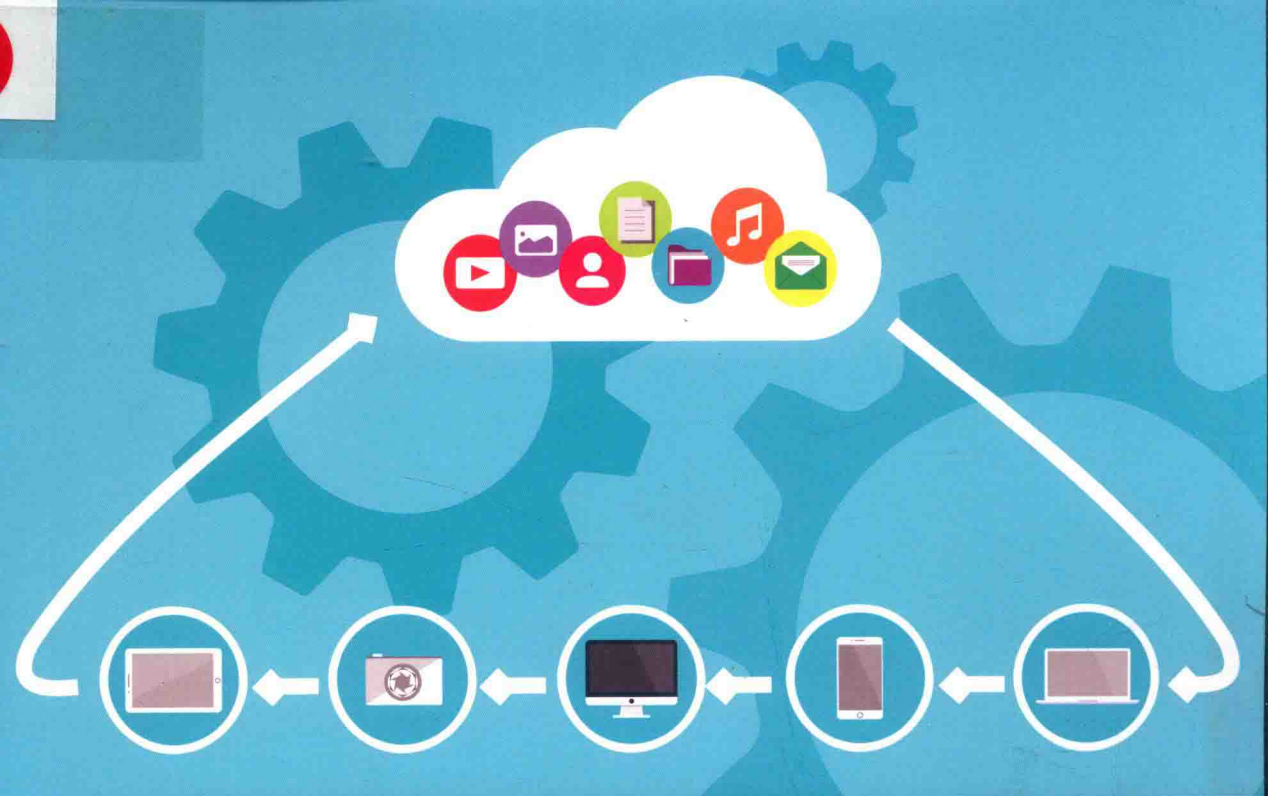




移动云计算 ——资源共享技术

李波 著



科学出版社



移动云计算 ——资源共享技术

李 波 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

从移动云计算的体系结构和资源共享机制入手,对能够将移动设备上的计算密集型任务迁移到其他云计算资源上运行的计算卸载技术,进行深入研究,介绍在移动云计算环境中实现计算卸载的框架体系和流程、卸载决策的理论和算法,以及对可分负载任务进行计算卸载的任务划分理论和算法,详细介绍在移动自组织云和移动车载云中对计算卸载任务进行分配的理论和算法,阐述在计算卸载过程中支持终端移动性的移动性管理技术和切换管理算法。

本书适合从事云计算、物联网和移动互联网研究的人员参考,适合从事云计算、物联网和移动互联网中的资源共享、管理和调度相关研究的高年级本科生和研究生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

移动云计算——资源共享技术 / 李波著. —北京:科学出版社, 2017.6
ISBN 978-7-03-053786-7

I. ①移… II. ①李… III. ①云计算-研究 IV. ①TP393.027

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 138936 号

责任编辑:张 展 朱小刚 / 责任校对:葛茂香

责任印制:罗 科 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年6月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2017年6月第一次印刷 印张:8 3/4

