

2018

全国无线及 移动通信学术大会 论文集

中国通信学会无线及移动通信委员会 主编

2018 National Conference on
Wireless & Mobile Communication
(WMC'18)

通信出版集团

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

2018

全国无线及 移动通信学术大会 论文集

中国通信学会无线及移动通信委员会 主编

2018 National Conference on
Wireless & Mobile Communication
(WMC'18)

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

2018全国无线及移动通信学术大会论文集 / 中国通信学会无线及移动通信委员会主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2019. 1

ISBN 978-7-115-50452-4

I. ①2… II. ①中… III. ①无线电通信—学术会议—文集②移动通信—学术会议—文集 IV. ①TN92-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第280358号

内 容 提 要

2018全国无线及移动通信学术大会论文集共收录论文93篇,内容涵盖5G技术、物联网、人工智能、移动互联网等领域,全面反映我国在这些领域的研究、部署、创新以及应用等最新进展,充分体现我国产业链各方在这些领域的积极创新和深入探索。本论文集可供全国无线及移动通信领域的运营人员、科研工作者和高等院校相关专业的师生参考。

2018年全国无线及移动通信学术大会论文集

- ◆ 主 编 中国通信学会无线及移动通信委员会
责任编辑 牛晓敏
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100078 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京圣彩虹科技有限公司印刷
- ◆ 开本: 880×1230 1/16
印张: 22.5 2018年11月第1版
字数: 728千字 2018年11月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-50452-4

定价: 260.00元

读者服务热线: (010) 81055488 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

2018年全国无线及移动通信学术大会

组织机构

大会指导委员会

- 刘 岩 国家无线电监测中心原主任/教授
阚润田 工业和信息化部无线电管理局原巡视员/高级工程师
王志勤 中国信息通信研究院副院长/教授级高级工程师
沈少艾 中国电信集团公司技术部副总经理/教授级高级工程师
黄宇红 中国移动研究院副院长/教授级高级工程师
马红兵 中国联合网络通信集团有限公司运维部总经理/教授级高级工程师
窦 笠 中国铁塔通信技术研究院院长/教授级高级工程师
李书芳 北京邮电大学教授

大会主席

- 刘 岩 中国通信学会第八届无线及移动通信委员会主任委员
阚润田 中国通信学会第八届无线及移动通信委员会副主任委员

大会程序委员会

- 主席：** 黄宇红 中国通信学会第八届无线及移动通信委员会副主任委员
委员： 杜廷山 闫 肃 聂胜军 马卫国 万 蕾 王泽权 李瑞林
万永乐 杨 骅 王俊峰 周世东 李少谦 王卫东 赵春明
程崇虎 艾 渤 张海林 束 锋 马红兵 孙震强 郑建飞
高 鹏 杨文琳 蔡艳明 石晓虹

大会组织委员会

- 主席：** 李书芳 中国通信学会第八届无线及移动通信委员会副主任委员
委员： 闫 肃 杜廷山 刘仲亚 吴 冲 王靖宇 曹 磊
李 男 邹 勇 洪卫军 武晓妍

审稿委员会

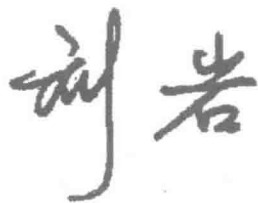
- 主席：** 李书芳 中国通信学会第八届无线及移动通信委员会副主任委员
委员： 孙震强 王庆扬 丁海煜 李 新 李 男 邹 勇
孟令彬 冯建民 田元兵 李福昌 洪卫军

序 言

当前，全球新一轮科技革命和产业革命蓄势待发，以互联网、大数据、人工智能为代表的新一代信息技术日新月异，新产业、新模式、新业态层出不穷，互联网与经济社会各个领域的融合发展已成为不可阻挡的时代潮流，正对我国经济社会发展产生着战略性和全局性的影响。为进一步促进信息通信业长期、平稳、较快发展，推动信息通信技术创新，推进通信产业标准化的建设，加强政府管理层、学术界和产业界之间的联系，中国通信学会无线及移动通信委员会于2018年9月20日在北京邮电大学召开2018全国无线及移动通信学术大会。本次大会由国家无线电监测中心、中国移动通信研究院、北京邮电大学、华为技术有限公司联合承办，中国通信学会指导，中国无线电协会支持。

