的部署效率大幅提升。互联网和廉价计算正在创造一个网络化的社会，在这个社会中，任何能够从互连中受益的东西都将被连接起来，这将对社会生活产生更广泛的影响。

支撑网络社会的技术核心是移动网络，它一方面为人与人之间的通信提供连接，另一方面为物联网设备提供连接。而今天，移动网络面临的挑战与日俱增，不同业务的传输特性有很大差异，例如，传感器读数往往是周期性的小包数据，而高清视频流的数据量就很大，同时车载通信和工业互联网应用等新业务则对安全性、时延和可靠性提出了严格的要求。这样，移动运营商必须构建和提供能够满足海量数据需求的网络，并简化根据客户需求定义和部署新业务的方式。随之而来的是，面对这些挑战，供应商必须为运营商提供低成本、高效率的解决方案。

令人感到庆幸的是，新技术正在帮助 ICT 行业应对挑战。最初，业界为企业网络开发了云计算和软件定义网络（SDN），目前欧洲电信标准化协会（ETSI）网络功能虚拟化（NFV）项目正在努力将这些新技术带给运营商网络，包括移动网络。本书对软件定义移动网络（SDMN）中的重要问题进行了探讨，代表了近年来学术界和产业界研究的最新成果。正如本书所述，SDMN 的研究将在定义 NFV 和 5G 移动网络方面发挥关键作用。

Ulf Ewaldsson

爱立信高级副总裁，CTO

原书推荐序二

受用户需求和新技术的驱动，移动网络正进入一个激动人心的发展时期。新的核心技术包括网络功能虚拟化（NFV）和软件定义网络（SDN），这两个概念经常被人们同时谈起，甚至混为一谈。简而言之，NFV 将网络功能与底层硬件和软件平台分开，而 SDN 将网络控制与用户数据路由分开。这些技术在容量伸缩、降低成本以及引入新业务的灵活性和速度方面具有很大优势。NFV 的概念已经得到广泛的认同，例如，经过 ETSI 的标准化工作，基于 NFV 的产品正在进入商用领域。然而对于如何在移动网络中使用 SDN，业界还缺乏广泛的共识，所以本书及时弥补了这一空白。为了在移动网络中充分发挥 NFV 和 SDN 的作用，我们需要重新审视现有的网络架构。

本书既有深度又有广度，介绍了 SDN 和 NFV 领域的最新技术，探索了利用 SDN 和 NFV 发展移动网络的潜在途径，还讨论了系统级和产品级体系架构以及网络管理、服务质量和安全性等关键问题。本书揭示了移动网络演进和未来 5G 架构定义的核心技术，虽然没有给出最终答案，但展示了有关移动网络 SDN 和 NFV 最前沿的研究成果。

Lauri Oksanen

诺基亚研究和技術副總裁

原 书 前 言

本书主要介绍软件定义移动网络 (SDMN) 架构的最前沿技术。业界对利用 SDMN 解决当前移动网络存在的局限性寄予厚望, 该架构在灵活性、伸缩性以及性能方面做了必要的改进, 使得移动网络能满足未来移动流量的增长预期。

本书探讨了 SDMN 概念的可行性及由此带来的机会, 对 SDMN 架构在性能和伸缩性方面存在的不足进行了评估。本书对后 LTE 移动网络架构及其实现方面也进行了理论探讨。

SDMN 架构以软件定义网络 (SDN) 和网络功能虚拟化 (NFV) 理论为基础。本书致力于评估、定义并验证与未来 SDMN 有关的 SDN 和 NFV。可以预见, SDMN 将改变当前移动网络的架构, 为业务、资源和移动性管理带来新的机遇, 同时也将给网络安全带来新的挑战, 并且将影响网络成本、价值链、业务模式以及对移动网络的投资。本书组织严密、可读性强, 是学习 SDMN 各方面知识的优秀参考书。本书既包含一般性的介绍, 也为有一定知识背景和水平的读者提供了更深层次的参考。

SDMN 的需求

20 世纪 80 年代诞生了全球第一个移动通信网络。在过去几十年中, 移动通信技术取得了长足的进步, 移动业务不断发展、上网速度迅速提升、内在的移动性支持吸引了大量用户。因此, 移动通信正成为许多人主要甚至唯一的网络接入方式。当前的移动网络上运行着复杂的网络业务, 如 IP 语音 (VoIP)、高清视频流、高速宽带连接和移动云服务等, 因此每年的移动业务流量急剧增加。预计未来数年, 移动数据流量将比有线互联网增长得更快。因此, 必须升级移动网络才能满足流量的增长需求, 并支持迅速发展的移动服务市场。然而, 由于无线带宽资源非常有限, 回传网络设备既复杂又不灵活, 提高移动网络容量的努力总是充满挑战。

