



专题:5G

面向 5G 移动通信系统的智慧城市汇聚及接入网络

吴大鹏¹, 闫俊杰¹, 杨鹏²

(1. 重庆邮电大学光通信与网络重点实验室, 重庆 400065;

2. 中国信息通信研究院, 北京 100191)

摘要: 智慧城市的发展与建设需要充分依托通信网络, 5G 移动通信系统将推动智慧城市通信网络产生重大变革。给出了智慧城市 3 层网络结构, 深入分析了汇聚网络中所面临的关键问题, 尤其是关系评估、信任管理及可靠性保障 3 个方面, 并对相应的解决方法进行了深入阐述, 增强了智慧城市通信网络对各类应用的承载能力。

关键词: 5G 移动通信系统; 智慧城市; 汇聚网络

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016160

Smart city converged and accessed network based on 5G mobile communication system

WU Dapeng¹, YAN Junjie¹, YANG Peng²

1. Key Lab of Telecommunication and Network, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China

2. China Academy of Telecommunication Research, Beijing 100191, China

Abstract: The development and construction of smart cities largely depend on the communication network infrastructure, and the latest 5G mobile communication system can sufficiently facilitate the revolution of communication network infrastructure for smart cities. The 3-layer network architecture for smart cities was introduced and the key issues of converged networks, such as the relationship evaluation, trust management and reliability assurance were holistically analyzed. Lastly, the corresponding solutions were given, which could enhance the application bearing capabilities of smart city communication networks.

Key words: 5G mobile communication system, smart city, converged network

1 引言

智慧城市的主要目标是以居民的生活为中心, 利用信息通信技术解决城市化过程中所产生的问题, 以达成运营

极大化、能耗最小化的目标。作为信息感知、汇聚、接入及传输的重要承载平台, 通信网络是智慧城市功能实现、性能优化、服务便捷的有力保障^[1]。近年来, 随着云计算、移动互联网、大数据、社交网络等技术的迅速兴起, 智慧城市的

收稿日期: 2016-05-12; 修回日期: 2016-06-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61371097); 重庆市青年科技人才培养计划基金资助项目 (No.CSTC2014KJRC-QNRC40001)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61371097), Youth Talents Training Project of Chongqing Science & Technology Commission (No.CSTC2014KJRC-QNRC40001)

内涵除了传统的信息传输,还需要包括全面感知、智能处理等特征。除了传统的智慧城市相关应用之外,其还需要承载物联网、健康医疗^[2]、物流跟踪^[3]、内容分享^[4]等具有海量连接需求的新型应用。

随着通信网络的逐渐建设和发展,当前支撑智慧城市的通信网络架构呈现出较强的多样性、异构性及融合性^[5-7]。凭借较高的部署灵活性,5G 蜂窝移动通信网络在智慧城市的网络基础设施方面得到了广泛的关注。然而,按照传统通信网络的体系结构,均需核心网对智慧城市相关业务进行接入控制及资源分配等相关操作,此种方式将极大地消耗核心网络资源,并显著地增加用户业务的处理时延,降低 QoE^[8],使得智慧城市在未来的应用及业务扩展过程中遇到瓶颈。

2 智慧城市网络架构

从逻辑功能上来看,智慧城市通信网络结构为3层网络结构,即感知网络、汇聚网络和无线接入网络。

感知网络即各种传感器节点以自组织的方式形成的网络。根据节点的部署状态,感知网络可进一步划分为静态感知网络和动态感知网络^[9]。对于静态网络来说,感知节点以预先布设的方式放置于感知区域内,在整个数据通信、控制指令传输过程中,节点的位置固定不变,数据传输和控制指令的发送路径相对稳定,如智能家居、环境监控等应用领域。与之相反,动态感知网络中,节点以随机的方式部署在给定区域中,各个节点动态地建立传输路径,拓扑变化较为频繁,如体域网、车联网等应用领域。

