

智慧协同标识网络系列

★ ★ ★
“十三五”★

国家重点图书出版规划项目

SMART SERVICE CLOUD NETWORKS

智慧服务 云网络

■ 王敬宇 廖建新 王晶 戚琦 庄子睿 著



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

智慧协同标识网络系列

★ ★ ★ ★
★ “十三五” ★

国家重点图书出版规划项目

SMART SERVICE
CLOUD NETWORKS

智慧服务 云网络



■ 王敬宇 廖建新 王晶 戚琦 庄子睿 著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

智慧服务云网络 / 王敬宇等著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2017.8
(智慧协同标识网络系列)
ISBN 978-7-115-44345-8

I. ①智… II. ①王… III. ①计算机网络—研究
IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第301494号

内 容 提 要

本书是目前此类技术方面国内较为系统的专著。作者结合多年研究和实践的经验,从云计算网络发展动力到云计算网络基本特征,从云计算网络各部分细节到云计算网络关键问题,从云计算网络业务到目前网络向云计算网络的演进,从云计算网络的融合到对未来的展望,本书一一进行了论述。本书主要内容包括云计算对基础架构的驱动、云计算网络的组成、如何构建安全可靠灵活的网络通道、虚拟化数据中心的扩张、外部和内部网络的实现、大数据网络设计要点,以及厂商解决方案等。

本书适合国内云计算网络、新一代网络建设、网络管理、系统集成行业的开发人员、技术工程师、售前与售后技术支持人员学习。

◆ 著 王敬宇 廖建新 王 晶 戚 琦 庄子睿

责任编辑 代晓丽

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 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: 700×1000 1/16

印张: 22

2017年8月第1版

字数: 357千字

2017年8月北京第1次印刷

定价: 128.00元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

序言

随着科学技术的发展，信息网络已经成为推动社会进步的巨大动力，在各国经济与社会发展中起着决定性的作用。因此，信息领域的竞争将是世界经济竞争的焦点之一，而信息领域竞争的关键取决于信息网络的基础理论研究水平。现有互联网采用“沙漏”模型的设计思想，是相对静态和僵化的，在此基础上的演进与发展难以突破原始设计思想的局限，无法从根本上满足信息网络高速、高效、海量、泛在等通信需求。当前国内外关于新型信息网络体系结构的研究处于起步阶段，存在巨大拓展空间，具有良好的发展机遇。我们相信，在不久的将来，全球的经济、社会与科学的面貌，在新一代网络技术、服务与理念的推动下会焕然一新。

在此背景下，本书融合了云计算，服务计算，机器学习等交叉学科的理论，提出了资源动态适配的智慧协同网络体系，命名为“智慧服务云网络”，满足智慧服务流动性、动态性的基本特征，建立其智慧服务行为模型，以有效解决现有网络存在的关键问题。本书是作者多年研究工作的体会和在“十二五”期间承担国家“973”项目研究成果的总结，本书以解决智慧服务的需求为主线，探讨了云计算和互联网之间的融合，集成了网络虚拟化、数据中心、SDN 等新一代网络技术。从技术原理和设计思想而非技术细节入手，注重不同技术间的横向比较分析，深入浅出且具有一定的前瞻性，内容全面而不失重点，逻辑清晰，可读性较强。

通过此书，可以明显感受到网络与云计算技术的快速发展，以及智慧服务技术在企业 IT 和电信网络重构中的巨大作用。希望本书的读者，在了解新一代网络技术的同时，能够积极地投身到网络与云计算产业实践中来。只有更多的人认识到智慧服务与云计算的价值，才能挖掘出更多新型信息网络的价值，通信网络产业才会有源源不断的动力蓬勃发展，相信读者中的很多人都将成为通信网络产业的中坚力量。

中国科学院院士、中国工程院院士

陈伟

2016 年 11 月

前言

云计算将大量分布式的高性价比的计算、存储和网络资源集成管理，并将资源和应用软件以服务形式提供给广大用户，可提高效益并支持服务创新。云计算近年来得到了快速发展，已经成为企业架构的主流组件，云通过提供基础设施、平台和应用的服务，已经改变了 IT 资源的交付和消费方式。其中，云计算网络（简称“云网络”）是非常重要的基础，实现了其他 IT 资源的有效互联，已经成为一个非常有前途的技术方向。尤其在跨数据中心互联的背景下，该网络可用于实现云计算基础设施构建，以及虚拟网络资源的对外提供。有关云计算的计算和存储技术已经有了较成熟的研究及大量专著，而云网络相关技术的中文资料却非常少，尚缺乏较全面的专业书籍，即使偶尔有一二篇文章，也难成系统。