另外, 电信业目前的经营环境正在发生着日新月异的变化。电信市场的竞争本来就很激烈, 今天的移动运营商又迎来了新的竞争对手, 包括通过互联网向用户提供各种应用服务 (OTT) 的市场参与者、云运营商和成熟的互联网服务提供商 (ISP) 巨头。因此, 运营商需要通过压缩硬件成本以最大限度地减少网络的资本开支 (CapEx), 并最大限度地提高硬件资产的利用率以降低运营开支 (OpEx)。为了迎接这些挑战, 移动网络不仅要通过体系架构和流程的优化提升现有资源的利用率, 而且还要引入新的组件或技术来提升网络容量。

正是基于此, SDN 和 NFV 被认为是非常有前景的技术。以 SDN 和 NFV 为基础的 SDMN 架构, 有望解决目前移动网络面临的问题。SDN 在灵活性、伸缩性和性能方面进行了必要的改进, 使移动网络满足流量增长预期。NFV 提供了设计、部署和管理网络业务的新方法, 可以通过软件来实现网络功能, 从而允许网络功能与专用硬件设备解耦。

引入 SDN 的概念有望解决当前移动网络面临的许多问题。在 SDN 使能的电信网络中, 每个运营商都可以灵活地开发新的网络概念、优化它们的网络, 并满足特定用户的需求。此外, SDMN 网络交换机是软件可编程的, 可以通过先进的敏捷编程方法来开发, 该软件开发方法可以

更快地完成开发迭代，与现有的移动回传网络设备开发方法相比更有优势。

SDN 和 NFV 的发展

在过去的几十年中，为解决电信网络的灵活性、伸缩性以及性能方面的问题，业界发起了多个倡议，如“电信信息网络体系架构（TINA）论坛”、智能网和主动网络等。由于实施阶段的失败和缺乏产业巨头的支持，这些架构最终都没有实现。然而，SDN 和 NFV 已经达到了商用的水平，几乎所有的设备制造商都在设计 SDMN 的产品，且有些电信设备制造商已经开始向移动网络运营商提供 SDMN 产品了。

一方面，我们确实在网络接入设备、应用和服务中看到了大量的创新，但是网络基础设施毕竟是由复杂而不太灵活的设备组成的，流量的快速增长对这些设备提出了更高的要求。SDMN 架构改变了底层的电信网络基础设施，无论是 SDN 还是 NFV，都为设计、构建和运营电信网络提供了新的思路。

SDN 的引入使得控制平面与数据平面可以解耦，并通过第三方软件客户端就可以远程访问并修改控制平面。因此，当前的移动网络正朝着以流为中心的模式发展，这种模式可以使用廉价的硬件和一个在逻辑上集中的控制器。NFV 支持可配置共享网络资源池的访问，使得泛在的、便捷的、按需的网络接入成为可能。

因此，SDN 和 NFV 创建了一个新的电信网络环境，它能够支持快速的业务创新和拓展，还可以在影响用户体验的条件下更有效地利用和优化网络资源。

SDMN 标准化

许多标准化组织已经开始了 SDMN 的标准化工作，而标准化通常是新技术得到广泛应用的第

一步，因此标准化工作对于电信领域的所有参与方都意义重大。

欧洲电信标准化协会（ETSI）是一个由产业领导的标准开发组织，从 2012 年开始就致力于未来移动网络 NFV 的标准化工作，也是目前从事这一工作的最大的电信组织。起初，全球七大领先的电信网络运营商在 ETSI 发起成立了 NFV 行业规范组（ISG NFV）。在过去的两年里，这个组织发展很快，ISG NFV 目前由超过 220 家公司参与，涵盖了全球 37 家大型服务提供商。目前这个由专家组成的大型社区正在紧张开发 NFV 所需的标准，并分享他们早期的 NFV 开发及实践经验。

另一方面，作为非营利组织的“开放网络基金会（ONF）”，也在致力于加速开放 SDN 的部署，它也是 SDN 领域领先的标准化组织。ONF 成立于 2011 年，其成员已经发展到 100 多家，包括电信运营商、网络服务商、设备供应商和虚拟化软件供应商。2014 年，ONF 正式成立“无线和移动工作组（WMWG）”。如果要把 SDN 扩展到无线和移动领域（包括无线回传网络和 LTE 分组核心网 EPC），在架构和协议方面都需要做出调整，WMWG 就负责分析这些方面的需求。

自 2014 年以来，这两个组织已开始它们在它们的标准化工作上进行协作。ETSI 与 ONF 签署了战略合作协议，以利用 SDN 进一步深化 NFV 规范的开发。

