

面向 5G 的 MEC 系统关键技术

Key Technologies of 5G Oriented Mobile Edge Computing System

宋晓诗/SONG Xiaoshi¹
闫岩/YAN Yan¹
王梦源/WANG Mengyuan²

(1. 东北大学, 辽宁 沈阳 110001;
2. 航天恒星科技有限公司, 北京 100080)
(1. Northeastern University, Shenyang
110001, China;
2. Space Star Technology Co., Ltd., Beijing
100080, China)

移动边缘计算(MEC)技术的概念最早提出于 2009 年卡内基梅隆大学所研发的 cloudlet 计算平台^[1]。2014 年, 欧洲电信标准协会(ETSI)正式定义了 MEC 的基本概念并成立了 MEC 规范工作组, 开始启动相关标准化工作^[2]。2016 年, ETSI 将此概念扩展为多接入边缘计算, 并将移动蜂窝网络中的边缘计算应用推广至其他无线接入网络(如 Wi-Fi)。在 ETSI 的推动下, 包括第 3 代合作伙伴(3GPP)及中国通信标准化协会(CCSA)在内的其他国际及中国标准化组织也相继启动了相关工作。目前, MEC 已经发展演进为 5G 移动通信系统的重要技术之一。

随着 MEC 的不断发展成熟, 全球各大电信运营商及设备商均加快了 MEC 系统的研发和部署进程^[3]。其中, 在国际上, 沃达丰、AT&T、Verizon 等运营商及诺基亚、高通等设备商已经开始部署商用 MEC 系统和解决方

收稿日期: 2017-12-10
网络出版日期: 2018-01-10
基金项目: 国家自然科学基金(61701102、61671141); 中央高校基本科研业务费专项资金(N150403001)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868(2018)01-0021-005

摘要: 移动边缘计算(MEC)是未来 5G 移动通信系统提升服务应用能力的重要技术手段之一。通过在无线接入网络的边缘节点处部署具备计算、存储和通信能力的服务应用平台, MEC 能够有效处理终端用户的高时效性业务需求, 大幅度缩短端到端时延, 并解决核心网络的数据流量瓶颈等相关问题。

关键词: 5G; MEC; 无线缓存; 基于软件定义网络(SDN)的本地分流技术

Abstract: Mobile edge computing (MEC) is envisioned as one of the most important techniques for 5G mobile communication systems in the future. By deploying a generic computing platform with computing, storage, and communication capabilities across the wireless edges, MEC can effectively meet the high timeliness service requirements of end users, greatly shorten the end-to-end delay, and solve the related problems of data traffic bottleneck in core network.

Keywords: 5G; MEC; wireless content caching; software defined network(SDN)-based traffic offloading

案, 面向物联网、车联网等行业应用, 提供低时延、高速率、大容量的网络服务; 在中国, 中国移动、中国电信和中国联通等运营商也在积极联合中兴通讯等公司开展 MEC 试验网络的验证测试。

综上所述, 通过在无线网络侧增加具备计算、存储、网络资源管理等功能的边缘节点, MEC 能够将无线网络、数据缓存和云计算技术有机地融合在一起, 并因此可以有效推动 5G 移动通信系统在车联网、物联网、无人机网络和智慧城市等领域的应用和发展。

1 MEC 概述

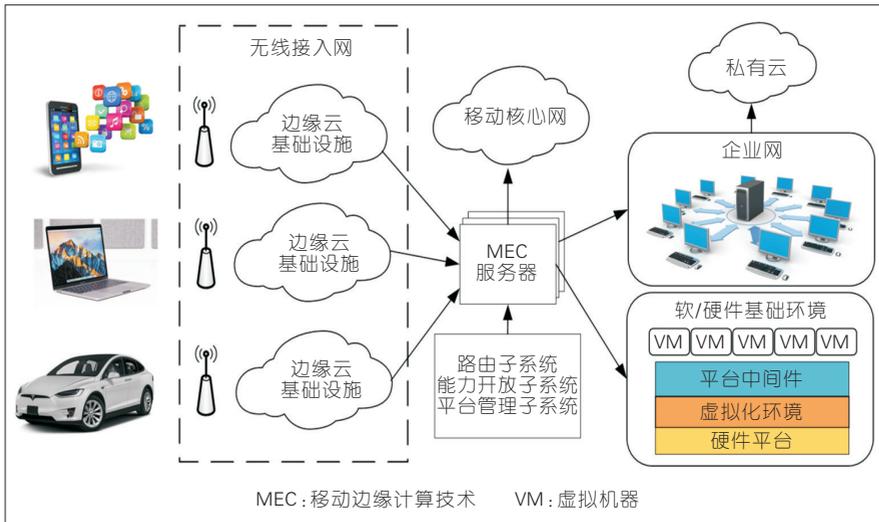
MEC 的基本思想是把云计算平台从移动核心网络内部迁移到移动接入网边缘, 通过部署具备计算、存储、通信等功能的边缘节点, 使传统无线接入网具备业务本地化条件, 进