字数:170千字

定价:60.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

智能终端、移动无线网络和云计算技术的发展,让智能终端通过移动无线网络随时随地获取和使用各种计算、存储、应用等云计算服务的移动云计算成为一种重要的发展趋势。移动云计算具有突破终端硬件限制、便捷存取数据、智能均衡负载、降低管理成本和按需服务等优势。移动终端的资源往往十分有限,而云中具有丰富的计算资源,移动云计算可以弥补移动终端资源不足的缺点,同时可以扩展云计算的应用领域。随着云计算与物联网、机器人等其他领域的不断融合,移动云计算技术在无人驾驶汽车、云机器人等新的研究领域具有重要的理论研究和应用价值。

本书从移动云计算的体系结构和资源共享机制入手,重点研究能够将移动设备上的计算密集型任务迁移到其他云计算资源上运行的计算卸载技术,介绍实现计算卸载的框架体系和流程、卸载决策的理论和算法,以及对可分负载任务的划分理论和算法,详细介绍在移动自组织云和移动车载云中对计算卸载任务进行分配的理论和算法,阐述在计算卸载过程中支持终端移动性的移动性管理技术和切换管理算法。

本书共分为6章,各章的主要内容如下:

第一章回顾计算模式发展的历程,介绍云计算和移动云计算的基本内容,重点介绍构成移动云计算环境的三种模式和面临的主要挑战。

第二章介绍移动设备之间的资源共享方式,重点介绍在移动云计算环境中将移动设备上的计算密集型任务迁移到其他资源上运行的计算卸载技术,阐述了计算卸载的框架体系、分类、流程和决策机制。

第三章介绍一类可以将任务划分为多个部分然后卸载到不同的资源上进行处理的可分负载应用,给出对这种应用进行划分的理论、卸载算法和实验结果。

第四章介绍移动自组织云中的计算卸载问题,阐述移动自组织云的概念和在其中实现计算卸载的框架,给出对任务进行分配的在线算法和批调度算法,通过仿真实验对这些算法的性能进行分析和比较。

第五章介绍移动车载云中的计算卸载问题,阐述移动车载云的概念,给出在其中实现计算卸载的框架和理论模型,给出对卸载任务进行分配的算法,并通过仿真实验对算法的性能进行分析和比较。

第六章介绍在移动云计算环境中进行计算卸载时面临的移动性管理问题,对不同移动云计算模式面临的移动性问题进行分析,定义移动云计算中的切换管理体系、切换流程、切换判决准则,给出基于多属性决策的切换算法和相应的实验结果。

近几年来,作者和其他课题组成员对移动云计算和计算卸载相关理论、技术进行了持续研究。由于相应研究内容往往都是以分散的形式出现在不同的期刊、论文集和学位论文中,难以体现出整体性的研究思路,不便于查阅和交流,因此对前期研究进行了阶段性总结和整理,形成本书。

在本书所涉及内容的研究过程中获得了课题组研究生杨从有、王继荣、刘海霞、李双全、曹新立、崔国亮等的支持和帮助,在此一并表示感谢。

本书得到国家自然科学基金“移动云计算中支持终端移动性的计算卸载关键技术研究”(项目编号 61562092)的资助。

由于成稿匆促,限于作者研究水平,加上移动云计算技术领域的快速发展,书中所述观点和研究难免存在不足之处,敬请批评指正。

目 录

第一章 移动云计算	1
第一节 计算模式发展历程	1
第二节 云计算	3
第三节 移动云计算	5
第四节 云计算之后	10
一、雾计算	10
二、移动边缘计算	11
第五节 移动云计算的挑战	12
第六节 本章小结	13
参考文献	14
第二章 移动云中的资源共享	16
第一节 移动设备间的资源共享	16
第二节 移动云中的计算卸载	17
第三节 计算卸载的分类	20
一、粗粒度卸载和细粒度卸载	20
二、代理资源类型和规模	21
三、远程执行环境	22
四、计算卸载决策	23
第四节 计算卸载决策	23
一、任务划分策略	25
二、卸载任务分配策略	31
三、静态卸载和动态卸载	36
第五节 移动计算卸载的优势	37
一、提升性能	37
二、节省能耗	38
第六节 本章小结	39
参考文献	39

