

基于雾计算的NB-IoT框架、 关键技术及应用

Architecture, Key Technologies and Applications of NB-IoT-Based Fog Computing

张红/ZHANG Hong¹
王玉峰/WANG Yufeng²

(1. 南京师范大学泰州学院, 江苏 泰州 225300;
2. 南京邮电大学, 江苏 南京 210003)
(1. Nanjing Normal University Taizhou College, Taizhou 225300, China;
2. Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

截至目前,蜂窝网已覆盖全球90%的人口,覆盖超过50%的地理位置^[1]。基于现有的蜂窝网络,运营商完全能够提供一个非常有竞争力的物联网技术,即窄带物联网(NB-IoT)^[2]。作为第3代合作伙伴计划(3GPP)标准化定义的、面向低功耗广域网(LPWA)的关键蜂窝网络技术,NB-IoT自身具备的低功耗、广覆盖、低成本、大容量等优势,相比Wi-Fi、蓝牙等其他物联网连接技术,还具备安全、频谱抗干扰等方面优势。NB-IoT在LPWA市场的多个技术竞争中脱颖而出,可以广泛应用于多种垂直行业,如远程抄表、资产跟踪、智能停车、智慧农业等。随着3GPP标准在2016年6月“冻结”,NB-IoT展现出了巨大市场机会,正在快速发展之中,标准、芯片、网络以及商业应用场景都会走向成熟。

NB-IoT要走向成功必须要建立

收稿时间: 2016-11-24
网络出版时间: 2017-01-05

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0032-005

摘要: 针对窄带物联网(NB-IoT)技术特点和业务类型,提出了基于雾计算的NB-IoT网络架构,通过为NB-IoT接入点(AP)配置雾计算设备,将接入点升级为具有存储和计算能力的雾接入点(F-AP),使得数据收集、传输、处理和计算更靠近终端设备,提高应用系统的响应速度,节约网络带宽。

关键词: 雾计算; AP; NB-IoT

Abstract: Considering the technical characteristics and service types of narrowband Internet of things (NB-IoT), NB-IoT system architecture based on fog computing is proposed in this paper. By configuring a fog computing device for the NB-IoT access point (AP), the access point is upgraded to a fog access point (F-AP) with storage and computing power. In this way, the data sensing, transmission, processing and computing can become much closer to the end devices, and the latency and network congestion can be significantly decreased.

Keywords: fog computing; AP; NB-IoT

开放产业平台,目前云计算凭借强大的计算和存储能力,成为大数据分析处理的支撑平台,但是物联网终端设备数量的爆发式增长,给传统的云计算框架带来了新的挑战。云计算框架先将数据集中存储在云端,再从云端发送到移动用户,云服务器远离移动设备,数据传输的距离大,导致延迟和通信开销增大。“雾计算”的概念在2012年被提出^[3],核心思想是“智能前端化”,即在云服务器和终端设备之间,利用网络设备或者专用设备提供计算、存储和网络通信服务,使得数据和计算更靠近终端设备,进而降低云服务器的计算和存储开销,并且提高了应用系统的响应速度,节约了网络带宽。

很多NB-IoT业务具有海量连接、

区域广的特点,以智能抄表应用为例,目前家庭拥有水表、电表、燃气表以及暖气表等很多表,将产生巨大数据量,全部上传云端会消耗大量网络资源;又如智慧电网这类地理分布广的大数据应用,与云端距离大,必然时延大;有些业务具有“用户需求就近信息”的特点,如智能停车业务,每个车位装备停车传感器,用户通过手机APP寻找附近停车位、付款、查找车辆等应用,移动用户需要附近区域的本地化信息。针对NB-IoT这些特点,我们提出了对应的雾计算框架,主要思想是将雾计算概念融入无线接入网架构中,将NB-IoT接入点(AP)升级为具有存储和计算能力的雾接入点(F-AP),一些用户终端应用只需在本地处理或者需求内容已

经存储在邻近的接入点,不必连接云计算中心进行数据通信,降低执行时延,从而提高了应用系统的响应速度,节约了网络带宽。

文献[4-5]中,雾层由一些零散的、计算能力较弱的交换机或路由器等网络设备组成,为移动用户提供边缘信息服务,接入方式多为蓝牙和Wi-Fi;文献[6]提出基于雾计算的5G接入技术,雾层由可协作资源管理和联合信号处理的接入点、智能终端构成;文献[7]提出了以车为基础设施的车载雾计算的思想。文章中,针对NB-IoT,我们提出了在蜂窝网络中每个接入点配置雾计算设备,接入层构成雾层方案,在减小异构性,增强安全性,以及与5G平滑升级方面更具有优势。