一步为终端用户提供更高带宽、更低时延的数据服务, 并大幅度减少核心网的网络负荷, 同时降低数据业务对网络回传的带宽要求。

1.1 MEC 的整体架构

ETSI 在文献[4]中定义的 MEC 系统的整体架构如图 1 所示, 其中 MEC 服务器是整个系统的核心, 覆盖移动终端的 MEC 系统由一个或多个 MEC 服务器组成。通过将 MEC 服务器部署于无线接入网与核心网之间, MEC 系统将能够在无线网络侧(网络的近端)为终端用户提供更高效率、更低时延的计算、存储和通信服务, 并因此能够提升终端用户的服务质量(QoS)体验。

由图 1 可以看出: MEC 服务器包括路由子系统、能力开放子系统、平台管理子系统以及边缘云基础设施等 4 个基本组件。通过上述基本组



▲图1 MEC系统整体架构示意图

件, MEC系统能够与无线接入网、移动核心网、企业网及软/硬件基础环境进行业务融合和动态交互。

1.2 MEC的基本功能组件

在MEC服务器所包含的4个基本功能组件中, 路由器系统、能力开放子系统和平台管理子系统均部署在MEC服务器内部, 而边缘云基础设施则由部署在网络边缘的小型或微型数据中心构成。MEC服务器的4个基本功能组件在MEC系统中的作用与相互关系如图2所示。

(1) 路由器系统

路由器系统为MEC系统、无线接入系统和核心网络系统之间提供数据转发的功能。当移送设备请求数据时, 若MEC系统存储设备中有目标数据, 则通过路由器系统将数据下发给用户; 若MEC系统中没有目标数据, 则通过路由器系统将用户的请求数据包经移动核心网发送至第三方服务器或云数据中心。此外, 路由器系统还可以在MEC服务器之间发送数据以支持设备的移动性。典型的路由转发案例如图3所示。

(2) 能力开放子系统

能力开放子系统的主要功能是通过向路由器系统提供网络及用户的实时动态信息, 以及向平台管理子

系统上报能力开放注册信息以及能力调用统计信息, 实现路由转发策略的制定和业务数据的管控。同时, 能力开放子系统可以通过分析用户的业务数据实现网络业务处理、网络资源分配、监测终端能力等特定功能的部署。

(3) 平台管理子系统

平台管理子系统的主要作用是对移动网络数据平面进行控制, 对来自能力开放子系统的能力调用请求进行管控, 对边缘云内的IT基础设施进行虚拟化资源管理, 以及对相关计费信息进行统计上报。

(4) 边缘云基础设施

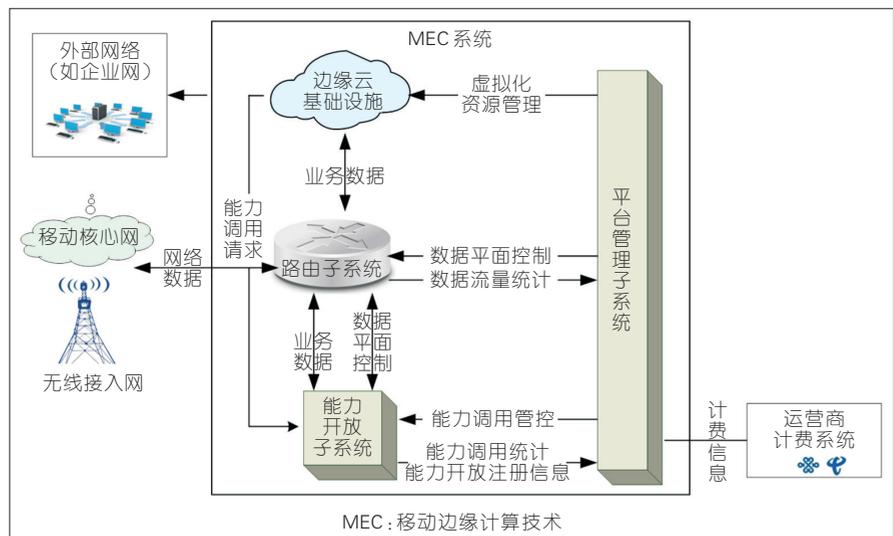
边缘云基础设施的主要作用是通过为终端用户提供由小型化硬件平台构建的计算、存储及网络通信等资源的物理资源池, 实现MEC系统的本地化数据业务处理, 提升网络的QoS体验。

