



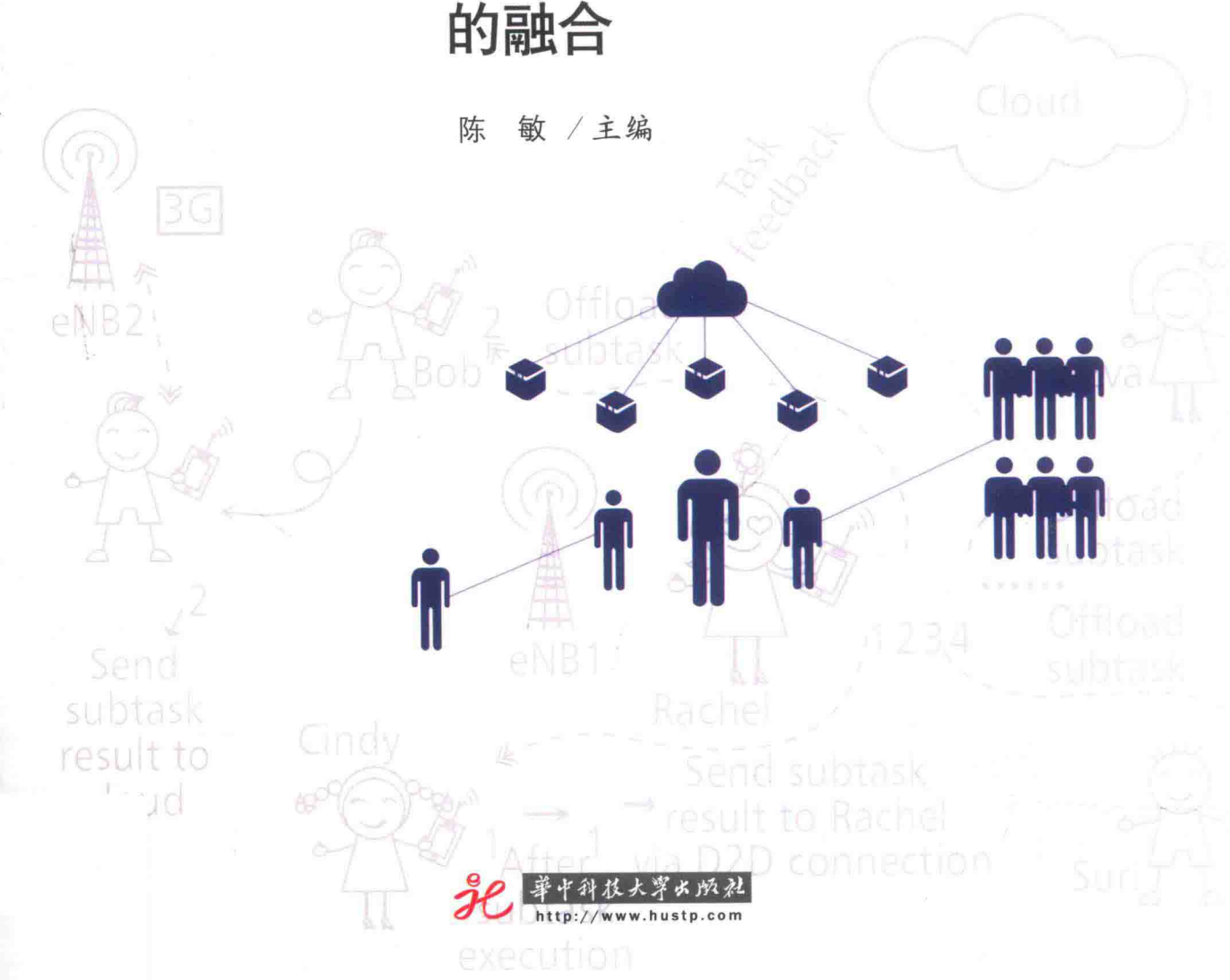
· 5G移动通信关键技术研究丛书 ·
湖北省学术著作出版专项资金资助项目



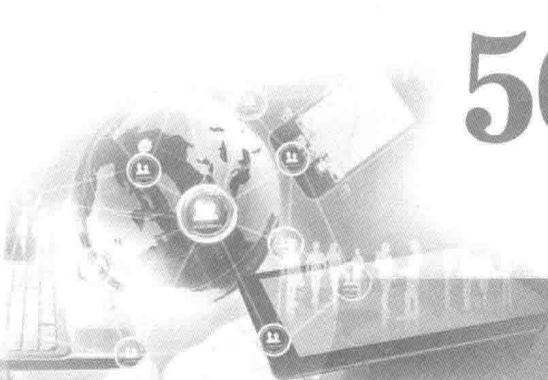
5G移动缓存 与大数据

—— 5G移动缓存、通信与计算的融合

陈 敏 / 主编



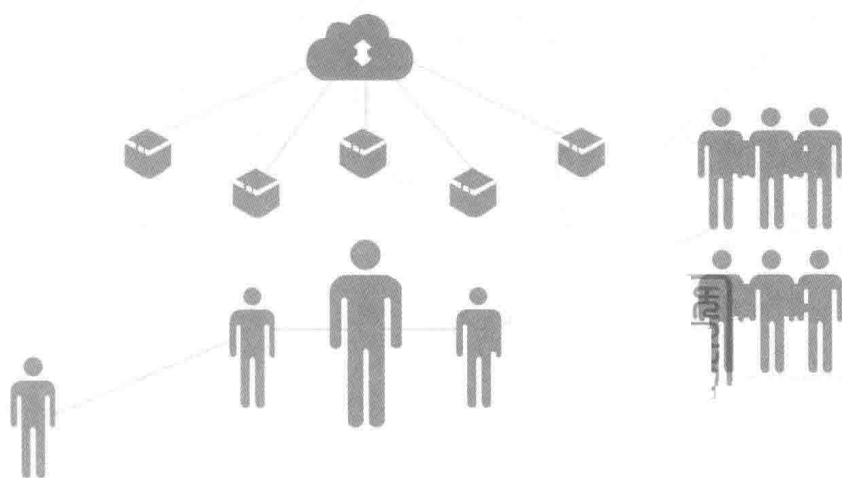
华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