此外，ITU（国际电信联盟）电信标准化委员会的若干研究小组（SG）已经着手研究如何把 SDN 用于公共电信网络。例如，SG13（未来网络工作组）聚焦在为 SDN 移动网络定义功能要求和体系架构，SG11（信令工作组）配合 SG13 为 SDN 架构开发信令需求和协议。

此外，其他各种研究团体如互联网工程任务组（IETF）下的软件定义网络研究组（SDNRG）、

光互联网论坛（OIF）、宽带论坛（BBF）和城域以太网论坛（MEF）也在研究 SDN 和 NFV 在不同的网络场景下的部署问题。

虽然我们几乎无法预测未来的网络架构，然而，引入 SDMN 确实能够带来好处。在研究机构 and 行业巨头的鼎力支持下，SDMN 已经成为未来移动网络最有前景的候选技术。

目标读者

对于正在设计新型电信设备的行业或中小企业，正在运营商网络中实现新技术的网络工程师，下一代移动网络领域的研究人员，以及对于正在研究网络安全、移动性管理，或技术经济学领域的硕士或博士研究生，本书会很有吸引力。

本书提供了网络虚拟化以及与下一代移动网络相关的 SDN 方面的最前沿知识，有助于行业或中小企业基于本书的研究成果来创新解决方案，并把这些创新方案应用到产品中，使其在充满挑战的电信市场继续保持竞争力。网络运营商可以获得诸如 SDN 和虚拟化等最新的网络技术，同时它们也可以早点看到 SDMN 在成本、伸缩性、灵活性、安全性等方面的优势。SDMN 带来了更多的可能性，能够帮助运营商应对日益增加的成本和竞争压力。

最后，本书有助于向研究机构、大学生及青年科学家们传授最新的电信知识，也向该研究领域的新人完整地介绍了 SDMN 的概念。此外，本书还对几个相关的研究领域进行了概括，如虚拟化传输/网络管理、流量、资源和移动性管理、移动网络安全及技术经济学建模等。

本书的组织结构

本书由 5 个部分组成：第 1 部分引言，第 2 部分 SDMN 架构及网络实现，第 3 部分流量传输和网络管理，第 4 部分资源管理和移动性管理，第 5 部分安全和经济方面。

第 1 部分包括 SDN 和当前移动网络体系架构的概述和背景知识，简要介绍了 SDN 的概念和移动网络体系架构的历史演变。第 1 章的概述部分，介绍了 SDMN 的基础架构。该章首先讨论了现有移动架构的不足，进而介绍了 SDMN 架构的高级特性以及由其带来的好处。第 2 章介绍了移动网络的演变，分析了移动通信的市场趋势和业务预测。在此基础上，该章还阐述了未来移动网络的需求。第 3 章对 SDN 的概念进行了解释，介绍了 SDN 的历史、发展及其在各种领域的应用，同时对产业和标准化组织中与 SDN 有关的活动进行了简要总结。第 4 章详细研究了 SDN 技术如何应用于无线领域，说明了 SDN 应用于无线网络时所面临的机遇和挑战。第 5 章介绍了 SDN 在未来 5G 无线网络设计中的作用，还包含了一个以 SDN 为基础的 5G 移动系统的趋势、前景和挑战的调研。

第 2 部分包括 SDMN 架构的基础知识和各种实现场景，介绍了 SDMN 的最新技术，以及为了更广泛地部署 SDMN 需要对当前 LTE 架构所做的改变。第 6 章简要介绍了 LTE 网络架构及其向基于 SDN 的移动网络的演进，该章阐述了基于 SDN 的移动网络如何使移动运营商和最终用户受益。第 7 章介绍了演进分组核心网（EPC）的部署模型，在该模型中，EPC 功能是作为服务在云计算基础设施的虚拟化平台上进行部署的。本章还阐述了通过跨域编排将 EPC 服务集成到更多运营商网络时 SDN 的潜力和优势。第 8 章讨论了软件定义移动网络（SDMN）中非常重要的控制器放置问题（CPP），给出了可用的解决方案和方法，分析了相关算法的性能指标。对于开源平台软件控制的电信云，第 9 章分析了影响其未来演进的因素。

第 3 部分讨论了 SDN 对未来移动网络的流量传输和网络管理功能的影响，同时也阐述了

SDMN 的伸缩性以及如何对 SDMN 流量传输进行优化。第 10 章介绍了欧洲电信标准化协会 (ETSI) 的网络功能虚拟化 (NFV) 体系架构及 SDN 对移动网络环境提供的底层支持。第 11 章介绍了移动网络业务管理的主要构成, 也对 3G/4G 网络中的服务质量 (QoS) 和动态策略控制进行了介绍, 然后讨论了 OpenFlow 交换机 QoS 执行的典型特征, 提出了把应用层业务优化协议集成到软件定义网络的新技术 (该技术可用于改进资源选择)。第 12 章介绍了动态服务链, 可用于分组核心网、无线接入网内以及用户设备 (UE) 间直接通信, 证明了 SDN 对移动应用的适用性。第 13 章介绍了软件定义移动网络中的负载均衡技术, 讨论了当前负载均衡技术中存在的主要挑战, 阐述了对软件定义移动网络新型负载均衡技术的需求。