2 MEC系统的关键技术

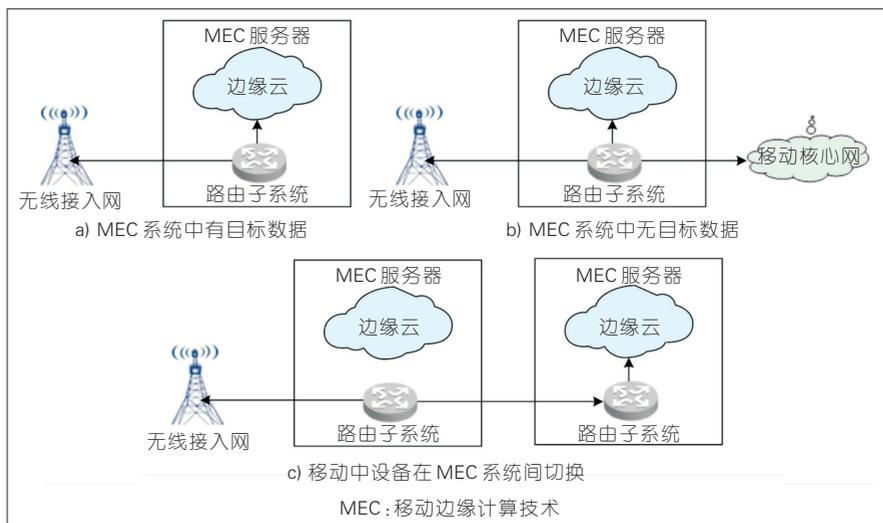
MEC系统的关键技术主要包括计算卸载技术、无线数据缓存技术和基于软件定义网络(SDN)的本地分流技术等。上述关键技术是MEC系统实现计算处理实时化、数据处理本地化以及信息交互高效化的前提和基础。

2.1 计算卸载技术

计算卸载技术^[9]是MEC系统实现终端业务实时化处理的重要手段。计算卸载是指将部分计算功能由移动设备迁移到MEC服务器执行, 其主要过程包括卸载决策、卸载执行、结果回传等3部分。其中, 卸载决策是指某项计算任务应该如何进行高效卸载, 是计算卸载的理论基础; 卸载执行是如何将计算能力在MEC服务器和终端进行划分, 是计算卸载的核心; 结果回传是将计算任务处理结果下发给终端用户, 是计算卸载最终



▲图2 MEC系统功能结构示意图



▲ 图3 路由器系统转发数据案例

实现并完成的关键。利用计算卸载技术,通过将业务计算及时卸载到移动边缘计算服务器进行计算处理,能够有效扩展移动设备的即时计算能力,降低计算延迟,并提高移动终端的电池寿命。因此,高效的计算卸载策略在边缘计算技术中扮演着不可缺少的角色。

计算卸载的基本设计原理为:当终端发起计算卸载请求时,终端上的资源监测器检测 MEC 系统的资源信息,整理出可用的 MEC 服务器网络的资源情况(包括服务器运算能力、负载情况、通信花销等);根据上述接收到的服务器网络信息,终端内部的计算卸载决策引擎决定哪些任务为本地执行,哪些为边缘计算节点执行;最后,根据计算卸载决策引擎的决策指示,分割模块将任务分割成可以在不同设备独立执行的子任务。其中,本地执行部分由终端在本地进行,边缘计算节点执行部分经转化后卸载到 MEC 服务器进行运算处理。