5G移动缓存 与大数据

——5G移动缓存、通信与计算的融合

陈 敏 / 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书是关于 5G 移动缓存和移动大数据的一本参考书,分为 5G 移动缓存和移动大数据两部分。5G 移动缓存部分介绍了缓存架构的演进,缓存部署的关键问题,移动缓存策略及相关研究,以及 5G 移动缓存的未来应用。这部分内容不仅从宏观上介绍了新型融合缓存的网络架构如何解决传统网络的瓶颈,还进一步从微观上对几种移动缓存策略进行了详细描述,并且在最后介绍了移动缓存网络仿真的相关细节问题。在移动缓存领域为读者提供了从认识到理解再到实践的知识及参考。移动大数据部分介绍了移动大数据的获取和处理,以及移动大数据在社会方方面面的应用和价值。这部分内容不仅介绍了移动大数据在不同应用场景下的研究现状,也对其中的关键技术进行了详细的分析和阐述。全书共分为 15 章,其中前 7 章为移动缓存部分,后 8 章为移动大数据部分。

本书可作为计算机网络和通信专业高年级本科生或研究生的教材或参考书,也可供相关专业工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

5G 移动缓存与大数据:5G 移动缓存、通信与计算的融合/陈敏主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2018.4

(5G 移动通信关键技术研究丛书)

ISBN 978-7-5680-3561-3

I. ①5… II. ①陈… III. ①无线电通信-移动通信-通信技术 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 058905 号

5G 移动缓存与大数据——5G 移动缓存、通信与计算的融合

陈 敏 主编

5G Yidong Huancun yu Dashuju——5G Yidong Huancun, Tongxin yu Jisuan de Ronghe

策划编辑:王红梅

责任编辑:余 涛

封面设计:原色设计

责任校对:马燕红

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉华工鑫宏印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15.75 插页:2

字 数:383 千字

版 次:2018 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:58.00 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

自 20 世纪 80 年代以来,移动通信技术已经经历了四代的演进与发展,第五代移动通信 5G 也即将应运而生。但由于频谱资源稀缺以及频谱效率提升空间受限于香农极限,业界逐渐认识到,5G 需求的实现,不仅应着眼于通信资源的开发,还应关注缓存与计算资源带来的机遇。为了满足 5G 网络速度更快、时延更低、连接更多、效率更高的愿景,有必要对现有的网络架构和网元功能进行全新的改进设计。

此外,随着移动设备和基础设施全覆盖的实现,手机已无处不在。其惊人的普及速度刺激了科学家的创造力——把数以百万计的手机作为潜在传感器,其产生的数据将蕴含用户更丰富的信息。通过对移动大数据进行处理分析和建模,它将在公众健康、人口流动、城市计算等领域带来全新的研究思路和发展活力,并为人们的生活水平的提高提供动力。

本书是一本全面系统论述 5G 移动缓存与移动大数据关键技术及其应用的著作。在当前 5G 移动缓存和移动大数据研究逐渐兴起和发展的关键时期,期望本书的出版能对国内外 5G 移动缓存和移动大数据的研究、开发、应用和相关人才培养起到推动作用。

全书共分为 15 章,两个部分。前 7 章为 5G 移动缓存部分。其中,第 1 章是移动缓存与计算概述,介绍了当前移动通信网络面临的挑战,并简述了引入缓存与计算资源的必要性以及其带来的应用前景。第 2 章介绍了未来网络中缓存架构的演进,即缓存从核心到边缘的发展历程,并详述了其中的关键问题和技术。第 3 章介绍了 5G 移动缓存部署的关键问题,介绍了大数据分析和机器学习在缓存内容流行度建模上的应用,以及缓存部署策略的研究现状和研究问题。第 4 章介绍了两种移动缓存策略,策略引入用户移动性研究和内容编码技术,将问题建模为 0-1 非线性规划问题,并进一步转化为子模态优化问题,最终利用贪心算法给出问题的解决方案。第 5 章介绍了 5G 移动缓存在车联网和增强现实中的应用,给出了车联网和增强现实环境下的服务需求,并展示了基于缓存技术的车联网和增强现实网络架构和技术问题。第 6 章介绍了边缘计算卸载策略,策略给出了基于 D2D 的边缘计算任务卸载模型,利用远端云和移动微云进行任务卸载。第 7 章介绍了 5G 移动缓存在 OPNET 上的仿真过程,其中分别详述了核心网缓存和边缘网缓存模型的建立,参数设置的关键方法和步骤。

后 8 章为 5G 移动大数据部分。第 8 章对移动大数据进行了概述,介绍了移动大数据研究领域文献的分类,同时也对移动大数据的产生和收集中的关键技术和挑战进行了简要介绍。第 9 章介绍了移动大数据融合的关键技术,详述了数据集预处理的方法和账号合并及接入点分类问题的研究。第 10~14 章详细介绍了移动大数据在公众健康、社会计算、城市计算、三元空间计算及电信业务优化上的应用。其中第 10 章给出

了移动网络数据分类的方法,并详述了基于移动网络数据的流行性和行为建模具体方法,说明了移动数据应用于公众健康的挑战。第 11 章介绍了移动大数据在社会计算中的应用,给出了通过移动呼叫和移动电话网络图对人口属性、环境属性及其他社会问题进行分析预测的方法。第 12 章介绍了移动大数据在城市功能划分、区域人口预测上的应用前景和方法细节。第 13 章介绍了移动大数据在三元空间计算中的应用方法,详细阐述了社团发现、社团活动分析方法和社团推荐服务模式的具体技术方案。第 14 章介绍了移动大数据对电信业务优化的作用,基于移动大数据分析,给出用户流失预测方法、核心用户识别技术的具体细节。最后,第 15 章给出了移动大数据分析在用户隐私保护上的技术方案和研究进展,个人隐私保护也是掣肘移动大数据未来应用的关键问题。