汇聚网络由多个移动终端构成,随着智能终端的逐渐普及,除了完成蜂窝移动通信网络的传统业务之外,还可作为感知网络远程数据传输过程中的中继节点,为下层感知网络提供数据接入,以使感知数据能够通过汇聚网络上层的无线接入网络发送至智慧城市应用平台。为了屏蔽不同感知域的差异,并结合蜂窝通信网的标准体制,移动终端采用给定通信协议与感知域进行通信,获取感知数据,并采用 IP(互联网协议)对感知数据进行封装,以提升扩展性。根据移动终端的通信模式,汇聚网络可以分为两种组网方式,分别为分布式组网和集中式组网。分布式组网方式中,终端节点可根据 5G 移动通信系统中的终端直接通信模式在彼此通信范围内直接连接,进行通信,不需要基站节点的辅助,此种方式能够有效地降低终端节点的发射功率和通信时延,提升频谱效率并增强

覆盖范围;集中式组网方式中,终端节点需要在基站的控制下为感知网络提供接入,资源分配、功率控制、切换管理等功能均需要在基站的辅助下实现。此外,终端节点可以利用无线局域网,采用胖 AP(access point,接入点)或者瘦 AP 执行业务数据传输,以卸载蜂窝通信网络的负载。

无线接入网络由多个基站节点以协作的方式构成,将汇聚网络中节点自身的语音、数据、视频业务及感知网络中的业务数据转发至互联网中。为了便于各类业务数据的快速处理,基站节点中还将包含第三方提供的业务处理单元。与传统的蜂窝通信网络不同,基站之间可通过 X1 接口实现互联,进而,可以根据当前网络状态或者预测的未来网络状态参数,实现网络自配置、状态自优化和故障自恢复等功能,能够显著地降低移动通信网络运营商的运行和维护成本。同时,为了为宏蜂窝小区内的用户提供公平接入,并保障小区边缘用户的传输速率,无线接入网络还需要通过射频拉远、家庭基站等方式对覆盖及速率进行补偿。

从传输媒介方面来看,其主要包括无线传输媒介及光纤传输媒介两类。显然,无线通信具有较强的灵活性,适用于动态性较强的感知网络及接入网络,但是其传输容量相对较小、易受干扰,难以高速率完成感知网络汇聚后的海量数据传输,因此,所提出的架构能够在感知网络、汇聚网络部分充分利用无线传输媒介的灵活性,以较低的成本实现感知节点及汇聚节点的互联网接入。此外,光纤媒介具有传输容量大、速率高、传输距离远的优点,所提出的架构中采用光纤作为回传和前传的传输媒介,对于回传网络来说,基站及第三方提供的业务处理单元汇聚了多个移动终端的自身数据和感知网络数据,采用光纤将这些数据发送至交换中心。为了进一步降低所提出网络架构的部署成本,此处采用 PON 实现回传网络相关传输功能,蜂窝通信网络中的 eNode B 和 PON 中的 ONU、交换中心和 OLT 均采用共址的方式进行部署,使得上下行数据的传输时延、可靠性、服务质量均能得到有效保障。

从业务层面来看,随着移动互联网、物联网及其他新型网络业务的迅速普及,如智能家居、体域网、车联网、电子支付等,智慧城市中的用户已经不满足于传统通信网络所提供的语音、数据、视频业务。然而,如前所述,诸多应用需要依托现有通信网络为其提供远程传输通道,如 LTE-Advanced、Ethernet、PON 等。为了实现灵活、快速的数据传输,未来智慧城市的多种应用必然与蜂窝移动通信网



络的终端进行融合,移动终端可以采用现有短距离无线通信模块,如蓝牙、ZigBee、RFID、NFC等,与感知层网络节点进行通信,以实现各类应用的有效融合,进而发挥移动终端的便携性以及蜂窝移动通信网络的广覆盖性。网络结构如图1所示。