计算卸载根据业务计算强度可划分为二元卸载和部分卸载^[6]。其中,二元卸载主要针对高密度且小规模的计算任务。通过二元卸载,终端的计算任务被整体迁移到 MEC 服务器进行计算处理。部分卸载主要针对大规模的计算任务。通过部分卸

载,终端的计算任务由分割模块分为多个子任务,分别卸载到多个 MEC 服务器执行计算。最简单的部分卸载任务模型是数据分区模型^[7]。在数据分区模型中,终端用户的计算任务可以被划分成多个相互独立的子任务,并根据计算卸载决策指示在移动设备及一个或多个 MEC 服务器中并行执行。需要指出的是:在部分卸载过程中,不同子任务之间可能存在一定的依赖关系,例如:子任务 A 的输出为子任务 B 的执行前提。因此,被划分后的多个子任务存在无法同时执行的情况。针对上述问题,可将任务的执行过程划分为 n 个时隙^[8],根据子任务之间的依赖关系,将能够并

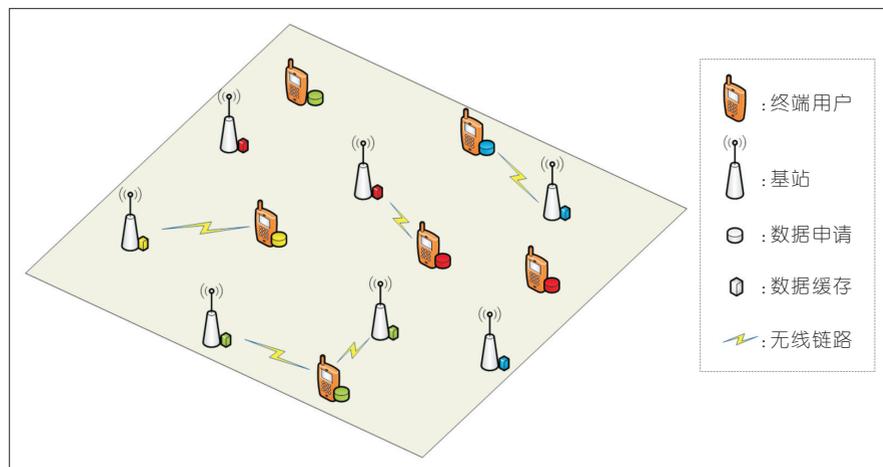
行执行的子任务在同一时隙卸载到多个 MEC 服务器进行并行运算,而将不能并行执行的子任务按照其优先级顺序分配至不同时隙依次执行。

通过上述讨论可以看出:计算卸载技术的应用,能够有效地降低计算任务的时延,扩展移动设备的计算能力,并减少移动设备的能量消耗,延长移动设备电池的寿命。因此,探寻高效的计算卸载策略是 MEC 系统等相关研究的重点。在已有的工作中,文献[9]提出了用李雅谱诺夫函数解决此类最优性问题。文献[10]提出将寻找最优 MEC 系统的问题看成解决多臂赌博机问题,其中采用了上置信算法和 ϵ -greedy 算法解决寻找最优卸载策略。

2.2 无线数据缓存技术

无线数据缓存技术^[11]是实现 MEC 数据业务本地化的主要途径。无线数据缓存技术的基本原理是将相关热点数据提前缓存在 MEC 服务器的边缘存储节点上,使得终端用户在单跳距离范围内即可以获得所需要的数据。MEC 系统的无线数据缓存示意如图 4 所示。

内容缓存策略和内容传输策略是无线数据缓存技术需要解决的两个重要问题。其中,内容缓存策略是指网络边缘节点对于热点数据的选取和缓存机制,内容传输策略是指网



▲ 图4 基于微小基站的 MEC 无线数据缓存模型

络边缘节点将其缓存的热点数据分发给申请用户的传输机制。两个问题相互影响,相互耦合。在已有的相关研究中,文献[12-13]对微小基站端的内容缓存策略和内容传输策略进行了研究,并指出无线数据缓存技术能够有效减少海量数据在核心网内的冗余重复传输,降低传输时延。需要指出的是:虽然微小基站端的无线数据缓存技术能够将网络的业务负载从核心网内卸载至网络的边缘节点处,并以此减轻承载网的链路阻塞;但在内容传输阶段,数据业务的发送仍然需要大量占用接入网的基带资源和射频资源,无线网络的整体性能因此无法获得进一步突破。