在本书编写过程中广泛参考了许多专家、学者的文章著作以及相关技术文献,作者在此表示衷心感谢。5G 移动缓存和移动大数据分析是当前正在发展的新技术,有些内容、学术观点尚不成熟或无定论,同时由于作者水平有限,虽然尽了最大努力,疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2018 年 2 月

1 移动缓存与计算概述	(1)
1.1 移动通信系统的缓存与计算	(1)
1.2 边缘缓存与计算的移动性	(3)
1.3 缓存,计算与通信的联系	(4)
1.4 移动缓存与计算的应用	(5)
2 未来网络中缓存架构的演进:从核心网到 5G 超密蜂窝网	(7)
2.1 数据命名网络架构	(7)
2.2 5G 超密蜂窝网	(10)
2.3 基于虚拟化的 5G 网络架构	(14)
3 缓存部署与内容流行度建模	(19)
3.1 缓存内容	(19)
3.2 缓存部署	(26)
4 5G 移动性缓存策略	(30)
4.1 5G 网络移动性缓存策略研究	(30)
4.2 5G 网络绿色移动编码缓存策略研究	(40)
5 5G 缓存应用	(53)
5.1 5G 缓存与车联网	(53)
5.2 5G 缓存与增强现实	(62)
6 边缘计算卸载	(68)
6.1 5G 网络边缘计算卸载策略研究	(68)
6.2 移动自组微云模式描述	(69)
6.3 移动自组微云模式分析	(71)
6.4 卸载策略模型的建立与求解	(74)
6.5 实验结果与分析	(78)
6.6 小结	(84)
7 OPENT 缓存建模与网络仿真	(85)
7.1 数据命名网络中的缓存建模与仿真	(85)
7.2 无线网络中缓存建模与仿真	(93)
8 移动大数据概述	(103)
8.1 移动大数流研究概述	(105)
8.2 移动网络中的大数据产生与收集	(108)

9 基于移动大数据的用户画像	(113)
9.1 数据集与数据预处理	(113)
9.2 账号合并	(117)
9.3 接入点分类	(119)
9.4 结论	(124)
10 公众健康的移动网络数据	(126)
10.1 移动网络数据	(126)
10.2 流动性和公众健康	(130)
10.3 移动数据应用于公众健康的挑战	(134)
10.4 总结	(137)
11 移动大数据与社会计算	(138)
11.1 用户交互	(138)
11.2 人口统计学	(141)
11.3 环境	(143)
11.4 流行病	(145)
11.5 移动电话网络	(147)
12 移动大数据与城市计算	(155)
12.1 关于移动大数据	(155)
12.2 移动大数据与城市计算研究	(167)
12.3 城市功能区划分	(170)
12.4 基于幂律模型的人口预测	(175)
12.5 结果评估	(178)
12.6 结论	(182)
13 移动大数据与三元空间计算	(183)
13.1 三元空间概述	(183)
13.2 三元空间中基于活动特征的社团发现方法	(185)
13.3 三元空间中基于张量的社团活动分析方法	(189)
13.4 三元空间中面向社团的推荐服务模式	(192)
14 移动大数据与电信业务优化	(199)
14.1 移动大数据与用户流失预测	(200)
14.2 移动大数据与信息传播	(201)
14.3 移动大数据与中心用户识别	(203)
14.4 移动大数据与电信业务实践	(204)
15 移动大数据与个人隐私	(210)
15.1 引言	(210)
15.2 数据集介绍	(213)
15.3 用户轨迹的独特性	(214)
15.4 敏感属性多样性分析	(221)
参考文献	(226)

移动缓存与计算概述

1.1 移动通信系统的缓存与计算

在移动设备日益普及的今天,社交网络不断扩张,资源密集型应用喷涌而出,移动通信的数据量正急剧增长。思科公司的最新报告预计,随着无线接入设备的大量增加,移动数据流量也将随之急剧增加,在 2018 年将达到整个网络流量的 60%,其中大部分数据流量来自视频内容。通信数据量这一前所未有的增长,迫使移动运营商和内容提供商开始寻找新方法来管理日益复杂的网络和稀缺的回程资源。

纵观移动通信系统演变的始终,提高通信的峰值数据如传输速率、频谱效率和降低最小延迟等一直是研究的重点。早期信号调制技术的突破、信道均衡和多重接入技术推动了第一代(1G)和第二代蜂窝网络(2G)的发展,而信道编码的进步、多输入多输出技术(MIMO)和正交频分多址接入技术(OFDMA)则是第三代蜂窝网络(3G)和第四代蜂窝网络(4G)的基石。

对于下一代移动网络,目前设想的技术目标是将网络容量提升至当前 4G 网络的 1000 倍,这个目标理论上是可以实现的。比如,同时满足以下三个条件:提供至少 10 倍于以往的蜂窝单元数目,提供至少 10 倍于以往的频谱带宽,提供至少 10 倍于以往的频谱效率,就可以得到。

即便这个三管齐下的解决方案可能会得到一个 1000 倍于以往的网络容量,但移动流量的增长不太可能会在 2020 年停止,因此,这种拘泥于资源需求型的解决方法无法提供长期的解决方案。

我们需要一种替代方案,这种方案能使移动网络系统实现长期的、可持续的发展。

与通信资源从根本上被限制了带宽和功率不同,缓存(即内存)和计算资源是充足的、经济的和可持续发展的。这些“绿色资源”的增速在过去的 50 年里遵循着摩尔定律,并且一直没有放缓的迹象。