第三章 可分负载应用的计算卸载 41

第一节 可分负载理论 41

第二节 基于可分负载理论的计算卸载 43

第三节 实验验证 47

一、仿真实验验证 47

二、实际实验验证 49

第四节 本章小结 51

参考文献 51

第四章 移动自组织云中的计算卸载 52

第一节 计算卸载框架 52

第二节 计算卸载问题描述 53

第三节 计算卸载算法 54

一、并行多处理机调度算法 55

二、移动自组织云中的调度算法 56

第四节 仿真实验和结果分析 62

一、平均卸载时间结果 63

二、平均完成时间结果 65

三、平均利用率结果 66

第五节 本章小结 67

参考文献 67

第五章 车载云中的计算卸载 69

第一节 车载网络 69

一、车辆与车辆通信模式的特点 71

二、车辆与路边单元通信模式的特点 72

三、融合的车载网络及其特点 72

第二节 车载云计算 73

第三节 车载自组织云中的计算卸载 76

一、车载自组织云计算环境 77

二、计算任务模型 77

三、资源模型 78

第四节 基本任务划分和分配策略 80

一、任务划分方法 81

二、基本分配策略 84

第五节 基于移动性预测的卸载策略	85
一、车载网络移动模型	85
二、车辆可用时间预测	86
三、任务卸载策略	95
第六节 实验和结果分析	97
一、仿真实验环境	98
二、仿真参数设置	101
三、实验结果分析	101
第七节 本章小结	103
参考文献	104
 第六章 移动云计算中的移动性管理	105
第一节 移动性管理技术	105
一、移动通信中的移动性管理	105
二、移动云计算中的移动性管理	107
第二节 移动云计算卸载中的切换管理	110
第三节 基于阈值的切换判决准则	113
第四节 基于多属性决策的垂直切换	114
一、简单加权法	116
二、熵值法	117
三、逼近理想解排序法	118
第五节 多属性决策仿真实验	121
一、仿真实验场景	121
二、性能评价指标	123
三、仿真实验及结果分析	124
第六节 本章小结	129
参考文献	129

第一章 移动云计算

云计算是计算机和互联网变革之后的又一次重大变革,是中国战略性新兴产业的重要组成部分。随着移动应用的增长和云计算概念的兴起,移动云计算一直被认为是移动服务最具有潜力的技术。通过对网络中计算能力、存储、应用软件等资源进行整合利用,实现随时随地获取资源、按需使用服务、随时扩展资源、按使用付费的功能。移动云计算是将云计算应用到移动环境中,解决移动计算中的移动终端性能(电池寿命、存储、处理能力和带宽等)和环境(异构、扩展性和可用性等)不足的问题。通过合理有效的移动性管理和计算任务卸载、迁移,延长移动终端电池寿命、改善数据存储和处理能力、提高计算的可靠性、降低移动终端计算成本。

第一节 计算模式发展历程

自第一台计算机 ENIAC 在 1946 年诞生以来,相继出现了大型机、小型机、个人计算机、集群计算、网格计算、云计算等不同的相关产品和计算模式。在计算机发展的早期阶段,计算机设备费用昂贵、数量稀少,基本上只能为国防、金融、能源等国家重要部门和支柱产业提供数据处理服务。为了让更多的人能够使用这些计算机,一方面,通过使用分时复用和虚拟化等技术,将一台大型机虚拟化为多台相互独立的虚拟主机,建立面向终端的多用户分时联机系统,从而让多个用户共享同一个大型机资源;另一方面,当时的学者提出了公用计算(utility computing)[图 1.1(a)],或者说计算机公共服务(the computer utility)的概念,希望将计算服务建设成为一种与自来水、电力、煤气等公共服务类似的服务,计算服务提供商向用户提供所需的计算资源和基础设施管理,而用户则像使用自来水和电一样根据使用量多少向服务提供商缴费。20 世纪 70 年代以后,随着个人计算机的出现和逐渐普及,个人计算机就像一台台独立配置的小型发电机一样,为用户输出源源不断的计算能力,而公用计算的概念逐渐淡出人们的视野。

随着计算机网络的出现和发展,人们逐渐意识到通过计算机网络将多台计算机连接起来实现资源共享和协作的可能性,分布式计算模式应运而生。通过将多

台互连的计算机组织起来构成计算机集群,可以构建出比单台计算机性能和可用性更好的计算环境。这为采用价格低廉的个人计算机或者工作站来构建高性能、高可用性和高吞吐量的计算资源创造了条件。

随着互联网规模的不断扩大和应用的不断深入,互联网上汇集的越来越多的计算资源、数据资源、软件资源、各种数字化设备和控制系统共同构成了生产、传播和使用知识的重要载体。如何将互联网上互连的众多资源汇聚起来,通过协同的资源共享和合作的问题求解,实现网络计算的能力,也就成为互联网在实现网络资源的物理连接和 Web 页面访问之后的另一个重要问题。这种需求和计算技术、网络技术的发展,最终导致网格计算(grid computing)在 20 世纪 90 年代初期以元计算(metacomputing)^[1]的名称开始出现。网格^[2]是构筑在互联网上的一组新技术,它将高速互联网、高性能计算机、大型数据库、传感器、远程设备等融为一体,提供更多的资源、功能和交互性,能够实现广域网范围内的动态的、多个机构的虚拟组织内的协同资源共享和问题求解。

在网络计算机、虚拟化、网格计算等的基础上,云计算(cloud computing)的概念在 2006 年被提了出来。云计算是一种和公用计算在思路非常相似的模式,通过将计算资源、存储资源、网络资源、操作系统、应用软件等资源整合在一起,形成一种能够无处不在、便捷和按需访问的共享的可配置资源池,用户则按照需要使用这些资源[图 1.1 (b)]。云计算出现以后,逐渐成为大型信息处理系统的必然选择,而亚马逊、Google、微软、阿里巴巴、腾讯等商业巨头也都依赖于大型云数据中心来运营自己的业务,并将云服务作为一种商业服务提供给用户。