为了解决上述问题,文献[14-15]考虑了位于用户终端处的无线数据缓存技术,以解决微小基站端无线数据缓存技术的技术瓶颈,并通过探索设备到设备(D2D)通信机制下的内容缓存策略和内容传输策略,实现基站端基带资源与射频资源的释放,进一步提升移动通信网络的传输性能。其中,文献[14]研究了基于速率门限的D2D内容传输策略,通过选取具有高传输速率的D2D数据链路进行数据传输,最大化D2D网络的数据承载概率,并在该策略下对最优内容缓存策略进行了求解。文献[15]考虑了基于载波侦听接入机制的D2D内容传输策略,通过为可能冲突的终端用户设定随机退避时间,减少D2D传输链路间的相互干扰,并在此基础上对最优的内容缓存策略进行了求解。

2.3 基于SDN的本地分流技术

基于SDN的本地分流技术是MEC系统实现网络信息交互高效化的有效措施^[16]。基于SDN的本地分流技术的核心思想为:首先,SDN控制器从本地或者从策略服务器获取预先设置的分流策略;其次,SDN控制器根据数据流描述信息和分流策略,生成分流规则流表;最后,分流网关根据分流规则流表将相应的数据

流进行最终分流。相比于传统的本地分流技术,基于SDN的本地分流技术能够根据终端用户的实际需求和MEC系统的资源部署情况有效实现数据业务的本地化处理,缩短网络对终端用户的响应时间,保证终端用户数据业务需求的连续性,并大幅度降低核心网的数据流量压力,提升终端用户的服务体验。

基于SDN的本地分流技术的优势之一是能够快速适应由终端用户的移动性引起的网络拓扑的变化,有效保证终端用户的业务连续性。具体来说:在MEC系统中,当终端用户的位置发生变化时,基于SDN的本地分流技术能够根据感知到的网络接入点的改变重新生成路由转发策略,并将其以流表的形式下发至交换机。由于基于流表的转发机制实时性强且配置灵活,基于SDN的本地分流技术能够有效处理由终端用户位置变化引起的网络接入点的切换,从而保障终端用户的服务体验。

综上所述:在MEC的场景下,MEC服务器通过感知计算、缓存和网络的实时状况,利用SDN实现了网络资源的有效分配,以及数据业务的高效调度与分发。因此,基于SDN的本地分流技术是MEC业务本地化未来发展的重要趋势。

3 MEC系统面临的挑战

MEC通过在无线接入网内提供云化的计算、存储、通信服务能力,实现了近距离、超低时延、高带宽以及实时访问无线网络信息的服务环境,并实现了网络从接入管道向信息化服务使能平台的跨越,是5G的关键技术之一。目前,移动边缘计算仍面临着如下研究挑战:

(1)安全性挑战。MEC的分布式架构增加了攻击向量的维度,移动边缘计算客户端越智能,越容易受到恶意软件感染和安全漏洞攻击。

(2)公平性挑战。MEC系统资源共享的公平性是影响用户服务质量

和网络整体性能的关键因素之一。如何在网络中存在大量MEC边缘计算节点和终端用户接入节点的情况下,实现基于公平性的资源优化管理和网络负载均衡,是目前相关领域的研究重点。

(3)互操作性挑战。MEC设备之间的互操作性是MEC系统大规模商用的关键。不同设备商之间需要通过制定相关的标准规范和通用的协作协议,实现异构MEC设备和系统之间的互操作。

(4)移动性管理挑战。在大连接、高速率、低时延的MEC典型应用场景中,如何有效保证终端用户的业务连续性和无缝切换是MEC系统需要解决的重要问题。

4 结束语

MEC作为5G的关键技术之一,通过将具有计算、存储、通信能力的业务平台下沉到网络边缘,为终端用户提供更近距离、更低延时、更高带宽的泛在数据业务服务。结合现有的相关研究,我们对MEC的体系架构、关键技术,以及重要应用进行了详细阐述,并同时MEC所面临的研究挑战进行了归纳和总结。可以预见:移动边缘计算必将成为5G乃至未来移动通信系统不可或缺的重要组成部分。