近年来,通信领域研究人员尝试了各种各样的方法,以期利用非通信资源提升移动服务。例如,在传输多媒体内容(几乎占据了移动数据流量的 80%)方面,尝试将数据缓存在基站和移动终端上以提升服务质量。除了利用缓存来给移动用户提供个性化的服务之外,还可以通过不同移动用户内容的编码多播或其他类似的计算与逻辑处理来节省通信资源。

目前,传统的移动网络所提供的服务都是基于一种以连接为基础的假设,服务质量完全取决于网络的连接能力。为了突破这种局限性,学术界提出一种新型的网络架构,它可以替代现有的基于 IP 协议的互联网架构。这种新型网络架构有三种名称:

- (1) 以信息为中心的网络(information-centric networks, ICN);
- (2) 以内容为中心的网络(content-centric networks, CCN);
- (3) 数据命名网络(named data networking, NDN)。

本书中,我们统一用 NDN 来表示。在这种网络架构中,内容缓存成为网络的一个组成部分,它脱离基于连接的网络架构,允许无线网络通过网内缓存和内容命名技术对用户进行无主机的内容分发服务,以便在整个网络中使用缓存资源。

在网络边缘,为满足随时随地的接入和计算要求,下一代移动通信网络系统(5G)将实现 small cell(也称为小基站,相对于 5G 超密蜂窝网中的 macrocell——宏基站)的超密集部署。small cell 的超密集部署可以增加空间的复用,进而提高频谱效率;也可在一定程度上增加网络的吞吐量。然而实际上,这些 SBS(small base station)通过有限容量的回程链路连接到宏 BS(base station)。当来自终端用户的大量数据请求通过 SBS 和回程链路到达宏基站时,会导致服务质量下降。

为了克服 5G 网络中回程链路容量的瓶颈问题,研究者们通过对移动流量的观察发现,大多数的流量请求都是来源于高质量的多媒体视频流应用,即人们对内容的请求存在很大的重复性,比如流行的视频内容经常被重复请求。不同于一般的数据应用请求,这些以内容为中心的请求可以进行缓存,比如在 small cell 或移动设备上内容进行缓存,可以使用户从 small cell 或其他移动设备上获得请求的内容,从而减少回程链路负载,而且有利于减少任务请求延时和通信能量的消耗。

移动边缘缓存能使用户从 small cell 或其他设备处获得请求的内容,实现了内容的本地可用,而不需要通过移动核心网和有线网络从内容服务提供商获取内容,从而减少无线需求容量和可用容量之间的不平衡,缓解了 5G 网络的回传瓶颈,提高延时保障,降低网络能耗。

与缓存资源一样,移动通信系统中计算资源的作用也逐渐显现。

近年来,云计算(cloud computing)逐渐成为广泛认可的计算基础设施,在虚拟化的基础上,云计算可以在数据中心同时运行多个操作系统和应用,并且保证了多个操作系统和应用的隔离,从而保护在云端运行的程序和数据。因此,可以将终端计算密集型任务卸载到云端,利用云端丰富的资源和计算能力,来提高终端计算的速度。而移动云计算(mobile cloud computing)指的是通过移动网络的云计算。当然,移动云计算也需要克服很多相关的实际挑战,如性能、环境和安全等问题。然而,由于计算任务在端到端的传输过程中存在大量延时,并且频谱资源是有限的,这就导致了无线接入网络吞吐量的不足,所以移动云计算服务在部署和维护方面变得越发困难。于是,研究者提出将一些计算资源部署在离用户较近的位置,如基站附近,此时用户可以直接通过无线信道进行计算任务的卸载(称为移动边缘云计算,即 mobile edge-cloud computing),或直接利用移动终端日益增强的计算能力,基于设备到设备通信(device-to-device communication)来完成计算任务的卸载(称为移动边缘计算 mobile edge computing,或移动微云 mobile cloudlets),此模式能够显著地减少计算的延时和能耗。

基于远端云的任务卸载:传统的云计算,如 Clone-cloud,ThinkAir 等为移动云计算

的实现提出了可行方案。移动用户可以将计算密集型任务卸载到云端,在云端完成计算任务,然后将结果返回给移动用户。移动用户可以通过两种方式将计算任务卸载到云端:一种是通过 WiFi 的方式;另一种是在 WiFi 不可用时,通过蜂窝网络(比如 3G/4G/5G 网络)的方式。移动用户应该根据实时的通信状态选择通过何种方式将计算任务卸载到云端。比如根据实时带宽给出终端能耗最小的计算卸载策略;也有学者提出环境感知的计算任务卸载策略,即根据实时通信状态来决定是否卸载。

基于边缘云的任务卸载:边缘云可以分为两个部分,即 small cell 云和宏小区云,前者由部署在 small cell 上的计算资源构成,后者由部署在宏基站上的计算资源构成。small cell 云受其硬件条件的制约,计算资源有限,所以能够提供的计算服务有限。但由于 small cell 云离移动终端较近,用户可以直接通过无线信道与 small cell 云相连,所以其延时较短。宏小区云也提供一定的计算服务和保证较短的计算延时,但其计算资源仍然是有限的。对于具体的用户计算卸载策略,部分论文研究了多用户在边缘云上的计算任务卸载策略,利用纳什均衡原理给出了一种有效的、多用户在边缘云上卸载的方案,能够使得计算的延时和能耗较小。也有学者给出了在用户移动性环境下,如何在宏基站云和微基站云上进行计算任务卸载的方案,能够使得延时最短。