笔者自从事科研工作多年来，接触到了大量的前沿网络技术和云服务，特别是 2008 年以来一直关注云计算，承担了有关“智慧服务机理与理论”研究的国家“973”课题，并帮助多个企业用户实现了云计算系统，这样的工作性质使笔者能够从较为宽广且客观的视角来观察云网络技术的发展趋势。计算机网络领域是极其博大精深的，存在大量的规范和协议，尤其是现在叠加网络、SDN/CCN/NFV 技术的出现，更是打破了原有网络体系的层次化结构，让很多网络系统从业者摸不清头绪，因而设计的网络架构存在很大的潜在风险。因此才有了编写基于智慧服务的云网络这样一本书籍，试图帮助读者梳理云网络相关通信技术与协议，把握最新的网络技术发展趋势，从而更好地搭建云计算基础设施，体现云计算的成本效益，提供更可靠更灵活的服务交付。

本书探讨的是云计算和互联网络之间的融合，为构建云基础设施提出必要的技术原则。云网络是云系统中的互联网络，还是网络边缘的云端系统？笔者理解的云网络包含两个层面：虚拟网络是由云系统提供的资源 NaaS，称为“云上网”；支撑云基础设施的物理网络，称为“云上网”，实现其他 IT 资源有效地互联，帮助云达到性能和安全需求。尤其在跨数据中心互联的背景下，该网络用于实现云计算基础设施构建，虚拟网络资源的对外提供。



IT 基础设施架构从分离重新走向融合，并非简单的历史重复，而是在继承现有成果基础上的创新与突破。无论水平融合，还是垂直融合，在核心技术支撑方面并未将现有已形成产业规模的 x86 CPU 及其服务器计算架构推倒重来，而是在最大限度地重用这些成熟产业组件的前提下，借助虚拟化及分布式云计算调度管理软件的作用，将多厂家异构，或者单厂家同构的计算、存储、网络整合为规模可大可小的云计算机，从而有效地解决传统 IT 架构所面临的业务上线周期长、TCO 居高不下、企业关键应用性能低下的问题和挑战。

随着网络范围的日益扩大，用户和数据不断快速增加，传统网络的设计思想无法从根本上满足信息网络高速、高效、海量、泛在等通信需求，难以解决网络可扩展性、移动性、安全性等问题，更难以实现网络资源的高效利用、节能能用等需求。“智慧协同网络理论基础研究”提出了一种新的智慧服务层工作原理与设计方案，包括服务标识的统一命名与服务行为表征方法、服务的注册与查询方法、服务资源的存储方法、服务动态感知方法，以及服务标识到族群标识的智慧映射机制等，实现了服务的普适化与智慧化，显著提升了用户体验。

本书从智慧云服务的创建、部署及消费角度来描述云计算的实质，意味着云计算天然要求支持面向智慧服务的能力。现代企业通常会将其 IT 基础设施、业务平台及软件即服务的对外开放作为其整体端到端企业信息架构 SOA 解决方案中的重要一环来执行。当然，软件即服务（SaaS）作为一个流行多年的话题，其面世时间早在云计算概念出现之前，现在已经不是什么新鲜概念了。

虽然难以达到《CCNA 学习指南》和《TCP/IP 详解卷 1：协议》那样的高度，但是笔者已尽最大努力，希望这本书能够成为中文技术书籍中的一本诚意之作，为有志于网络技术的朋友提供一点实实在在的帮助。

在编写过程中，北京邮电大学研究生李涛、包剑楠、李凯、何昱泽、付霄元、徐捷、庞旭东、于振广等做了许多工作，在此表示感谢。

智慧服务云网络是一项全新的技术，由于笔者水平有限，加之时间仓促，书中难免有错误、不当之处，敬请广大专家、学者批评指正。

作 者

2016 年 11 月于北京

第1章 概述

1.1 云网络的历史	2
1.1.1 云下网和数据中心网络	2
1.1.2 云上网和网络虚拟化	3
1.2 云网络发展的推动力	4
1.2.1 智慧服务对网络的内在需求	4
1.2.2 智慧云网络的目标	5
1.3 软件定义的必要性	7
1.3.1 按需管理的挑战	7
1.3.2 软件定义网络的现状	9
1.4 智慧服务云下网的构建	10
1.4.1 网络拓扑架构	10
1.4.2 网络流量管理	11
1.4.3 带宽共享机制	11
1.4.4 软件定义云网络	12
1.5 智慧服务云上网的数据传输	13
1.5.1 多路径路由及转发技术	13
1.5.2 新型传输控制协议	14
1.5.3 多路径传输控制技术	15
1.5.4 软件定义多路径	16
1.5.5 资源联合优化	17
1.6 智慧服务云网络架构	18
1.7 智慧服务云网络的现状与发展	20
参考文献	22