3 汇聚网络关键问题

汇聚网络主要承担将自身业务数据及感知层数据发送至远端网络的任务,其需要为用户提供满足服务质量要求的可靠数据传输。汇聚网络中的节点主要有两种工作模式,分别为集中式和分布式。集中模式中,终端通信过程需要基站对其执行接入控制、资源分配、移动管理等功能性操作。与其他类型的无线网络类似,采用分布式工作的汇聚网络也具有资源有限性、信道共享性等共有特征。此外,还具有诸多特殊属性,其中包括间断连接性、节点非合作性和模式多变性。间断连接性导致节点之间的物理链路呈现出时间域和空间域的非连续性,导致数据转发过程中的中继协作节点选择困难;节点非合作性使得部分节点受到多种因素影响,呈现出非合作行为,所转发的数据无法正常投递;模式多变性使得节点需要在不同应用场景中切换

工作模式,以建立满足通信质量要求的可靠链路。可见,汇聚网络需要解决的关键问题包括社会关系感知、信任管理及可靠性保障技术3个方面。此外,邻居发现、干扰协调、媒介认知、协作缓存等多个问题也亟待解决。

3.1 社会关系评估

受到终端携带者的社会属性影响,节点具有较强的移动性,然而,其移动过程并非完全随机。根据社会网络基本原理及大量数学特性的研究可知,各个终端节点的重要程度及活跃程度并不相同,呈现出“小世界”和“大世界”特性,节点之间存在较强的社会关系,且节点以自组织的方式形成多个逻辑社区^[10]。为了充分利用此种社会关系提升数据转发的效率,需要对节点的社会关系强度进行评估,节点之间的社会关系包括水平社会关系和垂直社会关系两个维度:水平社会关系是指活动规律相似的节点所形成的关系;垂直社会关系是指社会特征不同的节点所形成的关系。对于水平关系来说,汇聚网络节点能够依托与其水平关系强度较高的节点完成数据的高效转发,其中包括感知网络的数据及自身的数据,同时,利用此类节点能够降低社区内部通信所引发的负载;对于垂直关系来说,依托与给定节点垂直关系较强的节点携带其数据及状态信息至