第 4 部分解释了在适应 SDN 的同时, 未来移动网络在资源管理和移动性管理方面面临的各类挑战。第 14 章介绍了 SDN 使能的互联网业务 QoE 监控和执行框架, 该框架通过基于流的、以网络为中心的体验质量监控和执行功能, 增强了移动网络和软件定义网络中现存的服务质量管理功能。第 15 章讨论了在互联网中基于 SDN 的移动性管理, 回顾了现有的互联网移动性管理协议, 并解释了为什么 SDN 有利于解决现有的互联网移动性管理方面的问题。第 16 章首先回顾了现存 MVNO 的架构, 解释了该架构的局限性。此外, 从 SDN 的角度来看, 可为现有的 MVNO 添加可重配置的移动网络参数并增强移动网络的功能, 第 16 章也对此进行了解释。

第 5 部分涉及安全 and 经济方面, 对未来移动架构的安全挑战和 SDMN 安全管理有关的文献进行了全面综述。此外, 该部分还讨论了虚拟化移动网络环境下的商业案例, 同时还介绍了演进型和变革型两种 SDMN 产业架构。第 17 章阐述了传统安全模型的不足, 提出了为 SDMN 开发包容性的内在安全模型的需求。第 18 章介绍了 SDN 和 NFV 引入的安全问题, 以及将这些技术整合到未来移动网络而成为软件定义移动网络 (SDMN) 所带来的安全问题。最后, 第 19 章定义了关键的业务角色, 介绍了演进型和变革型 SDMN 产业架构, 并讨论了移动网络产业不同利益相关方的观点。

致谢

本书聚焦于软件定义移动网络, 这是通过很多人的努力才完成的一个成果。首先, 我们要感谢本书的每一位作者, 他们的工作非常出色!

如果没有大家的贡献, 本书是不可能完成的。编著本书的想法最初源自我们在 SIGMONA (通用移动网络架构中的 SDN) 项目中的工作, 项目的合作伙伴不仅大力支持我们, 还为本书各个章节的写作做出了贡献。我们要感谢 CELTIC SIGMONA 项目所有的合作伙伴。

还要感谢所有审稿人帮助我们为本书确定了合适的章节。此外, 要感谢所有匿名参与审稿的专家, 他们对所有的建议进行评估, 并对如何改进提出了许多有益的见解。我们很荣幸地邀请到爱立信公司的 Ulf Ewaldsson 先生和来自诺基亚公司的 Lauri Oksanen 先生为本书撰写了序言, 非常感谢他们。我们要感谢来自 John Wiley & Sons 出版社的 Clarissa Lim、Sandra Grayson、Liz Wingett 和 Anna Smart, 感谢他们在本书出版过程中给予的帮助和支持。此外, 我们要感谢思科公司的 Brian Mullan 先生、诺基亚公司的 Jari Lehmusvuori 先生和爱立信公司的 James Kempf 先生, 他们在各种场合一直支持本书的写作, 直至完成。

此外, 还要感谢无线通信中心 (CWC) 和奥卢大学, 它们承担了 SDN 移动相关的研究项目, 这些项目为本书打下了基础。我们同时要感谢芬兰国家技术创新局 (TEKES) 及芬兰科学院,

它们在 CWC 和 HIIT 资助了相关的研究工作。Madhusanka 还要感谢他的妻子 Ruwanthi Tissera，她不仅大力支持本书的写作，而且还参与了校对方面的工作。