1 基于雾计算的NB-IoT架构

根据雾计算“智能前端化”的思想,我们把大量与特定环境相关的信息直接在本地接入点进行存储和计算,提出了如图1所示的基于雾计算的NB-IoT框架,上层为云计算中心,下层为NB-IoT传感器和移动终端层,在云计算中心和终端设备之间扩展一个更靠近终端设备和移动用户

的雾计算层,称为“雾层”。雾层部署在NB-IoT接入层,由具有存储和计算能力的F-AP构成,可以直接与覆盖区域的物联网终端和移动设备相连接。

F-AP作为NB-IoT站点,一方面将NB-IoT传感器收集的信息进行分析、处理、过滤,及时应对紧急事件,再选择性地一部分信息分发给其他雾节点或云计算中心;另一方面,它们可以将云服务器上的数据或终端设备上传的数据缓存在本地,而且能够完成移动终端请求的计算或数据流量任务,必要时可以进行任务分解,和其他节点合作,尽可能地将计算任务在本地进行处理,更好地满足了移动应用高流量和低延迟的需求。云计算中心优势保留,关注于高延迟长周期的大数据应用。

图1中左边是NB-IoT的典型应用,由于雾层的加入,业务范围扩大;右边是网络关键技术和面临挑战。

2 基于雾计算的NB-IoT关键技术

NB-IoT构建于长期演进(LTE)蜂窝网络,具有部署成本低、覆盖广、功耗低、海量连接的特点,通过扩展F-AP的边缘存储能力和计算能力,可

以减少时延、细化数据分析,从而更广泛地应用于多种垂直行业。

2.1 NB-IoT解决方案

(1)NB-IoT部署场景和空中接口技术^[8]

NB-IoT射频带宽为180 kHz,支持3种部署方式:独立部署、保护带部署、带内部署,如图2所示^[8]。

- 独立部署模式:可以利用单独的频带,适合用于全球移动通信系统(GSM)频段的重耕;

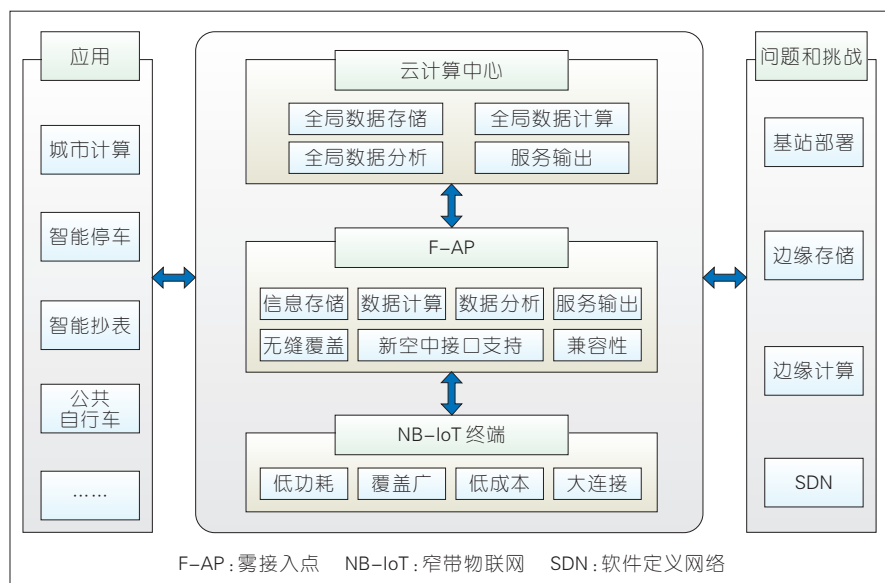
- 保护带部署模式:可以利用LTE系统中边缘无用频带;