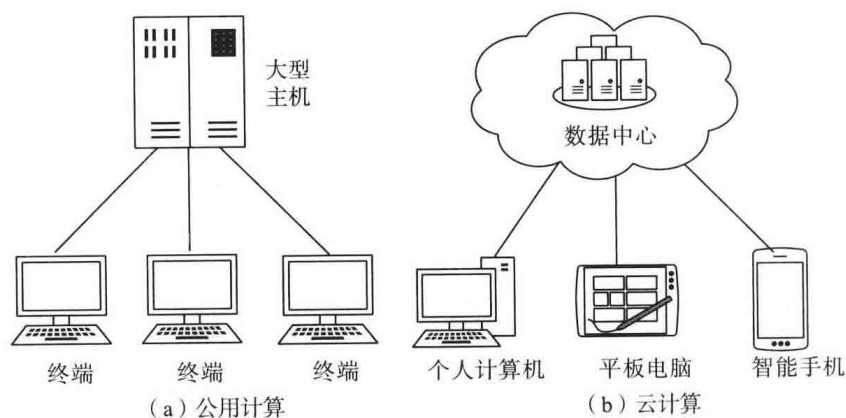


图 1.1 公用计算与云计算

最近几年,随着移动互联网、物联网、人工智能、大数据等技术和虚拟现实、无人驾驶、机器人等应用的发展,将物联网终端、智能手机、机器人、虚拟现实终端、无人驾驶汽车等设备接入云计算数据中心并为它们提供数据存储、分析和决策服务成为一种必然趋势。

第二节 云计算

云计算是英文 cloud computing 的直译。在计算机网络领域，人们在绘制网络结构图时往往用云来代表一个网络或者因特网。随着网络的主要功能从数据的存储转发逐步演变为能够进一步提供计算、存储等，为了能够形象地描述这些基于网络的服务提供模式，原本用来代表网络的云被重新定义为在网络中提供的各种计算、存储等服务，这种基于网络的计算模式也被定义为云计算。图 1.2 给出了用“云”分别代表数据通信网络的网络图和代表计算、存储、网络等网络服务的云计算环境。

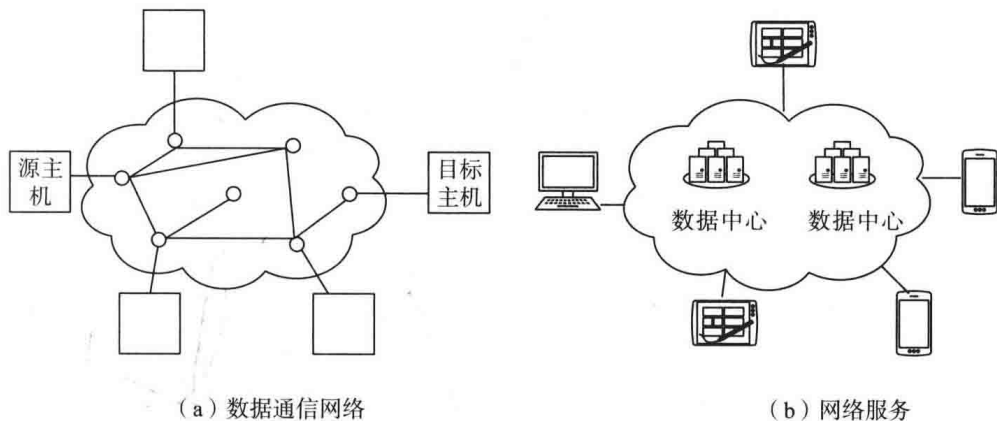


图 1.2 用“云”代表数据通信网络和网络服务

正如计算机网络领域对计算机网络的定义有很多种一样，云计算的定义同样有很多种，这些定义分别从不同的角度刻画出云计算的特征。这里给出美国国家标准和技术研究所 (National Institute of Standards and Technology) 和维基百科对云计算的定义^[3,4]：云计算是一种基于因特网的计算，能够向计算机和其他设备按需提供共享的计算机处理资源和数据。这种模式能够实现对由可配置的计算资源 (如计算机网络、服务器、存储、应用和服务) 构成的共享资源池的无处不在的按需接入，这些资源能够通过最小的管理工作来进行快速的提供和释放。

上述定义的云计算包括五个本质特征 (essential characteristics)、三种服务模式 (service model) 和四种部署模式 (deploying model)^[3]，见表 1.1～表 1.3。