最后，同样重要的是，要感谢我们的每一个家庭以及我们的朋友们对完成本书投入的热忱和支持。

Madhusanka Liyanage, Andrei Gurtov, Mika Ylianttila

目 录

原书推序一

原书推序二

原书前言

第1部分 引言 1

第1章 概述 1

1.1 现有移动网络及其局限性 2

1.2 软件定义移动网络 3

1.3 SDMN 的主要优势 4

1.4 结论 5

参考文献 6

第2章 移动网络的历史 7

2.1 概述 7

2.2 移动网络的演进 8

2.3 当前移动网络的局限性和挑战 10

2.4 未来移动网络的需求 13

参考文献 14

第3章 软件定义网络概念 15

3.1 引言 15

3.2 SDN 的历史及演进 16

3.3 SDN 模式及应用 20

3.4 SDN 对科研及产业的影响 28

参考文献 30

第4章 软件定义无线网络 33

4.1 引言 33

4.2 无线 SDN 34

4.3 相关工作 37

4.4 无线 SDN 的机遇 38

4.5 无线 SDN 的挑战 42

4.6 结论 44

参考文献 44

第5章 SDN 用于5G网络的趋势、前景

和挑战 46

5.1 引言 46

5.2 无线通信向5G演进 46

5.3 软件定义网络 48

5.4 NFV 49

5.5 以信息为中心的网络 51

5.6 移动和无线网络 52

5.7 协作式蜂窝网络 54

5.8 控制平面的统一 56

5.9 自动 QoS 配置 58

5.10 认知网络管理及运维 58

5.11 卫星通信在5G网络中的
角色 59

5.12 结论 60

参考文献 61

第2部分 SDMN 架构及网络

实现 63

第6章 LTE 架构与 SDN 的集成 63

6.1 概述 63

6.2 将移动网络重构为 SDN 63

6.3 移动回传网络的伸缩 70

6.4 安全性和分布式防火墙 74

6.5 SDN 和 LTE 集成的好处 76

6.6 SDN 和 LTE 集成给终端用户
带来的好处 78

6.7 相关工作及科研问题 80

6.8 总论 81

参考文献 82

第7章 云 EPC	83	参考文献	144
7.1 引言	83	第11章 软件定义网络中的流量管理	
7.2 云 EPC 1.0 版本	89	研究	146
7.3 云 EPC2.0 版本	91	11.1 引言	146
7.4 把移动服务引入 SPSDN 跨域		11.2 移动网络的流量管理	146
编排	96	11.3 QoS 执行及 3G/4G 网络的	
7.5 总结及结论	98	策略控制	147
参考文献	98	11.4 SDMN 中的流量管理	154
第8章 SDMN 控制器放置问题	101	11.5 SDMN 中的 ALTO	156
8.1 引言	101	11.6 总结	161
8.2 SDN 与移动网络	102	参考文献	161
8.3 SDMN 控制器放置的性能		第12章 用于移动应用服务的软件定义	
目标	103	网络	163
8.4 控制器放置问题 (CPP)	106	12.1 概述	163
8.5 结论	115	12.2 3GPP 网络架构概述	164
参考文献	115	12.3 无线网络架构向 NFV 和 SDN	
第9章 移动网络技术演进: 开放 IaaS		演进	165
云平台	117	12.4 NFV/SDN 服务链	168
9.1 引言	117	12.5 开放研究与未来的课题	174
9.2 技术演进的一般规律	117	致谢	175
9.3 研究框架	119	参考文献	175
9.4 云计算概论	120	第13章 软件定义网络中的负载	
9.5 平台举例: OpenStack	121	均衡	176
9.6 案例分析	122	13.1 引言	176
9.7 讨论	126	13.2 SDMN 负载均衡	179
9.8 总结	129	13.3 负载均衡技术未来发展方向和	
致谢	129	挑战	191
参考文献	129	参考文献	192
第3部分 流量传输和网络管理 ...	131	第4部分 资源管理和移动性	
第10章 移动网络功能和服务交付虚拟		管理	193
化与编排	131	第14章 SDMN 中互联网业务 QoE	
10.1 引言	131	管理框架	193
10.2 NFV	131	14.1 概述	193
10.3 SDN	141	14.2 引言	194
10.4 移动性案例	142	14.3 最新情况	194
10.5 数据中心的虚拟网络	144	14.4 QoE 框架结构	195
10.6 总结	144	14.5 质量监测	196

14.6	质量规则	201	17.1	引言	246
14.7	QoE 执行	202	17.2	演变中的移动网络安全威胁 ...	246
14.8	示例	202	17.3	应对移动网络安全威胁的 传统方法	247
14.9	总结	204	17.4	移动网络充分安全原则	249
	参考文献	205	17.5	移动网络典型的安全架构	250
第 15 章	软件定义的移动互联网移动性 管理	206	17.6	SDMN 增强安全	252
15.1	概述	206	17.7	SDMN 安全应用程序	253
15.2	互联网移动性和问题陈述	208		参考文献	255
15.3	软件定义互联网移动性管理 ...	213	第 18 章	SDMN 安全方面	256
15.4	结论	222	18.1	概述	256
	参考文献	223	18.2	SDMN 架构的现状和安全 挑战	256
第 16 章	以软件定义网络的视角看移动 虚拟网络运营商	225	18.3	监控技术	266
16.1	引言	225	18.4	其他重要的方面	272
16.2	以 SDMN 的视角看 MVNO 体系 架构	229	18.5	结论	274
16.3	MNO、MVNE 及 MVNA 与 MVNO 的交互	230		参考文献	275
16.4	3G、4G 和 LTE MVNO 的 发展	236	第 19 章	SDMN 产业结构演进路线	278
16.5	认知 MVNO	237	19.1	引言	278
16.6	MVNO 业务策略	239	19.2	从目前的移动网络到 SDMN ...	279
16.7	结论	241	19.3	SDMN 的业务角色	282
16.8	未来的方向	242	19.4	演进型 SDMN 的产业结构	284
	参考文献	242	19.5	变革型 SDMN 的产业结构	288
			19.6	讨论	291
				参考文献	292
第 5 部分	安全和经济方面	246	缩略语	295	
第 17 章	软件定义网络安全	246			