基于移动微云的任务卸载:微云(cloudlet)的概念由 Satyanarayanan 等人首次提出,Miettinen 等人做了进一步研究,指出微云是一种将服务器放在网络边缘的全新架构。微云一般放置在人群密集的公共或商业场所(比如机场、火车站和咖啡馆等),能够为移动设备提供较为丰富的计算资源。微云计算也称为边缘计算。但是部署和维护微云仍然是十分昂贵的,而且微云也不能解决用户移动性的问题。不过,随着移动设备存储和计算能力的发展,有工作人员提出移动微云的概念,给出了移动微云大小和寿命的定义,并解决了移动微云在什么条件下能够提供移动应用服务的问题。基于移动微云,一些研究提出了机会主义微云卸载机制,并给出基于机会主义的移动微云卸载方案,运用这个方案能够在规定时间内完成计算任务,同时系统消耗能效最优。

总之,在移动通信系统中,缓存和计算资源的加入将大大提高网络的业务处理能力,是实现下一代网络 1000 倍容量增长的可行方案。

1.2 边缘缓存与计算的移动性

用户的移动性是边缘缓存和计算的一个重要特征。只有当任务节点和服务节点在通信范围内时,任务才能够进行卸载。但是由于用户的移动性导致网络具有动态性,可能发生任务节点和服务节点之间的连接断开,从而导致任务卸载的失败。

这里我们从空间和时间两个角度简要地介绍现有工作对用户移动性的描述。空间角度指的是与用户移动模型相关的物理位置信息,时间角度指的是与用户移动模型相关的时间信息。

空间角度:用户的移动轨迹(即用户的移动路线)可以对用户移动性进行细粒度的描述。通过用户的移动轨迹,可以得到用户与 small cell、宏基站之间的距离。随机航点移动模型也可以对用户轨迹进行描述。模型描述了用户在服务小区之间的切换,即用户从一个小区移动到另一个小区,可以得到用户在服务基站的信息,也可以描述用户的移动性。这种描述和用户轨迹相比,由于不能具体到用户在每一个小区的移动轨迹,

因此服务小区切换含有较少的细粒度信息。但用户在服务小区的切换过程可以用马尔可夫链模型来描述,其中,马尔可夫链模型中的状态数目等于基站数目,转移概率等于一个用户从一个基站移动到另一个基站的概率。此外还有研究发现,用户移动模型很大程度上取决于用户之间的社会关系。

时间角度:两个移动用户通信的频率和持续时间可以描述用户的移动性。根据已有的工作,任意一对用户的通信频率和通信时间可以使用接触时间(contact time)和接触间隔时间(inter-contact time)来表示。其中接触时间定义为一对移动用户在彼此的传输范围内的持续时间,接触间隔时间定义为两次接触时间之间的间隔时间。研究表明,用户的接触时间和接触间隔时间服从指数分布。用户在小区内的停留时间也可以描述用户的移动性。小区停留时间是指用户在特定基站的服务时间,这可能会影响用户从此基站接收到的数据量。此外,用户的返回时间也可以描述用户的移动性,用户的返回时间指的是任意用户返回到先前访问区域的时间间隔,它反映了用户移动的周期特性和用户重新访问特定区域的频率。通过研究返回时间的分布,并计算出返回时间的峰值,从时间的角度可以刻画出用户在 small cell 的移动情况或 D2D 网络中的用户移动性。

基于以上两个对用户移动性的观测,逐渐开始有一些工作研究用户移动性对基站缓存的影响,比如有学者利用马尔科夫链模型建立用户在 small cell 之间的移动性模型,并基于此模型给出在 small cell 上的缓存部署策略,以最小化宏基站上的流量消耗。我们将在本书第 4 章详细讨论移动性缓存策略。

1.3 缓存,计算与通信的联系

通信-缓存:内容缓存技术被广泛应用于内容分发网络(CDN)中,在 CDN 中内容被存储在不同的网络位置以提升内容提供者的服务质量(QoS)。在未来的 5G 网络中,边缘缓存将能使用户从基站或其他设备处获得请求的内容,实现内容本地可用,而不需要通过移动核心网和有线网络从内容服务提供商获取内容,降低了回程链路负载,节约了频谱资源,可有效缓解通信瓶颈问题。

通信-计算:用户可以通过消耗通信资源将终端计算密集型任务卸载到云端(包括远端云、边缘云和微云),利用云端丰富的资源和计算能力,来提高终端计算的速度。反过来,云化的计算资源也有助于提高通信效率,比如通过中央云进行基带处理,从而提高干扰管理能力。

计算-缓存:在大多数情况下,缓存功能和与之相匹配的处理能力的结合往往是相当有效的,所以计算与缓存密不可分,其本质都是 5G 网络中虚拟的可用资源。缓存和计算卸载必然有其相关性。比如,内容常常在非高峰时间缓存到 MBS、SBS 或者用户终端,而在高峰时间通过上述设备分发到用户,以节省带宽资源。计算卸载也是类似的,比如,当某用户请求流行视频时,SBS 或其他用户设备将传输相关内容到该用户,但有可能该用户发现视频清晰度或者格式不满足,这时用户就需要对视频进行重编码,而这样的计算任务则会被卸载到 SBS 等设备上。当然,缓存和计算卸载也有许多不同的地方,比如缓存内容往往服务于很多人,而卸载计算可认为服务于单一个体。具体的差异如表 1.3.1 所示。

表 1.3.1 缓存与计算卸载的比较

缓 存	计 算 卸 载
无用户反馈,单向缓存与内容获取	计算结果需要反馈给用户
缓存内容流行度通常较高	缓存计算结果的流行度可认为是零,即往往只服务于某个特定用户
共享存储容量相对较大	存储计算结果的空间相对较小

1.4 移动缓存与计算的应用

移动边缘缓存使得用户能从 small cell 或其他设备处获得请求的内容,实现了内容的本地可用,将一部分流量从核心网服务器卸载到本地,缓解了 5G 网络回程瓶颈。同样,边缘计算通过将小型服务器部署在云端和用户之间,有助于从云和服务器上卸载一部分负载,并缓解由用户设备计算能力有限带来的限制问题。边缘缓存与计算的出现和发展将催生大量新兴的内容密集或计算密集同时要求低延迟的应用服务,这些服务将涵盖多个行业的方方面面,如娱乐、医疗、工业和交通等。