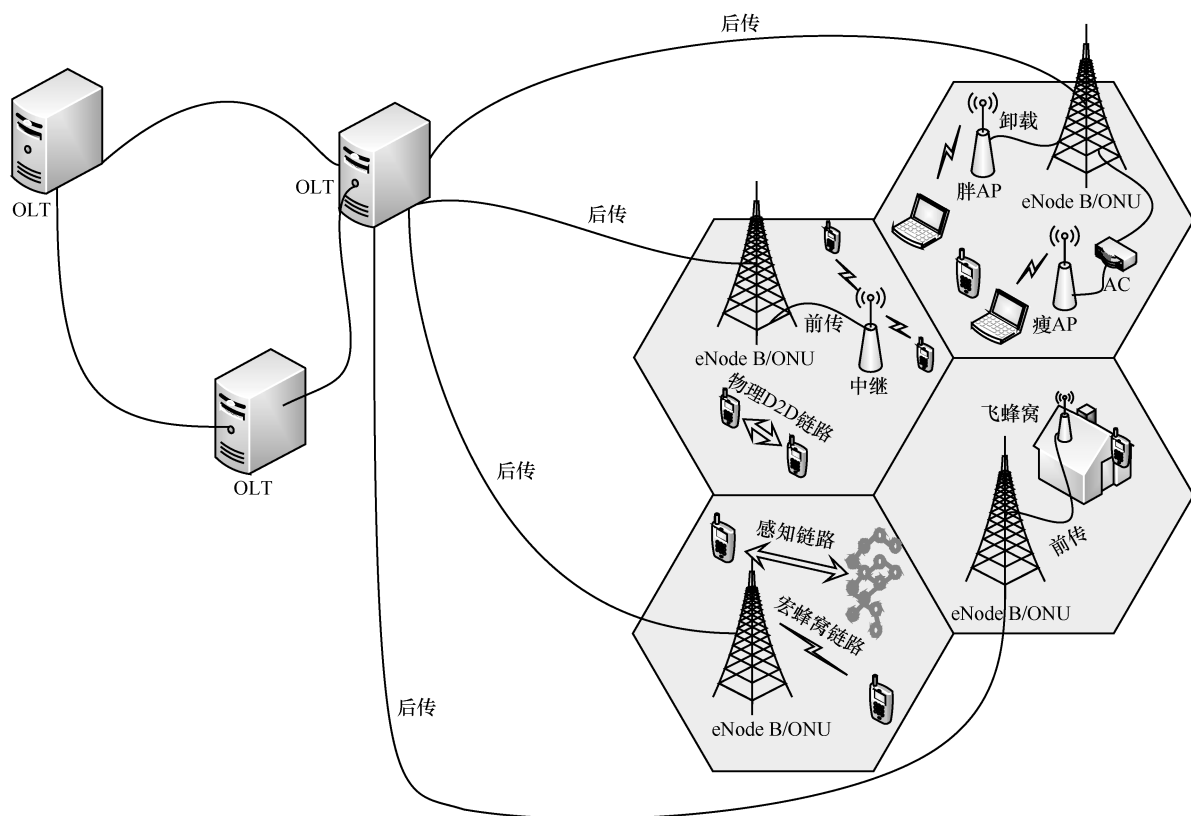


图1 网络结构

其他逻辑社区,提高数据的转发速度。显然,对于分布式运行的汇聚网络节点来说,难以采用泛洪的方式获知节点状态及社会属性。因此在对上述两个关系强度进行评估的过程中,需要利用运动过程中的状态参数,其中包括相遇间隔时间、相遇持续时间、相遇持续时间方差、相遇频率等。

根据节点的社会属性可知,行为规律类似的节点以自组织的方式形成了社区,然而,任意节点均具有多维社会属性,节点间的社会关系受多个属性的交叉影响。从逻辑上可将任意具有相同属性的节点抽象为一个社区,进而导致针对给定节点所建立的多个社区内部成员可能并不相同,即有些节点同时属于多个社区,且其对各个社区的归属度呈现出一定的差异性,使得网络的逻辑结构形成了相互重叠的社区。对此类呈现交叠状态的社区进行检测对智慧城市中群组通信类应用至关重要,也是未来网络为用户提供差异化的前提条件。根据社区检测过程中使用的网络状态信息量,可将当前的社区检测方法分为基于局部信息和基于全局信息两类。基于全局信息的方法需要在网络中扩散大量的节点状态信息,并不适用于资源有限的无线网络;基于局部信息的方法利用节点运动过程中所获知的部分网络状态信息,以分布式的方式感知社区结构,有助于提高节点数据转发能力,提升网络性能,但是,节点状态的缺失也将为检测结果的准确性带来较大的影响。

3.2 信任管理

按照上述方法将汇聚网络中的节点划分完社区之后,由于节点的随机移动,可能出现节点之间链路的断裂,此种情况下,节点之间通过中继协作节点完成通信。可见,数据转发过程可能需要多个节点以协作的方式完成,然而,受社会属性(如社会关系强度)、资源(如缓存、能量)等因素的影响,节点往往会表现出非协作的行为。节点非协作行为主要指节点不遵循网络协议而采取非常规的手段收发网络中的数据,并对其进行额外的处理。其主要包括两个方面的原因,分别为客观原因和主观原因。客观原因主要包括节点缓存不足、能源有限、移动设备故障等因素,导致其无法接收新到来的数据;主观原因则是理性实体因社会关系强度、信任程度、活跃度及个人隐私保护等因素消极协作甚至恶意丢弃数据。