第 1 部分 引言

第 1 章 概述

Madhusanka Liyanage¹, Mika Ylianttila², Andrei Gurtov³

1 Centre for Wireless Communication, University of Oulu, Oulu, Finland

2 Centre for Internet Excellence, University of Oulu, Oulu, Finland

3 Helsinki Institute for Information Technology (HIIT), Aalto University, Espoo, Finland

人们对未来移动通信的期望越来越高，比如大带宽、低功耗、高安全性、海量新业务、高频谱利用率等，为应对这些新需求，移动网络架构需要进一步演进。尤其是移动用户越来越多，业务量越来越大，对移动网络容量的需求也在不断增加。另一方面，在未来几年，预计移动数据流量的增长速度将远超固定网络。因此，满足流量增长预期是未来移动网络最迫切的需求。

为了跟上流量的增长，移动网络不仅需要通过架构变革来优化现有的资源，还需要通过添加新的组件或引入新的技术来增加容量。但是，移动回传网络的设备非常复杂且不灵活，尽管蜂窝移动网络的接口实现了全球的标准化，但大多数网络设备是由不同供应商提供的，因此移动运营商无法灵活组合来自不同厂商的网络设备。另外，移动网络的标准化是一个长期的过程，虽然运营商有好的想法，但是往往需要等待数年才能在他们的网络中实现这些想法，并且很有可能因为缺乏支持而丧失了发展机会。

基于此，软件定义网络（Software Defined Network，SDN）最有可能弥补当前移动网络的不足。为了满足移动网络快速增长的需求，SDN 在灵活性、伸缩性和性能方面都进行了必要的增强，由此软件定义移动网络（Software Defined Mobile Network，SDMN）应运而生，并正在引导当前移动网络转变为以流为中心的模式，该模式采用了廉价硬件和逻辑上集中的控制器。SDN 提供了数据转发平面与控制平面（Control Plane，CP）分离的能力。SDN 控制器或网络操作系统（Network Operating System，NOS）负责管理 SDN 使能的交换机、路由器和网关，它们都被视为虚拟资源。移动网元的控制平面也可以部署在运营商的云计算平台上。

在这种模式下，每个运营商都可以灵活地开发和优化自己的网络，来满足用户的特定需求。此外，SDMN 交换机是软件可编程的，可以使用流行的敏捷编程方法开发，利用这些软件方法进行开发、优化和升级，比今天最先进的移动回传网络设备开发周期还要短。

将虚拟化技术引入到 LTE 移动网络中，可以在经济上带来两方面的好处。首先，SDMN 可以采用廉价的硬件（如通用服务器和交换机）替代昂贵的移动回传网关设备。其次，在移动网络

中引入 SDN，新的参与方就可以加入到移动网络生态系统，如独立的软件供应商（Independent Software Vendor, ISV）、云服务提供商、互联网服务提供商（Internet Service Provider, ISP），这将改变整个移动网络的业务模式。

因此，SDMN 会在很大程度上改变目前由 3GPP 定义的 LTE 网络架构。SDN 将为流量、资源和移动性管理带来新的机遇，但也对网络安全提出了新的挑战。许多产业界和学术界的研究人员都在对 SDMN 的部署进行研究，我们相信，对于关心下一代移动网络的研究人员，SDMN 相关的设计和试验思想将提供不可或缺的参考。

1.1 节是概述部分，将首先讨论当前移动网络的不足。1.2 节将介绍 SDMN 架构及其组件。1.3 节将阐述 SDMN 架构的核心价值。1.4 节是对内容的小结。

1.1 现有移动网络及其局限性

移动通信诞生于 20 世纪 80 年代，第一代移动网络只支持话音业务，连接速度只有 56kbit/s。但是，在过去近四十年的时间里，移动通信技术取得了迅猛的发展。今天的移动网络已经可以支持多种网络服务，如增强的移动互联网接入、IP 电话、游戏、高清移动电视、视频会议、3D 电视、云计算以及 Gbit/s 高速宽带接入^[1]等业务。