多年来,视频流媒体服务在移动流量负荷中一直占据主导地位,但是不同视频点击率差距悬殊,导致其流量负荷实际冗余。特别要指出的是,视频缓冲是服务质量和用户体验质量中最重要的因素。调查显示,缓冲每增加 1% 会导致用户平均参与度减少 3 min。一旦用户遇到启动失败,只有 54% 的可能性进行重新缓冲。通过把视频分段再缓存,可以把前几秒和必要的视频副本缓存在优先的位置(如非常接近用户的基站),同时为后续视频保留有效的路由路径,这将大大提高用户体验质量。

娱乐行业:移动游戏产业将成为当前娱乐市场最有利润前景的产业。移动游戏应用商店(市场)可以与移动网络运营商合作,在必要的地点(如大学宿舍、公寓和餐厅等)提供缓存游戏客户端。所有的客户端部分内容(包括三维模型、地图、纹理、场景的视频等)可存储下来供玩家尤其是组队玩同款游戏的玩家重复使用。“点击即玩”的理念也可以通过缓存来实现,客户无需下载游戏客户端(只需下载小到可忽略的初始部分),这样下载游戏后可以一边玩,一边继续从高速缓存区下载客户端资源。

健康领域:健康监护行业也在悄然发生变化。形形色色的可穿戴设备将全天候地追踪个人的健康指标、锻炼情况和睡眠质量,等等。这些设备采集到的被监护人健康数据将上传到边缘云进行数据管理和数据挖掘计算,能够及时发现异常数据并及时处理,以避免紧急情况的发生,或者在紧急情况下为医院和医生提供被监护人最新最可靠的信息。

交通领域:车联网逐渐兴起。车辆与路边单元、基站以及其他车辆互联,进行信息的传递和共享。车辆携带信息采集装置、缓存和计算设备,车辆可以对采集到的信息进行边缘缓存以共享给其他车辆,诸如路况、停车情况等信息,以帮助其他车辆进行路径选择、泊车,等等;或者对采集到的信息进行边缘计算,以达到某种决策。比如,自动驾驶汽车可以采集大量数据,并与邻近汽车共享,通过边缘计算确保信息的快速处理和传输,以提醒其他车辆,从而避免车祸发生。

除此之外,工业环境参数监测、处理和自动调节,工业设备的远程健康监控等都是

边缘缓存与计算的应用场景。

图 1.4.1 对边缘缓存与计算的应用场景进行了总结,它向我们充分展示了边缘缓存与计算的广阔应用空间。

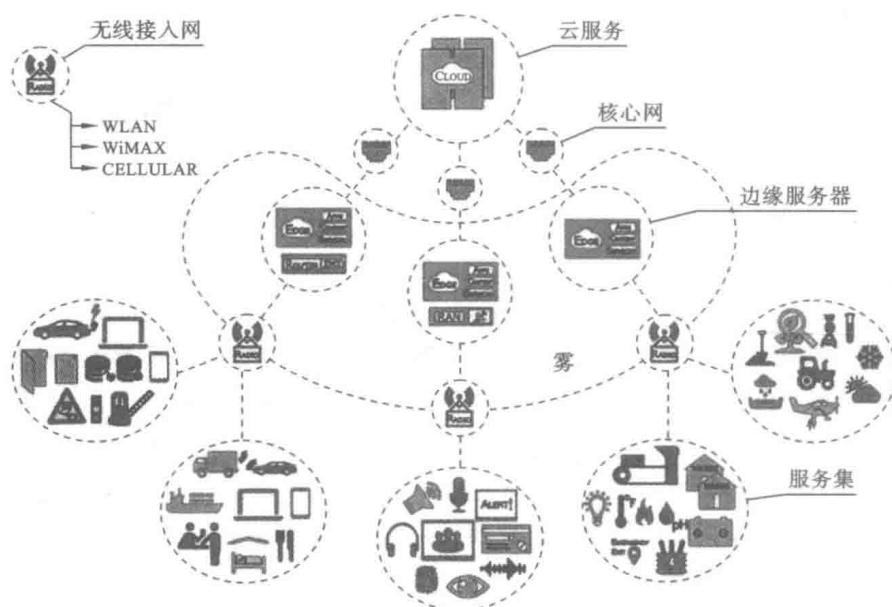


图 1.4.1 边缘缓存与计算的应用架构与应用场景

未来网络中缓存架构的演进： 从核心网到 5G 超密蜂窝网

2.1 数据命名网络架构

2.1.1 数据命名网络简介

数据命名网络(NDN)的概念首先由 V. Jacobson 于 2009 年在施乐公司的帕洛阿托研究中心(PARC)提出,是美国国家科学基金会(NSF)资助的未来互联网体系结构的四个项目之一。在此之前,加州大学伯克利分校的 Scott Shenker 教授等提出了 DONA 体系结构的概念,NDN 是在此基础上提出的。NDN 项目最初使用内容中心网络(CCN)的代码,2013 年又发布了新的基于 NSF 需求的版本。所以 CCN 和 NDN 是指的同一个概念。

NDN 概念提出之前,研究人员提出了内容分发网络(content distribute network, CDN)和对等网络(peer to peer, P2P)技术,这两种技术提高了现有互联网的内容分发能力。这种技术路线具有较好的可操作性,能够在短时间内取得收益,减少延时和抖动,提高网络的性能。但是 CDN 只是局部应用,存在大量冗余数据传输和网络资源利用率不高的问题。内容缓存没有集成到全局网络中,边缘服务器中存储大量数据,只减少了 P2P 之间的流量,并没有减少主干网的流量,无法从根本上解决流量激增带来的互联网可扩展问题。