为了使业界全面、及时了解我国无线及移动通信发展的动态和趋势，推动学术研究与创新，在此次会议召开的同时，大会组委会组织“2018全国无线及移动通信学术大会”征文活动。此次活动得到众多运营企业、设备制造企业、研究机构、高等院校科研人员的积极响应，收到大量的高质量论文，内容覆盖5G技术、物联网、人工智能、移动互联网等诸多领域，可全面反映我国在无线及移动通信领域研究、部署应用等关键的研究进展，体现我国学术界、运营商、制造商、管理机构的不断创新和探索。

通过大会审稿委员会的严格评审，从众多的论文来稿中选取93篇高质量论文，具有较高参考价值，由人民邮电出版社正式出版，希望能对我国的学者、研究与应用人员有所借鉴，能够有效促进我国无线及移动通信学术产学研用的进一步发展。



中国通信学会无线及移动通信委员会

二零一八年十月

目次

5G 技术与研究

基于超密集组网的典型5G应用场景	赵沛 陈儒 赵婧	1
基于5G的智能网联汽车技术应用研究	张茂磊 徐培财	5
CU-DU通信架构关键技术研究及探讨	刘洋 刘亮 胡南	8
移动城域网5G承载组网关键问题分析及方案探讨	陈常梅 卫延宏	12
5G NR系统电磁辐射防护分析	张海涛	16
5G移动通信系统的关键技术——天线	王刚 郝勇	19
认知无线电在5G系统中的应用	王婷婷	21
高速铁路5G覆盖方案初探	叶军	24
基于CW测试的5G传播模型校正与分析	齐航 董江波 刘玮 任冶冰 刘娜 孙伟 席思雨	27
5G频段穿透损耗的测试研究	江庆 朱震海	30
5G MEC部署策略研究	李乐 房永进	34
5G无线接入网络架构探讨	常贺 王广增 梅士华 沈奇	36
5G高功率终端关键技术研究及解决方案分析	宋丹 邵哲 张晓然 张龙	40
5G高频外场试验及后续演进	郑毅 吴丹 刘建军 王启星 王大鹏 刘光毅	45
5G应用在无人机安防领域的创新方案研究	杨博涵 程锦霞 崔航 高有军 杨光 丁海煜	50
5G网络建设中中国铁塔面临的挑战	吕尧新 邹勇 孟令彬	54
5G终端测试方法与标准研究	孔露婷 刘一帆 宋丹 马帅	57
5G发展背景下的无线规划及建设方案探索	赵瑞胜 翟瑞霞	61
5G时代下云计算数据中心网络解决方案	王奕	64
5G站点规划部署探讨	柳林林	67
广角漏缆应用与5G演进探索	苏琦	70
面向5G的室内分布系统部署策略分析	林栋	73
面向5G的站址规划方法研究和探讨	王尚奇	76

5G移动边缘计算的业务连续性分析	张建敏 武洲云 谢伟良 杨峰义	80
以用户为中心的5G技术分析	刘家祥 王 达 余小明 陈 鹏	84
SPN城域传送网建设方案	王 林 田清军 王立强	87
Massive MIMO天线性能研究	郭梦杰 方中圆 盖俊荣	92
MEC在智慧医疗中的行业应用分析	吴 彤 张 超 程锦霞 高有军	94

4G 技术与研究

3G/4G共模基站下的业务迁移策略研究	吕仪生 田 超	97
4G的PRB等资源消耗关联关系研究	聂 君 许 波	101
4G六扇区劈裂基站部署策略研究	李 源 赵永强 湛 兰	104
4G网络负荷均衡方法研究	王晓刚	108
4G网络价值管理与提升	陈琴蓉	112
eMTC/LTE覆盖性能对比及分域接入研究	夏 巍 周 泉 罗 杰 晏志强	116
FDD-LTE网络上行干扰排查与消除	高应龙	119
LTE 2T4R/4T4R多天线技术性能研究	谢太建 郑尚国	125
LTE高低频组网互操作策略对网络性能影响研究	李新玥 张 涛	129
LTE基于覆盖的切换技术	宋时伦	133
LTE容量受限和用户感知分析	肖 羽	136
LTE网络高负荷站点CA与载波MLB负载均衡特性探索	金丛祯	140
LTE网络结构多维度评估	姚 明	144
LTE网络质量和容量的分析和研究	周彦玲	147
LTE异频分层结构的组网策略研究	张祥新 胡 乐	150
关于FDD-LTE双流时长占比低的研究	张泽阳	154
中国联通4G无线网VoLTE部署条件及解决方案研究	景洪水 龙青良 刘光海	158
基于基站辅助的VoLTE语音速率自适应调整技术	陈 俊 陈 卓	162