- 带内部署模式:可以利用LTE载波中间的任何资源块。

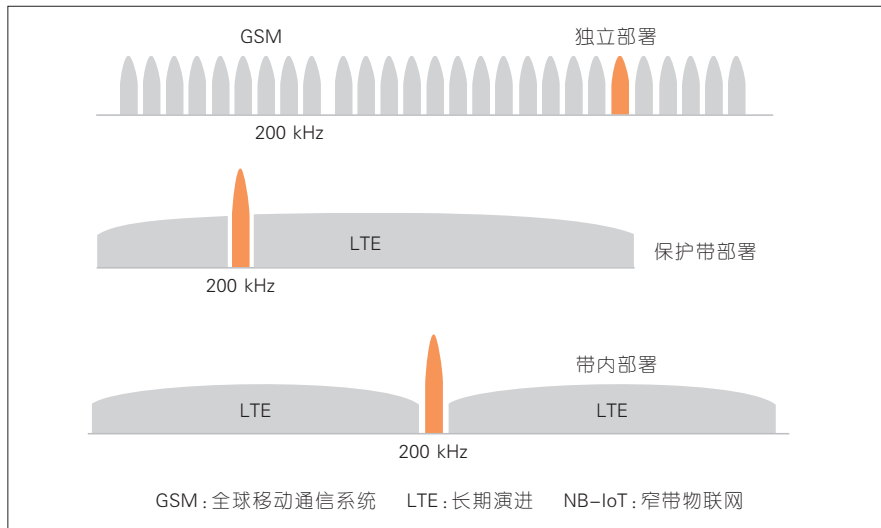
上行采用单载波频分多址(SC-FDMA)技术,终端支持单载波和多子载波技术。单载波技术包含3.75 kHz与15 kHz两种子载波带宽;多子载波技术支持15 kHz子载波带宽,支持更大峰值速率。下行采用正交频分多址(OFDMA)技术,子载波带宽为15 kHz。NB-IoT单独设计了同步信号,多媒体接入控制(MAC)/无线链路层控制协议(RLC)/分组数据汇聚协议(PDCP)/无线资源控制(RRC)层处理基于已有的LTE流程和协议,物理层进行相关优化。

(2)低成本

终端模块的成本对于海量接入的物联网技术发展至关重要,NB-IoT模块的成本可控制在5美金以内,甚至更低。NB-IoT终端模块基带复杂度低,采用180 kHz窄带系统甚至是更低的单载波模式,采样率低,缓存Flash/RAM要求小,数/模(D/A)和模/数(A/D)转换、信道估计要求低;23 dBm发射功率,可支持单片芯片内置功率放大器(PA),进一步降低成本;为了降低终端模块解码复杂度,使用卷积码代替turbo码;终端设备只使用单天线,使得射频和基带信号解调只需要一根接收链;又通过半双工模式,省去了双工滤波器,只需要一个开关和一个振荡器实现,从而降



▲图1 基于雾计算的NB-IoT框架



▲图2 NB-IoT部署方式

低成本和减小功耗。

(3) 低功耗

NB-IoT目标是典型的低速率、低频次业务模型,且等容量电池寿命可达10年以上。NB-IoT芯片复杂度低,工作电流小,空口信令简化,单次数传功耗低,可以通过基于覆盖等级的控制和接入减少单次数传时间。

NB-IoT借助节能模式(PSM)和扩展周期不连续接收技术(eDRX)可实现更长待机。其中PSM技术是Rel-12中新增的功能,在此模式下,处于RRC空闲期的终端可以进入深睡眠,不监测网络,达到省电的目的。eDRX是Rel-13中新增的功能,减少终端监测网络的频度,减少接收单元不必要的启动,相对于PSM,大幅度提升了下行可达性。另外,移动性管理只支持小区选择和重选,同时减少终端发送位置更新的次数,从而减少测量开销。

(4) 覆盖强,容量大

NB-IoT链路预算为164 dB,优于GSM、LTE 20 dB左右,覆盖区域更广、更深。如果按照覆盖面积计算,一个基站可提供7倍的覆盖面积(开阔区域);从覆盖深度角度看,可以覆盖位于地下室或隧道中的终端;支持多速率连接,如在一些场景中,终端设备信号微弱,可以选择单载波模