一般来说,节点的非协作行为可分为自私行为与恶意攻击行为。自私行为表现为节点仅尽力转发与自身关系较强节点相关的数据,而消极对待其他节点的数据,甚至直接丢弃;恶意攻击行为表现在节点不仅会随意丢弃数据,

而且会对节点历史信息甚至数据进行篡改,对网络性能造成了恶劣的影响。可见,在数据转发之前需要充分评估中继节点的信任程度。由于节点分布式运行,信任关系感知过程中需要充分利用节点获知的历史状态信息,此外,单纯依靠节点之间的直接交互信息无法满足信任关系的动态特性,因此,还需要充分考虑来自于其他节点的间接推荐信息,进而,全面、准确地评估节点之间的信任关系。

目前,主要涉及的攻击方式如下。

- BMA (bad mouthing attack, 诽谤攻击): 恶意节点发送关于其他节点的负面推荐信息,以降低其他节点的信任程度,进而截获网络中的合法数据并进行丢弃。
- FLA (flattery attack, 奉承攻击): 恶意节点通过夸大其数据转发数量及历史相遇信息等欺骗其他节点来获得较高信任值,以达到截获数据的目的。
- DoS (denial of service attack, 拒绝服务攻击): 恶意节点不停地、尽可能多地发送数据副本或推荐信息给网络中的节点,以消耗网络中节点的计算资源。
- CBA (conflicting behavior attack, 矛盾行为攻击): 恶意节点随机地表现为合作节点和恶意节点,或者对不同节点表现不同的行为,如对同一节点的推荐信息在发送给不同节点时的好坏不同,从而通过这种攻击可以迷惑信任评估系统,达到降低网络性能的目的。
- DTA (data tampering attack, 数据篡改攻击): 网络中恶意的非法节点可能对原始消息进行更改,可能改变消息路由或者消息本身,能够造成网络资源的极大浪费。

3.3 可靠性保障

汇聚网络中的节点采用分布式方式进行通信,能够有效地重用有效的频谱资源,且能够有效地降低终端的发射功率。但是,所建立的通信链路必须满足 QoE 方面的约束,以执行多媒体类相关应用的数据传输,同时,为了避免链路频繁中断,其可靠性方面也需要得到有效保障。

通常,终端节点有 3 种工作模式,分别为复用模式、专用模式和蜂窝模式。其中,复用模式不需要通过基站的转发而进行直接通信,并与蜂窝链路使用相同的信道,此时终端直通链路既可以复用蜂窝链路上行信道,也可以复用蜂窝链路的下行信道。显然,使用相同信道的蜂窝链路会对终端直接通信链路造成干扰,反之,终端直接通信链



路也会对使用相同信道的蜂窝链路造成干扰。专用模式不需要通过基站的转发而进行直接通信,基站为其分配的是未经使用的信道(如正交信道),因此不会受到同一小区内其他链路的干扰。蜂窝模式类似于传统的蜂窝用户通信,终端直接通信链路所发送的数据需要经过基站的转发进行转发,所分配的也是未经使用的信道,因此也不会受到同一小区内其他链路的干扰。

为了增加系统容量,复用模式得到广泛关注,此种模式下不同终端之间建立的链路之间存在干扰,终端之间的链路和基站与终端之间的链路也存在干扰。此外,在节点密度较低的情况下,可能并不存在中继节点为给定终端到目的终端提供数据转发服务。另外,在节点密度较高的情况下,给定终端到目的终端间存在多条路径,不同路径的转发能力并不相同。可见,可靠性保障需要充分考虑上述3个因素的影响。

对于无线信号的干扰来说,在下行方向,可以通过基站的传输功率控制及终端的传输功率控制来实现;在上行方向,需要充分考虑终端直接通信链路对基站的干扰及基站对直接通信链路的干扰,保障系统容量和链路的可靠性。

对于节点密度较低的情况来说,使用复用模式建立终端直接通信链路可能使其服务质量难以得到满足,应根据当前系统状态,动态地为节点合理地选择工作模式。显然,衡量当前系统状态至关重要,可根据链路的传输功率、链路的传输速率、链路终端概率和信道开销等参数确定通信模式。