参考文献

- [1] SATYANARAYANAN M, BAHL P, CACERES R, et al. The Case for VM-Based Cloudlets in Mobile Computing [J]. IEEE Pervasive Computing, 2009, 8(4):14-23. DOI: 10.1109/MPRV.2009.82
- [2] PATEL M, NAUGHTON B, CHAN C, et al. Mobile-Edge Computing Introductory Technical White Paper[R]. White Paper, Mobile-edge Computing (MEC) Industry Initiative, 2014
- [3] HU YC, PATEL M, SABELLA D, et al. Mobile Edge Computing-A Key Technology Towards 5G[R]. ETSI White Paper, 2015
- [4] SATHYA A. Mobile Edge Computing: A Gateway to 5G Era[R]. Huawei Technologies White Paper, 2016
- [5] LIU J, MAO Y, ZHANG J, et al. Delay-Optimal Computation Task Scheduling for Mobile-Edge Computing Systems[C]//IEEE

- International Symposium on Information Theory. IEEE, 2016:1451–1455. DOI: 10.1109/ISIT.2016.7541539
- [6] YU Y. Mobile Edge Computing Towards 5G: Vision, Recent Progress, and Open Challenges[J]. China Communications, 2016, 13(S2):89–99. DOI: 10.1109/CC.2016.7833463
- [7] MAO Y, YOU C, ZHANG J, et al. A Survey on Mobile Edge Computing: The Communication Perspective [J]. IEEE Communications Surveys&Tutorials, 2017,13(4):2322–2358. DOI: 10.1109/COMST.2017.2745201
- [8] TEREFE M B, LEE H, HEO N, et al. Energy-Efficient Multisite Offloading Policy Using Markov Decision Process for Mobile Cloud Computing[J]. Pervasive & Mobile Computing, 2016, 27(C):75–89. DOI: 10.1016/j.pmcj.2015.10.008
- [9] LIU J, MAO Y, ZHANG J, et al. Delay-Optimal Computation Task Scheduling for Mobile-Edge Computing Systems[C]//IEEE International Symposium on Information Theory. USA:IEEE, 2016:1451–1455. DOI: 10.1109/ISIT.2016.7541539
- [10] SUN Y, ZHOU S, XU J. EMM: Energy-Aware Mobility Management for Mobile Edge Computing in Ultra Dense Networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2017, 35(11): 2637 – 2646. DOI: 10.1109/JSAC.2017.2760160
- [11] WANG X, CHEN M, TALEB T, et al. Cache in the Air: Exploiting Content Caching and Delivery Techniques for 5G Systems[J]. Communications Magazine IEEE, 2014, 52(2):131–139. DOI: 10.1109/MCOM.2014.6736753
- [12] LI J, CHEN Y, LIN Z, et al. Distributed Caching for Data Dissemination in the Downlink of Heterogeneous Networks[J]. IEEE Transactions on Communications, 2015, 63(10):3553–3568. DOI: 10.1109/TCOMM.2015.2455500
- [13] BHARATH B N, NAGANANDA K G, POOR H V. A Learning-Based Approach to Caching in Heterogenous Small Cell Networks[J]. IEEE Transactions on Communications, 2015, 64(4):1674–1686. DOI: 10.1109/TCOMM.2016.2536728
- [14] CHEN B, YANG C, XIONG Z. Optimal Caching and Scheduling for Cache-enabled D2D Communications[J]. IEEE Communications Letters, 2017, 21(5):1155–1158. DOI: 10.1109/LCOMM.2017.2652440
- [15] SONG X, GENG Y, MENG X, et al. Cache-Enabled Device to Device Networks with Contention-Based Multimedia Delivery[J]. IEEE Access, 2017, 5(99):3228–3239. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2664807
- [16] HUO R, YU F R, HUANG T, et al. Software Defined Networking, Caching, and Computing for Green Wireless Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 54(11):185–193. DOI: 10.1109/MCOM.2016.1600485CM

作者简介



宋晓诗, 东北大学计算机科学与工程学院讲师, 主要研究方向为 5G 移动通信网络。



闫岩, 东北大学在读硕士生, 主要研究方向为 5G 移动通信与移动边缘计算。



王梦源, 航天恒星科技有限公司(503所)高级工程师; 主要研究方向为卫星通信、天地一体化网络。