式集中传输能量,大大提升信道容量,借助一个NB-IoT基站就可提供几万个连接。

2.2 边缘存储

当移动设备的用户处于一个特定的环境时,其需要的信息主要是与本地相关的各种信息。如在医院环境下,用户希望了解医院的就诊信息、就诊过程的状态信息;在智能停车业务中,用户需要知道的是所在街区的空车位和收费信息;在商场环境中,用户需要知道本商场各商品的具体信息等。利用移动用户对本地化信息的需求,可以把接入点覆盖区域内的大量本地信息存储在该F-AP的雾计算设备中,并在本地实时进行优化和计算,以及时完成用户请求的相关任务^[9]。

雾计算设备需要根据当地环境,预测用户需求,也包括高流行度的互联网内容文件,通过主动缓存的方式从云服务器上下载相应数据,或者通过被动缓存的方式存储流经它的相关数据,比如用户或传感器上传的数据,为用户提供快捷内容访问和检索功能,有效缓解云服务器的负担,大大降低通信的传输量,减少传输延迟。E. Baştuğ在文献[10]中证明,移动用户需求的信息类型可以在一定

程度上被预测出,建议在用户请求前预存信息。

目前成熟的缓存技术,如在学术和工业使用广泛的内容分发网络(CDN)^[9]。CDN通过在多地部署缓存服务器,将数据请求分散到各个服务器上,减少单个服务器负载,一定程度上缩短了数据传输路径,但是CDN的缓存服务器通常服务于一般的Internet用户,难以了解和预测移动用户的需求。与上述的数据缓存设备不同,一方面雾服务器更智能化,能够感知其部署的环境,推测出附近移动用户的数据需求特性,针对附近用户的兴趣进行数据缓存;另一方面,雾节点可以实时与物联网终端和移动用户交互数据,处理数据,雾节点能适时与云端连接,借助云计算中心处理大数据。相比于传统集中式存储机制,F-AP存储空间相对较小,边缘存储和传统存储的联合优化策略是一项关键技术。缓存也不是存储得越多越好,要在存储缓存代价和效益之间做出很好的权衡。

2.3 边缘计算

与传统的数据存储设备和接入技术不同,雾计算节点具有智能计算的能力。可以将NB-IoT传感器收集的信息进行实时分析、处理、过滤,再选择性把一部分信息分发给其他雾节点或云计算中心;雾节点可以独立地对覆盖区域的用户一些请求进行计算和处理,也可以请求云层,获得更深的数据分析。文献[11]中有雾计算在认知应用中使用的案例,文献[12]以智慧电网为例,分析了云计算和雾计算的分工,雾计算节点处理了短时间段(几毫秒到几天)、小范围的数据,并对时延敏感的事件做出及时处理,云计算中心处理了长时间段(几天到几个月)、大地理范围的一些数据,主要对网络进行了相关分析和优化。

文献[11]还以智能路灯为例,具体分析了雾计算功能。智能路灯可

以收集各个方向上汽车、行人、自行车的信息,比如位置和速度,从这些数据计算出相撞事故的概率,对概率高的可能事故做出及时处理;云计算中心则负责分析长时间段数据,主要对网络进行评估和优化。雾计算与文献[13]中 Cloudlets 相比,都具有边缘实时计算的能力,但雾计算是更完整、更生态的系统,具有本地信息预存的功能。

NB-IoT 连接海量传感器,可以用于城市管线监测控制、智能抄表。相比云计算,雾节点可以支持更细致的时间用量表,比如智能抄表,可以每小时收集燃气和煤气用量数据,计算能量、用量和费用情况,然后再比较各个时间段电费和燃气费,用户可以在不同的时间段选择更加经济的能耗方式^[14-15]。

考虑到有些应用中,单个 F-AP 难以有效快速地处理大量数据,彭木根^[6]等提出自适应形成 F-AP 簇,执行分布式协作计算来减小计算复杂度,提高计算速率和频谱效率。文献[16]提出了一种基于粒子群算法的多设备分布式计算方案,达到任务处理时延最小的目标。

3 面临的问题和挑战

基于雾计算的 NB-IoT 技术大规模的发展面临着下面的问题和挑战,有待于进一步解决。

3.1 F-AP 部署

有通信设备制造商建议,NB-IoT 站点有共建和独立建站两种方案。共建方案是在现有 LTE 基站完成复用和升级,可以充分利用现网的 LTE 站点资源和设备资源,共站点、共天馈、共射频、共公共无线电接口(CPRI)、共传输、共主控、共运行和维护管理(O&M),以达到快速部署 NB-IoT,节省建网成本的目的。独立建站 One-box 站点方案,简化了站点,易扩展、平衡演进。