第2章 新一代网络架构

2.1 概 述	32
2.2 SDN	33
2.2.1 SDN 网络架构	33



2.2.2	SDN 控制平台	35
2.2.3	OpenFlow 交换机.....	39
2.2.4	OpenFlow 控制器.....	40
2.2.5	OpenFlow 流表	41
2.2.6	OpenFlow 协议	44
2.2.7	SDN 与 OpenStack 融合	46
2.3	ICN	48
2.3.1	ICN 简介.....	49
2.3.2	ICN 关键技术.....	51
2.3.3	ICN 主流框架.....	56
2.3.4	基于 SDN 的 ICN 实现.....	61
2.4	CCN 与 NDN	64
2.4.1	CCN 简介.....	64
2.4.2	NDN 网络架构	65
2.4.3	NDN 数据分组类型	66
2.4.4	NDN 命名机制	67
2.4.5	NDN 节点结构.....	69
2.4.6	NDN 转发机制	71
	参考文献	73

第 3 章 叠加网络技术

3.1	叠加网络概述	76
3.2	P2P 技术	77
3.2.1	现代 P2P 的特性.....	79
3.2.2	DHT 算法存在的问题	80
3.2.3	P2P 的流量识别.....	82
3.3	CDN 技术	83
3.3.1	CDN 的文件分发机制.....	84
3.3.2	CDN 的缓存机制.....	85

3.3.3	CDN 的调度机制	87
3.4	多数据中心大二层网络技术	88
3.4.1	传统二层网络的局限性	89
3.4.2	大二层网络方案	90
3.4.3	软件定义跨数据中心网络方案	92
3.5	叠加网络的层间博弈与协作	94
3.5.1	叠加网络的生成	94
3.5.2	叠加网络的路由	97
3.6	叠加网络的应用方向或应用前景	101
3.7	典型案例分析：PPTV 基础平台管理体系	102
3.7.1	机遇及挑战	103
3.7.2	大规模视频云的实践	103
3.7.3	亚洲电视网的建设	105
	参考文献	105

第4章 数据中心网络

4.1	数据中心的定义	112
4.2	数据中心规划与设计	113
4.2.1	传统数据中心网络体系结构	113
4.2.2	传统数据中心网络体系结构的不足	114
4.2.3	数据中心网络的新需求	115
4.2.4	网络为中心的方案	116
4.2.5	服务器为中心的方案	122
4.2.6	无线数据中心网络	123
4.3	云数据中心的体系架构	124
4.3.1	单体云数据中心	124
4.3.2	虚拟数据中心	124
4.3.3	分布式云数据中心	125
4.4	云数据中心的核​​心技术	127



4.4.1	数据中心网络的多租客支持	127
4.4.2	虚拟机放置与迁移策略	128
4.4.3	云数据中心网络多路径路由协议	130
4.4.4	基于编码的云数据中心网络传输协议	131
4.4.5	网络与计算资源的联合优化	131
4.4.6	网络与存储资源的联合优化	132
4.4.7	异构资源请求的虚拟数据中心网络资源分配	133
4.5	数据中心自动化	133
4.5.1	自动化服务关键技术	133
4.5.2	数据中心自动化服务系统架构	134
4.6	软件定义数据中心的高可用性	135
4.6.1	软件定义云数据中心网络的设计原理与基础架构	135
4.6.2	软件定义数据中心网络资源利用率优化	137
4.6.3	软件定义的云数据中心虚拟网络隔离	137
4.6.4	软件定义的云数据中心的流量工程	138
4.7	软件定义数据中心网络案例	139
4.7.1	Google B4	139
4.7.2	AWS 数据中心实例	145
4.7.3	VMware 软件定义数据中心网络案例	147
4.7.4	阿里巴巴数据中心网络案例	150
4.7.5	华为数据中心网络案例	152
	参考文献	153

第5章 数据中心的资源汇聚技术

5.1	数据中心的传输层协议	158
5.1.1	数据中心网络需求	158
5.1.2	传输层协议的现状	159
5.1.3	传输层协议的发展	160
5.2	多路径并发传输	163