由于需要移动性的支持，这些业务自然而然地倾向于使用移动宽带网络而不是有线互联网。预计在不久的将来，移动数据业务将超过有线数据业务。另外，即使在面临很大量业务需求的时候，移动网络也必须提供运营商级的服务质量。

但是，因为存在诸多限制，今天的网络已经很难满足所有业务需求，总结起来有以下几点^[2,3]：

- **伸缩性差**：在线流媒体、视频通话和高清移动电视等大带宽业务快速发展，移动流量呈爆发式增长态势，但现有的静态移动网络不够灵活，要花很大代价才能满足日益增长的数据需求。
- **网络管理复杂**：管理当前的移动网络需要专业知识和大量的平台资源。大多数情况下，回传设备缺乏通用的控制接口。因此，即使很简单的任务（如执行配置或实施策略）都需要大量的投入。
- **手动网络配置**：大多数网络管理系统都是劳动密集型的，因为手动配置更容易产生错误，一旦产生错误，又需要很长的时间排除错误，所以代价很高，即使训练有素的操作员^[4-7]也只能达到中等程度的安全要求^[8]。根据 Yankee Group 的报告^[4]，在多厂商网络中，62% 的网络宕机是由人为失误造成的，80% 的 IT 预算用在了网络维护和运营上。
- **网络设备复杂且昂贵**：移动回传网络设备往往需要处理大量的业务。例如，在 LTE 网络中，分组数据网关（Packet Data Network Gateway, PDN GW）要负责多个数据平面（Data Plane, DP）的功能，如业务监控、计费、服务质量（Quality of Service, QoS）管理、接入控制及上位控制等，这些功能很重要，因此这些设备既复杂又昂贵。
- **成本高**：移动运营商无法灵活组合不同厂商的设备，因此无法使用不同供应商的廉价设备组建网络，这就直接增加了网络的资本开支。另外，手动配置和不灵活也增加了网络运营开支。
- **不灵活**：移动网络的标准化是一个长期持续的过程，引进新业务需要几个月甚至数年时间。

此外, 由于手动开通、交付和保障业务工作量很大, 新业务的实现也需要数周或数月的时间。

除了这些关键问题, 未来的移动网络还将面临严重的网络拥塞。无线带宽资源是有限的, 但移动数据的需求却在快速增长。因此, 移动网络运营商必须使用更小的小区来适应流量增长, 最终需要增加网络中基站的数量。据统计, 2015 年年底, 全球蜂窝基站的数量达到 400 万, 而这一数字在 2010 年底才只有 270 万^[1]。因此, 由于移动宽带业务的增长和基站数量的增加, 移动回传网络也将面临和数据中心一样的拥塞。

1.2 软件定义移动网络

在移动网络领域引入 SDN 和虚拟化将有助于解决前面提到的问题。SDN 不仅能解决这些问题, 而且可以提高电信网的灵活性、伸缩性和性能。SDN 最初是为固定网络设计的, 然而移动网络相比固定网络有不同的需求, 如移动性管理、宝贵的传输资源、空中接口的有效保护、更高的 QoS、在分组传输中大量使用隧道等。因此, 为了支持移动网络特定的功能需求, SDN 扩展成为 SDMN。此外, SDMN 在业务感知和网络资源利用方面也比最初的 SDN 研究得更为深入。

3GPP 定义的 LTE EPC 是一种极简的电信架构, 证明了把 CP 从 DP 中分离出来的好处, EPC 在一定程度上做到了这种分离, 然而 SDN 支持控制平面与数据平面的完全分离。此外, 互联网工程任务组 (Internet Engineering Task Force, IETF) 和欧洲电信标准协会 (European Telecommunication Standard Institute, ETSI) 等标准化组织也正在致力于将网络功能虚拟化 (Network Function Virtualization, NFV) 概念用于电信网络。SDN 有助于 NFV 功能的引入, 更容易实现移动网络的按需供给和在线扩展。过去几年, 学术界和产业界的许多研究人员都在对 SDMN 的部署进行深入研究, 多篇论文^[3,9-11]也都提到了在移动网络中集成 SDN。

图 1.1 举例说明了 SDMN 的基本架构^[2,12]。

简单地讲, SDMN 实现了移动网络 CP 和 DP 的分离, 所有控制功能集中化, DP 只包含低端交换机及其之间的链路。

SDMN 的架构分为三层^[2,12,13]。

1. DP 层

DP 层也被称为基础设施层, 由交换机等网络设备单元组成, 支持分组交换和转发功能, 基站连接到边界 DP 交换机。SDMN 架构对现有的无线技术是透明的。同样地, 核心网的边界交换机与互联网相连, 将移动用户的业务转发出去。