文中提到的 F-AP 具有 3 个功能:

NB-IoT 接入点;移动终端接入点;具有雾计算能力。

3.2 雾计算软件系统

在雾计算框架中,管理系统需要动态决定哪些分析需要上传云端,哪些在雾端处理,从而使时延最小化,网络吞吐量最大化。F-AP 的功能可以通过软件定义来实现,不同的雾计算设备之间的接口具有高度的灵活性,软件定义网络(SDN)可以作为基本的启动程序来实现雾接入层的灵活性和可重构性,SDN 是通过核心技术 OpenFlow 将控制层和数据层分离开来,有集中的控制器管理,实现网络流量的灵活控制。用户可以开发各种应用程序,通过软件实现各种功能,以满足对网络资源的不同需求,而无需关心底层网络的物理拓扑结构。目前面临的问题:SDN 是应用于网络 IP 层,如何将其扩展到 MAC 层和物理层;SDN 是集中控制的,而雾接入层更注重分布控制;SDN 需要及时获取设备的位置和状态信息,这样一来会增加网络负担。网络虚拟化能够为 SDN 的运行提供基础架构,通过分离数据和控制平面,部署标准化网络硬件平台,使得许多移动网络设备中的软件可以按需安装、修改、卸载、实现业务扩展。

4 应用前景

基于雾计算的 NB-IoT 网络具有海量连接、低时延、边缘存储和边缘信息处理的特点,适用于以下一些应用场景。

4.1 健康状况监测

中国老年人比例逐年增高,独处状态的老人可以佩戴安装了 NB-IoT 模块的手表,随时感应身体状况,数据上传到雾计算节点,雾节点预存发病预测算法,可以实时计算感应器上传数据,及时处理紧急事件。文献[14]中利用雾计算监测、预测、阻止中风患者的发病,与云计算相比,时延

小,功耗低。

4.2 城市大数据分析

在现代城市空间中,可以通过价格低廉、分布各处的 NB-IoT 传感器获取大量的数据进行城市计算^[5],城市计算就是一个获取、整合、分析这些数据的过程,旨在解决城市面对的诸多重大的问题,比如空气污染、能源消耗、交通堵塞等。城市计算同样也可以帮助我们了解城市现象的本质,甚至预测城市发展的未来。

以污染问题为例,对于中国绝大多数空气质量监测控制系统来说,这些系统往往给出的数据是整个城市范围的空气质量。但是,空气质量会随着城市中各个点的交通、建筑密度、空气情况等因素发生剧烈变化。可以通过每个 NB-IoT 基站雾计算点来推断城市中任何指定位置的空气质量,可以提前预测 1~2 h 内的空气质量,以帮助人们更好地计划自己的生活,比如什么时候和去哪里慢跑,或者什么时候应该关窗户,什么时候应该戴上面具。

城市计算可以通过 NB-IoT 连接很多不起眼和普遍存在的传感技术,运用雾计算实现先进的数据管理和分析模型,以及高级的可视化算法,来创造一个改进城市环境,提高人民生活质量和增强城市运行系统的三赢方案。

4.3 智能公共自行车系统

随着污染问题的严重化,自行车出行是更环保的选择。现在很多城市都有公共自行车系统,但由于存放点有限,比如小区、学校只在门口可以存放,自行车不能入内,且通常小区、学校区域很大,用户体验不够方便,所以现有公共自行车系统功能没有被充分发挥。我们建议增加更多自由的存放点,如小区内每栋楼边都有存放点,并通过密码锁方式存放,由于存放点分散,可能会出现某个存放点没有自行车的情况,因此可以在

每辆公共自行车上装备一块价格低廉的NB-IoT芯片,将该自行车位置和使用情况信息上传到NB-IoT基站,基站雾计算节点可以计算出覆盖区域的自行车分布图,用户需要使用公共自行车时,可以用手机APP查询离他所在位置最近的公共自行车。