5.2.1	节点之间多路径连接	163
5.2.2	多路径传输的技术优势	164
5.2.3	MPTCP 综述	165
5.2.4	多路径传输机制设计	168
5.3	能力汇聚与组合技术	172
5.3.1	云计算环境与服务组合	172
5.3.2	云计算数据中心主要特点	173
5.3.3	云计算中的服务组合	175
5.4	核心应用聚合云端	175
5.4.1	服务组合示例	175
5.4.2	服务组合系统架构	177
	参考文献	178

第6章 网络功能虚拟化

6.1	NFV 概述	184
6.1.1	NFV 产生的背景	184
6.1.2	NFV 的基本概念	185
6.1.3	NFV 架构介绍	185
6.1.4	NFV 的挑战	188
6.1.5	NFV 的发展前景	190
6.2	NFV 的应用场景	190
6.2.1	NFV 用例概述	190
6.2.2	移动核心网虚拟化	193
6.2.3	云数据中心网络	196
6.2.4	家庭网络虚拟化	198
6.3	NFV 的标准组织和 NFV ISG 的活动现状	199
6.3.1	NFV 的标准组织	199
6.3.2	NFV ISG 的活动现状	201
6.4	SDN 及 NFV 的探索	203



6.4.1	SDN 与 NFV 之间的关系	203
6.4.2	SDN/NFV 对网络组网的影响	204
6.4.3	SDN/NFV 的机遇和挑战	205
6.4.4	SDN/NFV 的相关开源项目	207
6.4.5	业界实践情况	210
6.5	网络编排	213
6.5.1	什么是网络编排	213
6.5.2	为什么需要网络编排	213
6.5.3	基于云网络的网络编排	214
	参考文献	217

第 7 章 智慧服务研究现状

7.1	概述	220
7.2	信息资源命名机制	221
7.2.1	传统网络资源的命名技术	221
7.2.2	基于资源名字查找和快速发现机制	222
7.3	服务行为描述与建模	223
7.3.1	服务描述研究	223
7.3.2	服务匹配研究	224
7.3.3	服务分类研究	224
7.3.4	服务合成研究	225
7.3.5	服务选择研究	226
7.4	服务聚合演化与统计特征	227
7.4.1	服务演化研究	227
7.4.2	统计特征研究	228
7.5	资源检索服务	229
7.5.1	多媒体语义提取	229
7.5.2	大规模分布式信息检索	231
7.6	服务的可信性机理	232

7.6.1 可控可管性.....	234
7.6.2 可靠性.....	235
7.7 服务动态感知	236
7.7.1 网络组件层对智慧服务的感知.....	236
7.7.2 智慧服务之间的相互感知.....	240
7.8 移动云服务	241
参考文献	243

第8章 智慧服务内在机理

8.1 概述	256
8.2 智慧服务标识定义	257
8.2.1 普适的未来信息网络信息命名解决方案.....	257
8.2.2 高效可扩展的信息命名查找机制.....	258
8.3 复杂服务行为建模	260
8.3.1 服务行为描述的定义.....	260
8.3.2 服务行为描述本体及描述语言.....	261
8.3.3 服务拓扑信息的描述.....	263
8.3.4 服务性能信息的描述.....	266
8.3.5 服务功能行为的描述.....	273
8.3.6 服务行为建模总结.....	280
8.4 智慧服务聚合与演化	282
8.4.1 基于事件驱动的唯一服务组方法.....	284
8.4.2 情景化、个性化单一服务组方法.....	286
8.4.3 复杂业务流程的聚合方法.....	288
8.4.4 复杂服务的拓扑转换.....	291
8.4.5 复杂服务选择算法.....	295
8.5 小结	296
参考文献	296



第9章 智慧服务支撑机理

9.1 概述	298
9.2 服务资源的智慧查询和匹配方法	298
9.2.1 动态业务检索	298
9.2.2 静态业务检索	310
9.3 服务的可信性机制	316
9.3.1 可控可管性	318
9.3.2 可靠性	319
9.4 智慧服务动态感知	319
9.4.1 网络与用户的信息交互	321
9.4.2 网络感知服务需求	322
9.4.3 用户对网络的感知	323
9.4.4 实验结果及分析	325
9.5 智慧服务的移动性管理	326
9.5.1 智能切换判决	328
9.5.2 基于服务行为的位置更新	329
9.5.3 多服务集中切换机制	332
9.6 小结	334
参考文献	334

名词索引	335
------------	-----



第 1 章

概 述

- 1.1 云网络的历史
- 1.2 云网络发展的推动力
- 1.3 软件定义的必要性
- 1.4 智慧服务云下网的构建
- 1.5 智慧服务云上网的数据传输
- 1.6 智慧服务云网络架构
- 1.7 智慧服务云网络的现状与发展