表 1.1 云计算的五个本质特征

特 征	描 述
按需自助服务 (on-demand self-service)	消费者在不需要和服务提供者进行人际交互的前提下，能够单方面地获得服务器机时和网络存储等计算能力
广泛的网络接入 (broad network access)	计算能力能够在网络上通过标准机制访问，这些机制能够提升移动电话、平板电脑、笔记本电脑、工作站等异构的客户端平台的应用
资源汇集 (resource pooling)	服务提供者的计算资源被汇集在一起，通过多租户模式服务多个消费者，根据消费者需求动态分配不同的物理资源和虚拟化资源
快速弹性 (rapid elasticity)	计算能力能够快速地提供和释放。对消费者而言，能够获得的计算能力看起来是无限的，同时也可以在任何时间获得任意数量的资源
可测服务 (measured services)	云系统能够自动控制和优化资源使用。资源的使用可监测、可控制和汇报，从而向服务提供者和消费者双方提供透明的服务使用信息

表 1.2 云计算的三种服务模式

服务模式	描 述
软件即服务 (Software as a Service, SaaS)	提供给消费者的计算能力是使用运行在云基础设施上的服务提供者的应用程序。这些程序能够通过各种客户端设备上的瘦客户端接口或程序接口来访问。消费者不能管理或控制底层的网络、服务器、操作系统、存储等云基础设施资源。除可能进行有限的应用配置之外，甚至不能对单个应用的能力进行管理和控制
平台即服务 (Platform as a Service, PaaS)	提供给消费者的计算能力是在云基础设施上部署消费者的应用，这些应用通过使用服务提供者支持的编程语言、库、服务和工具来创建。消费者不能管理或控制底层的网络、服务器、操作系统、存储等云基础设施资源，但是能够控制部署的应用，也能够对应用运行环境进行可能的配置
基础设施即服务 (Infrastructure as a Service, IaaS)	提供给消费者的计算能力是计算、存储、网络和其他基础性计算资源，消费者可以在这些资源上部署和运行操作系统和应用程序等任意软件。消费者不能控制底层的云基础设施，但是能够控制操作系统、存储和部署的应用，或者对防火墙之类的选定的网络组件进行有限的控制

表 1.3 云计算部署模式

部署模式	描 述
私有云 (private cloud)	云基础设施仅归单个组织排他性使用。设施的拥有、管理和运行可以由这个组织或者第三方来负责，可以坐落在本地或者异地 (on or off premises)
社区云 (community cloud)	云基础设施由在安全、兼容性、管辖权等方面具有共同关心问题的特定消费者社区排他性使用。可以由社区内的一个、多个组织或者第三方所拥有、管理和运行，可以坐落在本地或者异地
公有云 (public cloud)	云基础设施可以让公众通过网络来公开使用，可以为商业机构、学术机构或者政府机构所拥有、管理和运行，存在于云提供者的场所。从技术上说，公有云和私有云差别很小或者没有差别，但是安全性和隐私是公有云面临的主要问题
混合云 (hybrid cloud)	由保有独立实体但又绑定在一起的两个或多个云组合而成，能够体现出多种部署模式的优势。混合云通过与其他云服务的整合，拓展了单个云服务的能力和容量

第三节 移动云计算

基于云计算的定义,移动云计算是指通过移动无线网络以按需、易扩展的方式获得所需的基础设施、平台、软件(或应用)等的一种 IT 资源或(信息)服务的交付与使用模式,是云计算技术在移动互联网中的应用。随着电子信息技术的发展,智能手机、平板电脑等移动设备的计算能力、存储能力、电池续航时间等都在不断提升。然而,当试图在这些移动设备上运行一些资源密集型应用时,这些设备就会变得难以胜任。借助移动云计算技术,可以把那些资源密集型应用迁移到能力更强的云服务器上运行,能够有效缓解移动设备资源不足的缺陷。

移动云计算具有突破终端硬件限制、便捷存取数据、智能均衡负载、降低管理成本和按需服务等优势。同时,由于移动终端的资源十分有限,而云中具有丰富、充足的计算资源,移动云计算的出现可以弥补移动终端资源不足的缺点,同时可以扩展云计算的应用领域。随着云计算与物联网、机器人等其他领域的不断融合,移动云计算技术在无人驾驶汽车、云机器人等新的研究领域具有重要的理论研究和应用价值。