2. 网络控制器

逻辑上集中的控制器负责 DP 交换机的统一控制功能。控制器使用控制协议 (例如, OpenFlow^[14]、Beacon^[15]、Maestro^[16]和 DevoFlow^[17]) 与 DP 单元进行通信。通常, 控制器使用控制协议在每个 DP 交换机中安装流规则, 让业务沿着移动网络 DP 进行路由。网络控制器通过南向应用程序编程接口 (Application Programming Interface, API) 与 DP 层相连。NOS 运行在控制器顶端以支持控制功能。

3. 应用层

应用层由移动网络的所有业务应用组成, 传统的移动网元, 如策略和计费规则功能 (Policy

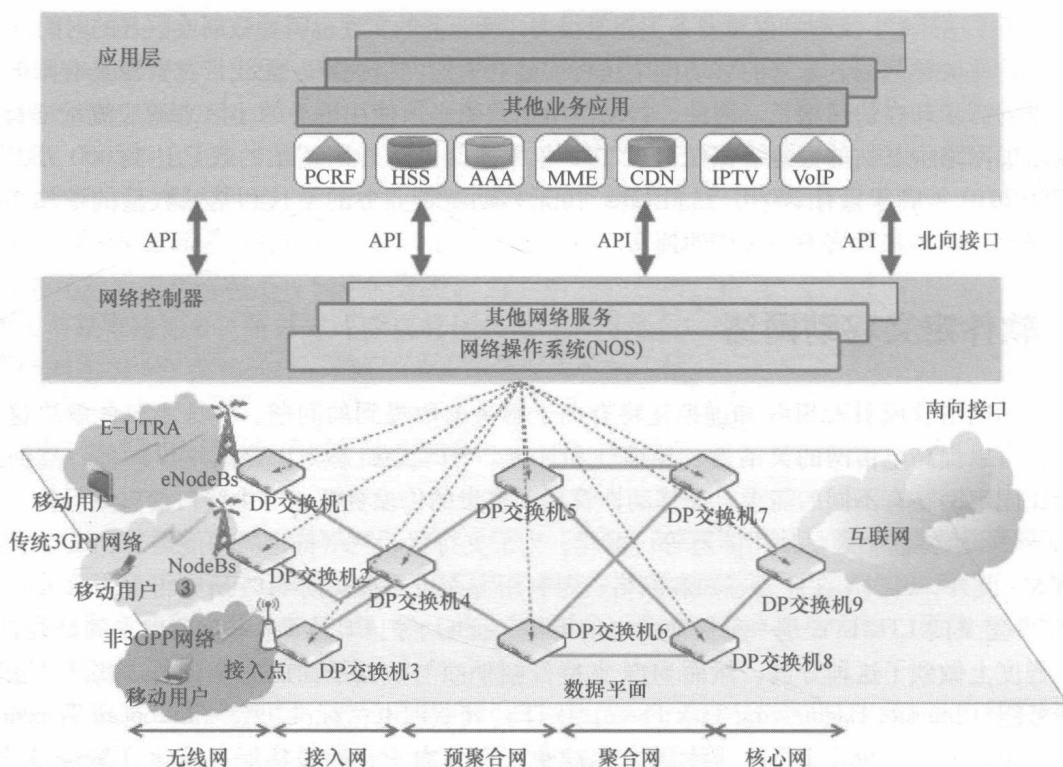


图 1.1 SDM 架构

and Charging Rules Function, PCRF)、归属用户服务器 (Home Subscriber Server, HSS)、移动性管理实体 (Mobile Management Entity, MME) 以及认证、授权和计费 (Authentication, Authorization and Accounting, AAA), 现在变成了运行在 NOS 上的软件应用程序, 应用层和网络控制器之间的接口为北向 API。控制单元负责传统功能并协助 NOS 处理移动性管理、资源管理和数据传输等移动网络相关的功能。

SDN 的引入改变了当前移动网络的架构。此外, SDN 还将在许多方面为移动网络带来新的机遇, 特别是在流量管理、资源管理和移动性管理方面带来很大增益, 但同时也给网络安全带来了新的挑战。

1.3 SDM 的主要优势

SDN 的引入为整个移动网络带来很大的好处, 包括无线接入网、移动回传网和核心网。在这里, 我们介绍 SDM 的主要优势^[2,11-13]:

- **逻辑上集中控制:** 集中控制器可以根据网络的全局情况进行控制决策, 比现有的基于自主系统的决策机制更准确、更适宜和更高效。
- **灵活性:** SDN 架构定义了回程设备之间的通用标准。因此, 控制器可以控制来自任何供应商的任何支持 SDN 的移动网络组件, 网络运营商可以任意组合来自不同供应商的网络设备。