P2P 过于强调“对等”,每个节点之间的交换完全是无序的。一个北京的用户,既可能和广州的用户进行文件片段的交换,也可能和远在美国的某用户进行交换。显然,无序的交换导致了无谓的跨地区甚至是跨国的“流量旅行”,这耗费了宝贵的国内和国际带宽资源,代价巨大,因此又产生了 P4P 技术。P4P 全称是 Proactive network Provider Participation for P2P(电信运营商主动参与 P2P 网络),与 P2P 随机挑选 Peer(对等机)不同,P4P 协议可以协调网络拓扑数据,能够有效选择节点,从而提高网络路由效率。

P4P 方案有助于消除 P2P 覆盖网络与实际网络拓扑之间的失配,它的核心原则是在现有网络体系结构的基础上增加新的设备。基于用户数据请求特征,实现数据感知

与资源调度,并且依赖于运营商与服务提供商之间的协助。正是由于上述问题,人们期望从体系结构本身来解决流量增加问题,NDN 是目前解决流量扩展性问题的革命性体系结构。

NDN 在网络中用对数据命名代替了对物理实体的命名,网络中增加存储功能,用来缓存经过的数据包,用以加快其他用户访问缓存数据包响应时间,可减少网络中的流量,如图 2.1.1 所示。

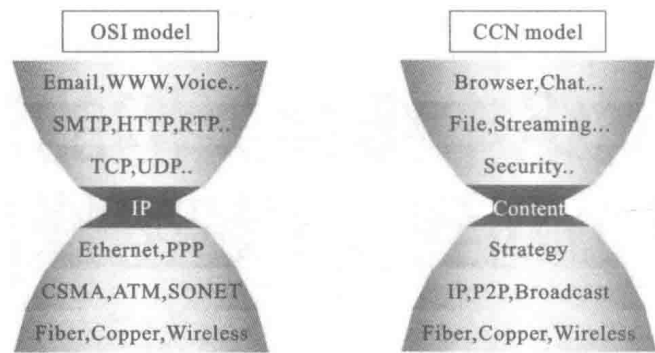


图 2.1.1 NDN 和 OSI 网络模型对比

在对 IP 网络发展和关键技术的深刻理解上,PARC 的 V. Jacobson 和 UCLA 的 Lixia Zhang 等人提出设计 NDN 的 6 个原则,其中沙漏架构、端到端、路由和转发平面分离这三个原则与现有 IP 网络相同。

(1) 沙漏架构原则:NDN 体系结构的外形和 TCP/IP 网络非常相似,细腰部分为内容块,原来的 IP 层下移,IP 不再作为关键的细腰部分出现。

(2) 端到端原则:该原则在网络故障时可以维持应用运行的鲁棒性,因此,NDN 继承并扩展了该原则。

(3) 路由和转发平面分离原则:该原则保证了在路由系统实时更新时不影响转发功能,NDN 延续了此设计原则,使得在保证最好的转发技术的同时,可以实施新的路由机制。

(4) 安全原则:当今互联网的设计是没有考虑安全的,所有安全都是事后增加的。这种修补式的安全,对互联网造成很大的负面影响。NDN 通过为所有命名数据签名的方式,在细腰层构建了基本的安全模块,使安全成为架构的一部分。

(5) 自动调节网络流原则:IP 提供的是开环数据分发(即只负责数据的分发,对数据是否到达以及数据在传输过程中遇到的问题没有反馈调节),于是传输层协议就承担了单播的流量均衡任务,而 NDN 将流量均衡与流量控制集成到沙漏的细腰中。

(6) 架构中立原则:该原则使用户能够相互竞争。

2.1.2 数据命名网络中的内容命名

NDN 采取分层式的命名结构,一个 NDN 的名字类似于一个 URI,图 2.1.2 所示的为一个 NDN 命名分层树结构,如 EPIC-lab/Healthcare/Experiment/Database.doc,其中“/”表示命名不同的层次组件的分界。这种分层式的命名结构有利于体现不同数据块之间的关系,同时也可以更好地实现命名聚合。为了检索动态生成的数据,请求者与内容的发布者的数据命名规范是一致的,使请求者可以根据命名正确找到数据。

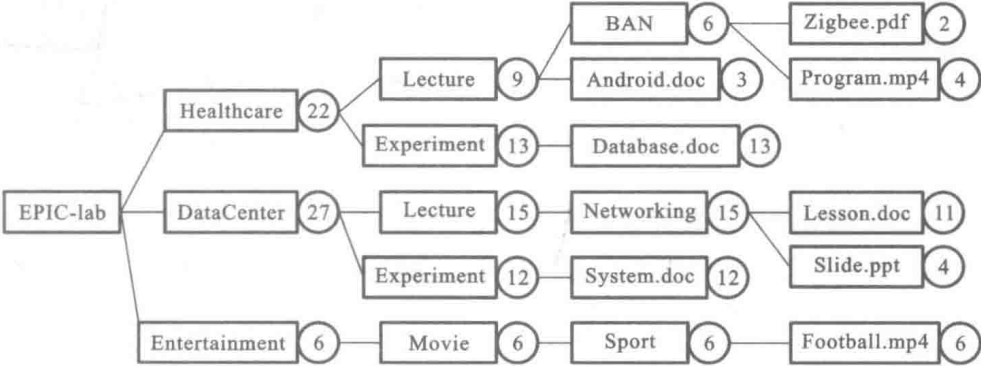


图 2.1.2 NDN 内容分层命名

2.1.3 数据命名网络基本流程

NDN 网络的通信是由接收端(即内容的请求者)驱动的。内容请求者以向网络中发送兴趣包(interest packet, intpk)的方式请求内容,兴趣包包含有所需内容的命名。路由器记录收到兴趣包的接口,并且通过查找转发信息库(forwarding information base, FIB)转发兴趣包。在 NDN 架构中,一个 NDN 节点的基本操作类似于一个 IP 节点。NDN 节点基于平面(face)接收和发送包。NDN 中,典型来说有两种类型的包,分别是兴趣包(intpk)和数据包(datapk)。NDN 节点接收兴趣包,如果无匹配的内容包,将其转发到其他平面(face),转发过程中,兴趣包的路径将被记录,当兴趣包到达存有请求内容的 NDN 节点后,该节点将发送数据包到前一个路由器。然后依照转发路径,将数据包发送到最原始请求的节点,如图 2.1.3 所示。兴趣包(intpk)和数据包(datapk)的包格式如图 2.1.4 所示。