LTE高铁路测时延性与规划偏移		陈 军	165
4G/5G无线网络协同建设策略及方案分析	王祖阳 张国栋 杨传祥 李寿鹏		168
基于TD-LTE的无线政务专网组网规划思路		陈 刚	171
LTE网络高负荷问题一体化解决方案研究	徐永杰 杨 健 王仔强 于德成		175
3D MIMO从规划到应用	尧文彬 张茂磊 汪况伦 刘咏荷		178
关于对4G网络扩容及深度覆盖规划的探讨		李宗林	182
面向VoLTE/4G+用户的RCS富通信新业务方案研究	李 青 徐 伟 陈思中		185

无线网络规划与建设

异步多包接收机制下p坚持CSMA算法性能研究	官傲宇 徐 达 张 杰 张一晋 罗元勋 束 锋		191
关于盘活存量资产、提高网络建设效益的建设策略探讨	董建新 王明刚 闫 震 潘冠英		192
机载公众通信的实现方式和存在的问题	黄松涛 黄曜明 王激扬		198
2G网络面向蜂窝物联网和FDD网络演进的无线设备功率及天线增益计算方法研究		徐 波	202
传统室内分布系统与华为LampSite室内分布系统的对比分析		李应东	206
基站群在移动网络规划应用中的探讨		柳林林	209
智慧油气企业管道保护监控平台		常 印 许 琨	214
基于MEC的TCP传输优化及测试分析	刘云毅 武洲云 张建敏 谢伟良 杨峰义		218
基于MEC的蜂窝无人机通信方案研究与测试分析	武洲云 张建敏 谢伟良 杨峰义		222
基于NFV环境的MEC部署分析	张暄薇 张建敏 武洲云 谢伟良 杨峰义		226
基于移动边缘计算的计算卸载技术研究	武洲云 张建敏 谢伟良 杨峰义		231
认知无线网络CSI序列设计与性能研究	李佳慧 张一晋 罗元勋		235
投入运营基站射频电磁场限值符合性暴露评估与测量		谈儒猛 赵 旭	239
基于在线机器学习的基础工程参数智能核查研究与实践		邓 巍 王 勇	244
无线通信在智能网联汽车中的作用研究	李 峥 李日波 李 磊 刘萍萍 牟 爽 田承禹		248
手机恶意软件集中治理方法研究	常 玲 赵 蓓 薛 姗 洪 东		251
语音国际漫游实时反欺诈方案探讨	李雪馨 吕振华 陆志坚		254

G/L1800 SDR基站开通NB-IoT业务后的影响研究	陈成连 桂瑾琛 赵金辉 徐卫成	257
NB-IoT系统参数配置的研究	杨旭 耿鲁静 张斌 李世光 魏宏 孙琛	260
eMTC关键技术及组网规划方案	黄陈横	263

无线网络运维与优化

“复兴号”高速列车4G网络质量提升优化	欧大春 杨福理 谷俊江 黎越	268
2I2C业务分析及用户数据分析应用于无线网络优化的思考	钟友祥	274
4G低效能站点原因剖析及整改措施	李佳 陈小奎	278
4G网络CQI提质专项优化新思路	刘利平	281
ANR分场景优化策略探讨	李志鹏	287
LTE基站数据冲突导致偶发性接入失败的解决方案	白景鹏 何文灿	291
LTE弱覆盖问题分析和优化	李征 邢旭 黄天宇	296
LTE系统带宽压缩在广覆盖场景优化中的应用研究	陈东 魏延强 张琦 冯庆华	299
LTE语音回落问题浅析	李伟 龙飞 李鑫玉 卢静	303
大数据辅助下的深度语音业务优化	陈雷 李凌 吕智强	306
公安部门电子围栏干扰协调及优化解决方案	刘光海 许国平 薛永备 龙青良	311
基于One-Class SVM的天线覆盖异常检测	邓巍	314
基于业务和场景的容量保障方案研究	李菲	317
面向游戏类业务的LTE网络优化	张成玉 朱文伟 妥永龙 许栋	321
新四网协同结构优化	耿鲁静 左怡民 魏宏 孙琛 张斌	326
VoLTE语音承载特性及掉话问题分析	刘克清 周俊 马建辉 苏国庆 蒋巍	330
医院场景LTE室内分布系统的优化及设计方法	郑献坤 朱震海 侯优优	334
浅析高铁覆盖难点及解决方式	李江	337
4G FDD上行底噪高的快速优化思路与探讨	何见平	341
LTE PRB利用率虚高优化	赵煜 张进 于洋 吴非帆	347