5 结束语

我们提出了基于雾计算的NB-IoT网络架构,通过为NB-IoT接入点配置雾计算设备,将接入点升级为具有存储和计算能力的F-AP,使得数据和计算更靠近终端设备,提高应用系统的响应速度,节约网络带宽。我们还阐述了NB-IoT技术特点和F-AP雾节点的功能,讨论了基站部署方案和SDN,并探讨了基于雾计算的NB-IoT应用前景和基于大数据的知识挖掘。物联网海量终端设备的接入和移动数据的爆发式增长,意味着下一代移动通信是超大规模和空前复杂的,需要引入网络功能虚拟化(NFV)、SDN和边缘计算作为网络关键技术,来提升网络的整体的承载和计算能力,这些关键技术都将是下一步研究内容。

参考文献

- [1] 黄海峰. 华为余泉:2016年是NB-IoT产业发展的关键年[J]. 通信世界, 2016(05):27-28
 [2] 3GPP. NB-IoT Work Item Description RP-152284[EB/OL]. [2016-11-22].<http://ow.ly/4mQAfx>

- [3] BONOMI F. Fog Computing and Its Role in the Internet of Things [C]//Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing. USA:ACM, 2012: 13-16
 [4] DASTJERDI A V, BUYYA R. Fog Computing: Helping the Internet of Things Realize Its Potential [J]. Computer, 2016, 49(8): 112-116. DOI: 10.1109/MC.2016.245
 [5] RAY K S, MONDAL M. Fog Computing: Focusing on Mobile Users at the Edge [J]. Computer Science, 2015, 2(3):22-25
 [6] PENG M G, YAN S, ZHANG K S, et al. Fog-Computing-Based Radio Access Networks: Issues and Challenges [J]. IEEE Network, 2015, 30(4):46-53. DOI:10.1109/MNET.2016.7513863
 [7] HOU X S, LI Y, CHEN M, et al. Vehicular Fog Computing: A Viewpoint of Vehicles as the Infrastructures [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(6):3860-3873. DOI:10.1109/TVT.2016.2532863
 [8] Ericsson. NB-IoT: A Sustainable Technology for Connecting Billions of Devices[EB/OL]. [2016-04-22] [2016-11-26]. https://www.ericsson.com/thecompany/our_publications/ericsson_technology_review/archive/narrowband-iot-connecting-billions-devices
 [9] PENG G. CDN: Content Distribution Network [EB/OL]. [2016-11-22].<https://arxiv.org/abs/cs/0411069>
 [10] BASTUG E, BENNIS M, DEBBAH M. Living on the Edge: The Role of Proactive Caching in 5G Wireless Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2014, (52): 82-89. DOI:10.1109/MCOM.2014.6871674
 [11] SATYANARAYANAN M, CHEN Z, HA K, et al. Cloudlets: at the Leading Edge of Mobile-Cloud Convergence [C]// 2014 6th International Conference on Mobile Computing, Applications and Services (MobiCASE). USA: IEEE, 2014: 1-9. DOI: 10.4108/icst.mobicase.2014.257757
 [12] BONOMI F, MILITO R, NATARAJAN P, et al. Fog Computing: A Platform for Internet of Things and Analytics [M]. Germany: Springer, 2014
 [13] 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
 [14] CAO Y, CEHN S Q, HOU P, et al. FAST: A Fog Computing Assisted Distributed Analytics System to Monitor Fall for Stroke Mitigation[C]//Processing of 10th IEEE International Conference Networking, Architecture and Storage (NAS 15).USA: IEEE, 2015: 2-11. DOI: 10.1109/NAS.2015.7255196
 [15] ZHENG Y, CAPRA L, WOLFSON O, et al. Urban Computing: Concepts, Methodologies, and Applications ACM [J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST), 2014, 5(3): Article 38. DOI: 10.1145/2629592
 [16] 何秀丽,任志源,史晨华,等. 面向医疗大数据的云雾网络及其分布式计算方案[J]. 西安交通大学学报, 2016,50(10): 71-77

作者简介



张红,南京师范大学泰州学院讲师,南京邮电大学通信与信息工程专业在读博士研究生;主要研究方向为下一代网络等;已发表论文4篇。



王玉峰,南京邮电大学通信与信息工程学院教授、博士生导师、通信工程系主任,江苏省无线通信重点实验室副主任,日本早稻田大学媒体研究所客座研究员;曾担任日本国家信息通信技术研究院特聘研究员,从事新一代网络体系结构研究;目前研究方向为宽带信息

网络、对等网络、移动社交网络等;已发表论文70余篇。