根据移动云构成方式的不同,可以进一步将其分为三种模式。

(1) 基于远程云(remote cloud)的模式:移动云由远程云资源和移动设备构成,移动设备通过广域网络访问远程的云资源,如图 1.3(a)所示。

(2) 基于本地微云(local cloudlet)的模式:移动云由本地云资源和移动设备构成,移动设备通过本地网络访问本地的云资源,如图 1.3(b)所示。

(3) 基于移动设备的自组织云(ad hoc cloud)模式:多个移动设备构成云计算资源,然后为移动设备或者其他设备提供云计算服务。

在基于远程云的模式下,移动终端连接到位于核心网上的远程云数据中心来获取服务。当移动用户通过移动终端来访问目前由亚马逊、谷歌等公司运营的弹性计算云 EC2(Elastic Computing Cloud)、Google App Engine 等公有云服务时就采用这种模式。这种模式使用户在使用这些云服务时,都能够获得一致的服务体验。然而,在通过广域网接入远程云的过程中,即使有足够的网络带宽,网络时延和抖动仍然会对增强现实之类的实时交互式应用产生重要影响。为了减弱这种不利影响,文献[5]提出了一种将提供云服务的资源从核心网移动到离终端更近的网络边缘的解决思路,并将网络边缘的云服务资源称为微云(cloudlet)。文献[5]对云和微云进行了比较,给出了表 1.4 所示的结果。

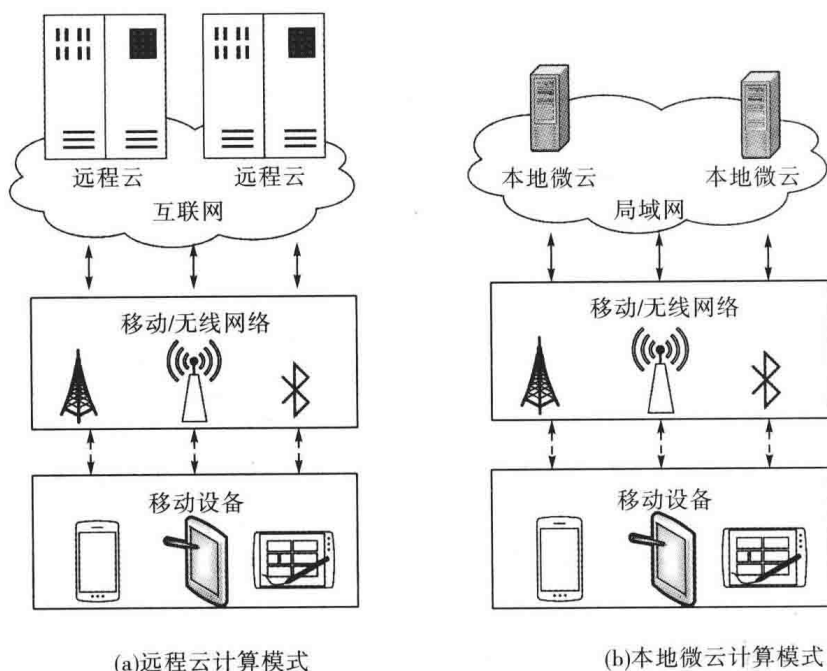


图 1.3 基于远程云和本地微云的移动云计算模式

表 1.4 云和微云的比较

项目	云 (cloud)	微云 (cloudlet)
状态	硬状态和软状态	仅软状态
管理	专业化管理, 24×7 营运	自我管理, 没有或者很少专业化关注
环境	具备空调和制冷设备的机房	工作场所的盒子内的数据中心 (datacenter in a box)
所有权	为亚马逊、雅虎等公司集中化所有	为本地机构的非集中式所有
网络	互联网时延/带宽	局域网时延/带宽
共享	同一时刻成百上千的用户	同一时刻很少用户

微云概念提出以来, 基于微云的移动云计算模式吸引了很多人对其进行研究^[6-9]。文献[10,11]利用台式机上的虚拟机建立起微云, 分别通过 WiFi 和 LTE 连接到实验室内的微云与亚马逊 AWS 远程云(图 1.4), 然后将智能手机上的三个交互式应用(面部识别 FACE、增强现实 MAR 和计算机图形学应用 FLUID)分别卸载到微云和亚马逊 AWS 远程云, 比较了这些应用在不同环境下的执行时间、响应时间和能耗。实验结果表明, 将计算任务卸载到远程云未必比在移动设备上运行能够获得更好的性能和更低的能量开销, 与将任务卸载到远程云相比, 卸载到本地微云能够提升 51% 的响应时间、降低 42% 的移动设备能耗。对交互式应用而言, 将任务卸载到本地微云是实现性能和能耗改善的必要选择。

移动设备除分别使用远程云和本地微云进行计算之外, 还可以将这两种云资

源结合起来。文献[12]提出了一种混合使用远程云和本地微云来加速任务处理的思路(图 1.5),微云可以用来对在远程云中执行的任务进行预处理、缓存和调度,从而比单独使用远程云或者本地微云获得更好的性能。