对于节点密度较高的情况来说,若需要建立通信路径的两个终端不在彼此的覆盖范围内,则可以选择其他节点将数据中继转发至目的节点,按照这种方式,终端之间的路径由多条链路组成,且中继节点的选择将对路径质量产生较大影响。需要在满足路径服务质量要求的前提条件下,充分提高路径的可靠性,避免路径中断。可根据节点社会属性、节点移动频繁程度、期望传输跳数、节点服务能力等参数确定中继节点,进而建立端到端路径。

4 无线接入网络

无线接入云负责将来自多个应用、多个节点的智慧城市数据再次汇聚,并发送至物理云平台。无线接入云的特点有以下3个方面:架构复杂性、粒度多样性和跨域失配性。末端业务具有众连接、低速率、资源需求混杂的特点,然而,采用光纤作为承载媒介需要根据不同业务属性解决

资源分配问题。此外,无线媒介的传输容量与光纤媒介存在较大差异,且服务质量保障机制并不相同,需要解决速率失配、服务等级失配等多域协同问题。

为了满足无处不在的高速数据通信服务的需求,未来智慧城市的通信网络必将朝着异构融合接入方向发展。一方面是全球信息产业及智慧城市飞速发展的需求,未来网络将是互联网、物联网、云计算、大数据等传输承载和业务提供的融合体,这将使得通信网络提供更高带宽的电信级数据通信承载和业务能力。另一方面,从无线网络层面来看,制约数据传输速率提高和能量消耗降低的重要瓶颈依然是无线接入问题,虽然,可以通过载波聚合、密集蜂窝、大规模 MIMO 等先进数字处理技术改造自然界实质存在的窄带时变、多变复杂的无线物理传输信道,以不断提升网络容量及频谱效率,但同时也带来了一些新问题,如过度提高调制阶数、编码长度与层数直接影响传输顽健性,过多的天线阵元(如 5G 中提出大规模天线采用 128 阵元)将造成能量消耗过高及算法复杂度过高等。

从传输媒介的角度来说,光纤接入相比无线接入具有传输带宽大、传输损耗低、抗干扰能力强等特点,但受到覆盖能力、覆盖成本以及接入灵活性的制约。与之相对,无线媒介的优缺点与光纤传输媒介互补,由于其具有共享特性,使其接入具有极强的灵活性、覆盖成本较低,因此,为了能够在接入网为各类业务提供令人满意的服务质量,需要合理利用光纤和无线媒介的优点,满足未来接入网中连接的多态性、泛在性要求。

所提出的架构中,在后传(backhaul)和前传(fronthaul)中使用光纤媒介进行通信,以满足海量、并发数据的承载需求,其余通信过程使用无线媒介,以充分发挥其灵活性。凭借其点到多点的无源网络架构优势,采用 PON 技术对回程和去程的光纤链路进行组网。目前,融合了 TDM-PON 的低成本与共享接入特点以及 WDM-PON 的高接入带宽特点的 TWDM-PON 满足了 NG-PON2 及无线接入网的各项技术要求,其具有组网灵活、平滑升级、强扩展性、高可靠性的特征,能够有效地支持未来富媒体应用、IoT 应用及社会网络应用。

然而,两者结合的过程中,还有下列问题需要深入研究。

在体系结构方面,作为后传和前传链路,光纤需要连接射频拉远单元、基站及基站处理单元。随着超密度蜂窝网络的逐渐形成,光纤分配网络及分光器件的布设也应随之改变,根据网络容量、用户数量、负载状态、布设成本、生