图 2.1.3 NDN 基本流程

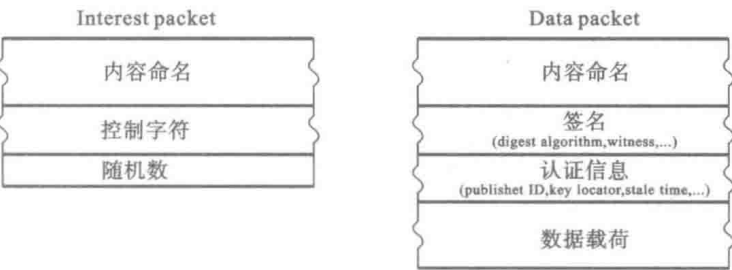


图 2.1.4 NDN 包格式

- 一般来说,NDN 节点包括两个数据表和一个缓存(cache),分别是:
- (1) 转发信息库(forwarding information base, FIB),用来存储转发的服务器列表;
 - (2) 未匹配兴趣库(pending interest table, PIT),用来存储未匹配的兴趣包;

(3) 内容缓存(content store,CS)。

当 NDN 节点接收到兴趣包后,查找的顺序依次为 CS、PIT 和 FIB。首先查找内容缓存(CS),如果有匹配的内容,则向对方发送数据包;否则,它将搜索 PIT 库。如果 PIT 库中已经有此条内容,它为 PIT 添加一个源需求项;如果 PIT 库无此内容,则为 PIT 库新添加一条记录。接下来 NDN 节点将根据 FIB 库中记录的服务器列表转发兴趣包,直到最后在某个服务器找到需要的数据包,如图 2.1.5(a)所示。

当数据包顺着发送路径返回时,首先查看 PIT 是否还有此需求,如果没有则将包丢弃,否则 NDN 节点将数据包保存到缓存中,如图 2.1.5(b)所示。内容在路由器中保存的时间有一定期限,过期数据将被清除出缓存。当缓存内容存储满之后,它按照一定的替换策略替换掉旧的内容。常用的替换策略有近期最少使用(least recently used, LRU)、最不经常使用(least frequently used,LFU)和先进先出(first in first out,FIFO)三种算法。

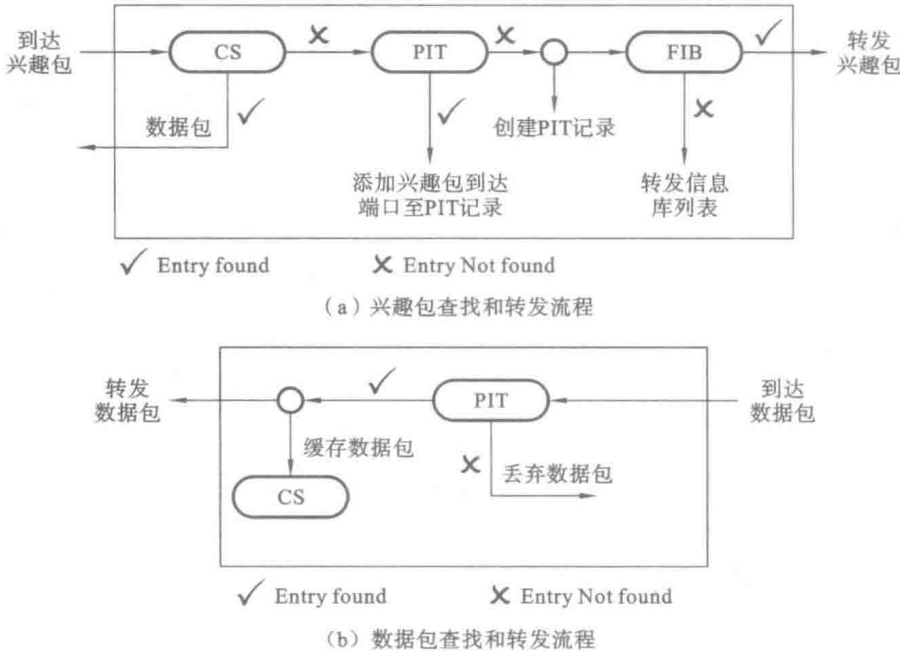


图 2.1.5 典型的 NDN 流程

为了提供高可靠性的内容分发,NDN 设计了在一定时间内未被满足的兴趣包会由请求者重发的机制。NDN 通过逐跳的兴趣包转发管理控制链路上的流量负载,当路由器某个端口到达的流量超过负载上限时,它便减慢或停止向该端口发送兴趣包。这意味着 NDN 消除了终端主机在传输层对拥塞控制的依赖。一旦拥塞发生,重传也将在刚丢失包的节点结束,因为刚丢失包的节点已经缓存了该数据。

2.2 5G 超密蜂窝网

在热点和室内区域,超密集无线网络常常作为蜂窝网络的一种补充,为了满足未来十年的 1000 倍的无线通信量增长,下一代网络提出整体超密蜂窝网络构想。

在第三代(3G)蜂窝网络中,宏蜂窝基站(MBS)的致密化旨在提高局部地区的传输