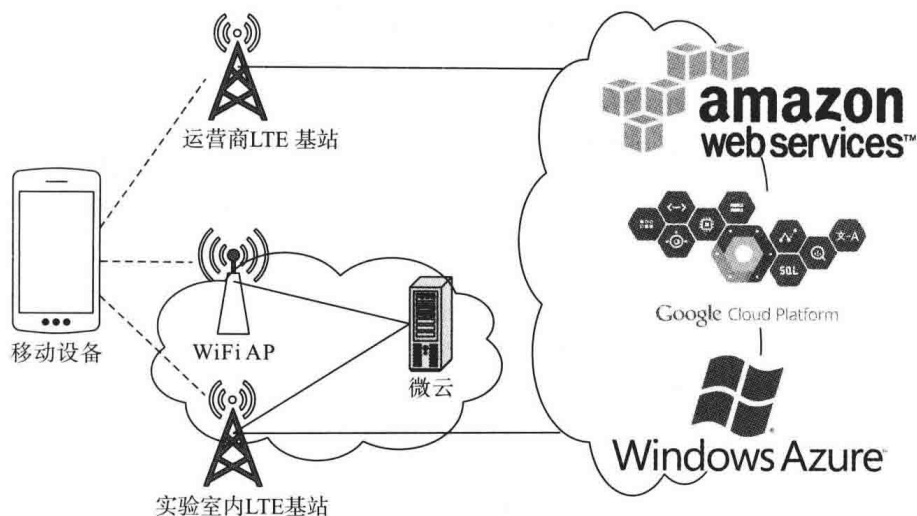


图 1.4 移动设备分别通过蜂窝网基站和 WiFi AP 连接到远程云和本地微云

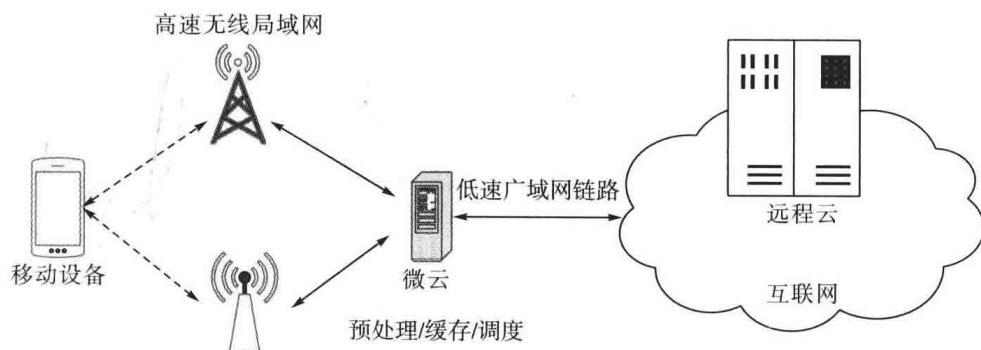


图 1.5 微云和远程云协作提升性能

由图 1.3~图 1.5 可以看出,在基于远程云和本地微云的移动云计算模式中,移动设备都是通过蜂窝网、无线局域网等有基础设施网络连接到远程或者本地的云计算资源上的。如果有基础设施网络或者那些远程云、微云资源不可用,那么多台移动设备可以试图通过自组织网络将它们自身的资源汇集起来,构建出一种不依赖于外在网络基础设施和其他设备的自组织云计算环境。

随着移动通信技术、高性能智能终端的发展,移动终端设备(如车载电脑)的电量、计算性能都有了极大的提高,这使得基于移动自组织网络的云计算的概念得以实现。在日常生活中,手机、车辆等高性能移动终端设备随处可见,通过移动自组织网络的组网形式,对这些零星、快速变化的移动资源进行整合,实现通信和计算资源共享,从而形成移动自组织云计算环境。

移动自组织云又称为移动设备云,是在移动自组织网络中实现移动云计算的一种计算模式^[13-18]。图 1.6 给出了两种典型的移动自组织云结构。其中,图 1.6(a)中的移动设备通过单跳自组织网络连接起来,所有移动设备的处理能力相近,一个移动设备上的计算任务可以卸载到其他移动设备上运行。移动终端本身可能既是服务的提供者,又是服务的消费者。图 1.6(b)中的设备通过多跳自组织网络连接起来。移动云中除处理能力较弱的移动设备之外,还有处理能力更强的高性能(high performance computing)节点作为移动的微云设备。移动设备可以将计算任务卸载到这些高性能节点上进行处理,移动设备作为服务消费者,而高性能节点作为服务提供者。