1.1 云网络的历史

云计算近年来快速发展，已经成为企业架构的主流组件，云通过提供基础设施、平台和应用服务，已经改变了 IT 资源的交付和消费方式。其中，云计算网络（简称“云网络”）是非常重要的基础，实现了其他 IT 资源的有效互联，已经成为一个非常有前途的技术方向。

云网络通常包含两个层面：一是云上网，虚拟网络作为云系统的资源进行提供，即 NaaS（Network as a Service，网络即服务）；二是云下网，它是支撑云基础设施的物理网络，负责实现其他 IT 资源的有效互联，帮助云达到性能和安全需求，尤其在跨数据中心互联的背景下，整个云网络用于实现云计算基础设施构建，以及虚拟网络资源的对外提供。现有的云上虚拟网络和云下基础网络的架构如图 1-1 所示。

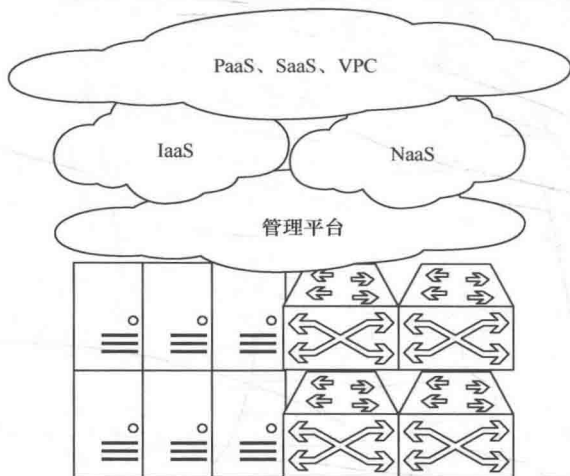


图 1-1 现有的云上网和云下网

1.1.1 云下网和数据中心网络

自 20 世纪 90 年代起，小型计算机系统开始逐步地被部署在专用的机房中，也就是人们常说的数据中心。各大企业在机房内投入了大量的网络设备。在第一次互联网泡沫期间，数据中心的建设极度膨胀。企业需要快速的互联网接入能力以及无停歇的

运营来部署相关系统，以求在互联网上占有一席之地。与此同时，企业还开始用各种各样的方法部署大型数据中心设施，来为用户提供智慧服务。

进入 21 世纪，数据中心的规模急剧扩张，到 2007 年，平均每个数据中心要消耗超过 25 000 个家庭的能源。移动互联网、大数据等新型业务正在以史无前例的力量和速度改变着世界，以智能手机和各种物联网传感设备为代表的各种各样的智能终端不断涌现并快速增长，这些都给数据中心基础架构的计算、存储、网络带来了巨大的需求。平均每年有超过 575 万台服务器被部署，而需求还在按照每年 10% 的速度增长。

传统数据中心纷纷开始应用云计算技术，通过部署云数据中心（Cloud Data Center），对计算、存储网络等资源进行虚拟化和模块化，使用户可以按需调用各种资源，从而满足新形势下业务部署和运营管理的需求^[1]。其中，云数据中心网络是连接数据中心大规模服务器的桥梁，也是承载网络化计算和网络化存储的基础。当前大量应用的开发部署、数据的爆炸式增长等对数据中心网络提出了新的挑战^[2,3]。一方面，虚拟机规模大幅增长、虚拟机动态迁移、计算弹性按需提供，带来了网络流量边缘化、地址管理、大二层网络以及动态弹性网络部署等挑战和需求；另一方面，多租户服务模式带来多租户网络隔离、自定义网络以及自动化部署等新的网络需求，要求所有资源都能够按需获取。现有的网络技术和架构已经难以满足云数据中心的新需求，亟待寻找新的网络解决方案。

数据中心内部日益庞大的计算资源也对数据中心内部的网络架构提出了更高的要求，不再满足于初期简单的网络设备互联。现代的数据中心通信网络通常都是基于 IP 协议的，网络主要由路由器和交换机组建而成，用来传输服务器之间以及和外界之间的流量。互联网接入的顽健性通常由使用多家 ISP 来完成。数据中心内部运行着内部用户和设施所需要的一些基础的互联网和本地局域网服务。同时，网络安全也是至关重要的一环，数据中心常常会部署防火墙、虚拟专用网络网关、入侵检测系统等。网络监测系统和站点状态检测也是典型部署环境的一部分，主要用于预防数据中心内部的通信故障。

1.1.2 云上网和网络虚拟化

构架于云上的网络（即服务），是指云服务供应商将网络能力开放出来给第三方