存性等方面,设计带有多级分光的体系结构将能够更加有效地利用光纤媒介的优势。

在资源调度方面,TWDM-PON 系统具有多条波长信道,且 ONU 可在任意波长上进行数据传输。因此,不同于 TDM-PON(如 EPON 和 GPON)和 WDM-PON,其资源分配由授权调度和授权大小组成,即为每个时分复用(TDM)子网分配的传输信道取决于授权调度(波长分配),为每个 ONU 分配的带宽大小取决于授权大小(带宽分配)。TWDM-PON 系统中进行资源分配时,需同时考虑 ONU 可由哪条可用波长进行承载及可在哪个时隙中发送数据。

在服务质量保障方面,面向 IP 化的体系结构及高速增长的数据流量,需要光纤链路实现多粒度、快响应、低时延的无线分组承载,然而,受到各类互联网应用的影响,感知层及汇聚层所产生的分组具有突发特征,且速率远低于光纤媒介的传输速率,因此,需要后传和前传中的节点对上行数据和下行数据进行流量整形,以更加合理地利用网络资源。此外,当前标准工作中,TWDM-PON 和无线网络中对服务等级的设定存在差异,并不存在一一对应的关系,需要根据给定媒介的各层逻辑关系,设计动态的垂直 QoS 映射,以保障无线域的数据转发效率,同时,也需要根据不同域间的资源占用状态设计水平 QoS 映射方法,以保障端到端服务质量。

5 结束语

通信网络是智慧城市建设和发展的基础设施,其智能化、融合化水平决定了智慧城市相关应用部署的便捷性及扩展性。本文深入分析了 5G 移动通信系统支持下的汇聚网络关键问题,其中包括社会关系评估、信任管理及可靠性保障问题。

参考文献:

- [1] MULLIGAN C E A, OLSSON M. Architectural implications of smart city business models an evolutionary perspective[J]. IEEE Communication Magazine, 2013, 51(6): 80-85.
- [2] ZHANG Z, WANG H, WANG C, et al. Cluster-based epidemic control through smart-phone based body area network [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2014, 26(3): 681-690.
- [3] LIU Y, YUEN C, CAO X, et al. Design of a scalable hybrid MAC protocol for heterogeneous M2M networks [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2014, 1(1): 99-111.
- [4] GANTI R K, YE F, LEI H. Mobile crowd sensing: current state and future challenges [J]. IEEE Communications Magazine, 2011, 49(11): 32-39.
- [5] WANG C X, HAIDER F, GAO X Q. Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(2): 122-130.
- [6] RUFFINI M, DORAN N, ACHOUCHE M, et al. DISCUS: end-to-end network design for ubiquitous high speed broadband services [C]//International Conference on Transparent Optical Networks(ICTON), June 23-27, 2013, Cartagena, Spain. New Jersey: IEEE Press, 2013: 1-5.
- [7] LUO C, YANG L T, LI P, et al. A holistic energy optimization framework in cloud-assisted mobile computing[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(3): 118-123.
- [8] WEN Y G, ZHU X Q, RODRIGUES J P C, et al. Mobile cloud media: reflections and outlook [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2014, 16(4): 885-902.
- [9] WU D P, HE J, WANG H G, et al. A hierarchical packet forwarding mechanism for energy harvesting wireless sensor networks[J]. IEEE Communication Magazine, 2015, 53(8): 92-98.
- [10] WU D P, WANG Y Y, WANG H G, et al. Dynamic coding control in social intermittent connectivity wireless networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2015(3): 1.

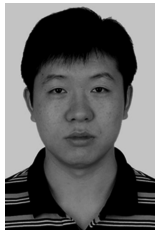
[作者简介]



吴大鹏(1979-),男,重庆邮电大学教授,主要研究方向为泛在无线网络、无线网络服务质量管理等。



闫俊杰(1990-),男,重庆邮电大学光通信与网络重点实验室硕士生,主要研究方向为无线通信、D2D 通信。



杨鹏(1980-),男,中国信息通信研究院高级工程师,主要研究方向为下一代移动通信技术、无线泛在网络、下一代互联网理论与技术。