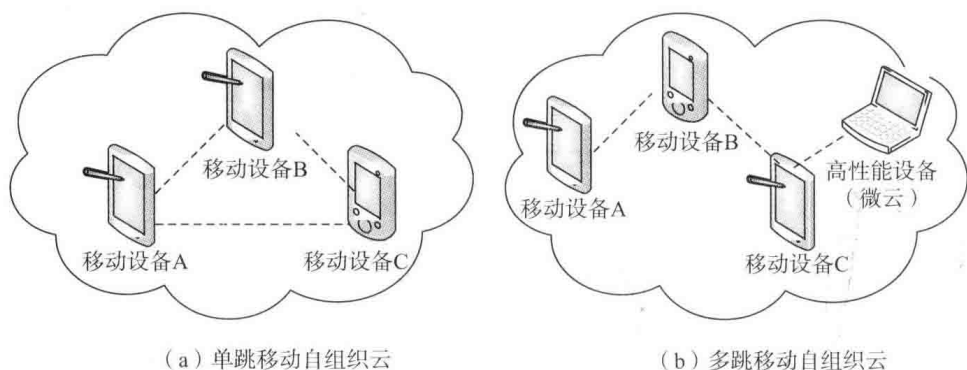


图 1.6 移动自组织云

通过移动自组织云,移动设备之间可以实现计算、存储、传感器等资源的共享,实现一些有特色的应用^[18]。

(1) 合并本地资源。通过将移动设备上的处理能力、内存、传感器、执行器、空中接口等资源以协作的方式进行合并,可以构建出比任何单个设备上的资源都更加强大的虚拟资源供移动云中的设备使用,克服单个移动设备自身的资源限制。

(2) 群智感知(crowd sensing)。利用分布在多个移动设备上的传感器资源,收集相关数据,实现一些依赖单个设备上的传感器所不能实现的应用。

(3) 协作内容分发或者生成。移动设备可以相互协作,产生或者分发特定内容,如将多个移动设备上的照片合并在一起,形成清新度更高、尺寸更大的照片。

与基于远程云和本地微云的移动云计算环境相比,移动自组织云环境下的计算卸载继承了移动云计算和移动自组织网络的特点。

(1) 移动终端的能源有限。移动自组织云需要依赖移动设备提供计算资源,而移动设备的计算能力、电池续航能力、网络带宽等都难以与固定设备相比。例如,移动终端一般通过蓄电池供电,但是现在的电池容量非常有限,一台典型的

笔记本电脑在正常连续使用情况下一般只能维持 2~5 小时,而计算密集型的程序还有基于触摸屏的移动设备对能源的消耗更大,不幸的是,电池容量在未来几年只能提高约 30%,这远远低于同期 CPU 和存储器的发展速度。

(2) 网络连接动态变化。由于受终端移动性、无线通信技术等因素的限制,移动终端之间的网络连接状态会动态变化,网络拓扑结构、带宽、时延等可能会动态变化,从而对计算任务的卸载决策和执行过程产生影响。

(3) 移动自组织云的管理和维护更加复杂。和基于远程云或者本地微云的移动云计算环境相比,移动自组织云中的节点可能是移动设备、可搬移设备和固定设备的混合组合,节点主要以一种机会主义的形式选择加入或者离开云资源池,造成可用资源的动态变化。如何发现可用资源、如何在动态变化的资源上对任务进行合理分配等问题都是移动自组织云管理和维护的关键。

移动设备在移动过程中,可用的网络接入资源和云计算资源都可能会动态变化。如何适应这种动态变化,成为移动云计算相对于传统云计算模式的核心问题。图 1.7 给出了一个移动终端在移动过程中分别使用远程云、本地微云和移动自组织云的例子。

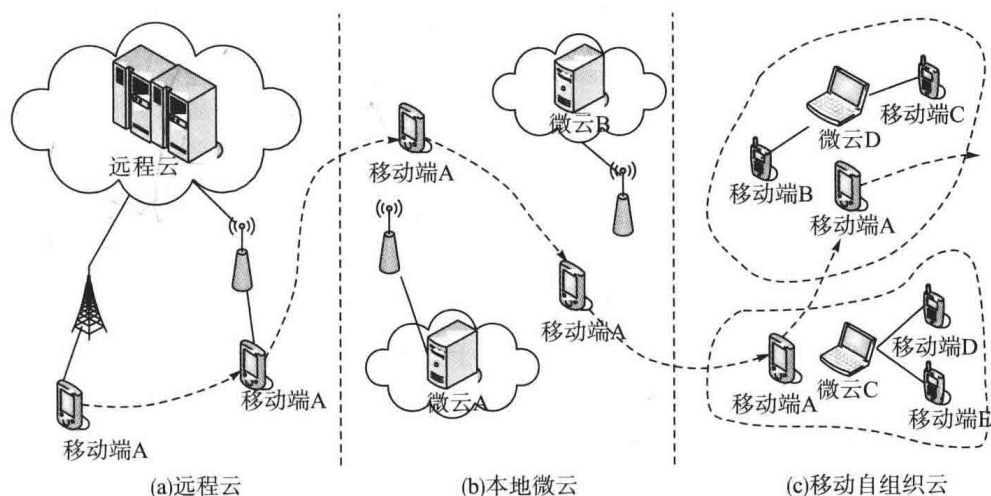


图 1.7 用户在移动过程中选择不同的计算模式

目前,已经有一些基于移动自组织云的应用和相关研究^[15,16,19]。本书也将在第四章中对移动自组织云中的计算卸载问题和卸载算法进行深入研究。