基于超密集组网的典型5G应用场景

赵沛 陈儒 赵婧

中国移动通信集团设计院有限公司安徽分公司

摘要

5G关键技术中的超密集组网将是满足未来移动数据流量百千倍级增长以及用户体验速率飞速提升需求的有效技术手段。结合现网网络结构,分析超密集组网的几种优先建设场景,并提出一种未来基于5G超密集组网的方案思路。

关键词

5G 超密集组网 异构网络规划

1 概述

移动通信从过去30年的语音业务到移动宽带数据业务飞跃式发展,到如今移动互联网和物联网等各项需求驱动下的高速演进,未来5G系统正是为了满足网络超高流量、设备海量连接、用户极速体验、更低时延、更高可靠性等严苛性能的挑战孕育而生。超密集组网(UDN)是5G移动通信系统的主要架构之一,也是未来通过密集性部署无线网络基础设施的主要场景,能提供几何级高速增长,海量设备的千亿级大连接服务以及满足新业务的多样化需求,使得频谱复用效率更高,在局部热点区域提升近100倍级系统容量,研究无线密集组网对现网的影响以及超密集组网规划的思路探讨有较大意义。

2 超密集组网

超密集组网是通过增加基站部署密度,实现频率复用效率的巨大提升,在局部热点区域实现百倍量级的容量提升。在超密集组网带来可观的容量增长的同时,也意味着5G的部署将面临更大规模的基站部署以及组网协同的问题。超密集组网网络结构融入5G、TD-LTE、UMTS等多种无线接入技术,在超密集无线异构网络中,多种无线接入技术共存,如宏基站、室内分布以及小基站异构组网,宏基站解决传统蜂窝网络中的基础覆盖,室内分布系统解决室内流量的承担,低功率小基站(例如micro、pico、relay、femto等微基站)解决现网盲点和热点场景。为满足局部热点区域提升近100倍级系统容量的挑战,未来实际部署的基础设施资源将远超出现网小区的密度及规模。

随着小区部署密度的增加,超密集组网将面临许多技

术性挑战,如小区间干扰问题、移动性管理问题、站址及传输资源需求以及站址部署成本等。

(1) 小区间干扰问题

超密集组网虽然能够有效提升网络整体容量,但随着微蜂窝以及微微蜂窝的密集部署,更多小区之间的覆盖范围将出现重叠,这将带来严重的干扰问题。根据《5G网络架构白皮书》,解决小区间干扰可采取的干扰管理和抑制策略主要包括:自适应小区分簇技术、集中控制的多点协作传输技术以及分簇多小区频率资源协调技术。

(2) 移动性管理问题

超密集组网无疑将面对众多的小区,用户在超密集组网区域中进行移动通信时,小区间进行重选和切换时不可避免地会使得用户的QoS/QoE降低,影响用户的体验。采用以用户为中心的虚拟化小区技术、软扇区技术和虚拟层技术,可以保证用户终端与虚拟小区质量较好的链路质量,获得一致的高QoS/QoE,保证用户较好的体验速率。

(3) 站址及传输资源需求

采用接入和回传联合设计技术解决资源需求的问题,主要包括回传技术、多跳多路径的回传、混合分层回传以及灵活回传技术等。其中灵活回传是通过灵活利用系统中任意可用的网络资源,从而提升超密集网络回传能力的经济而高效的技术解决手段,保证以较低的部署和运营成本来满足网络的端到端业务质量要求。

3 超密集组网规划

3.1 网络频段

6GHz以上高频段大带宽主要用于热点容量需求的场

景。1~6GHz频段是5G系统核心频段，用以解决网络广覆盖，广覆盖是移动网络必须提供的服务能力，延续2G/4G广域覆盖水平，5G网络需满足用户任何地点100Mbit/s下限速率的指标，需要更多低频段大带宽资源的支撑，从而能保证网络覆盖和用户业务的连续性。1GHz以下用于5G网络实验万物互联、高可靠、低时延目标所需的优良低频段资源，当然由于其低频段的良好覆盖特性，也可用于解决覆盖的场景。对未来频谱部署场景的分类预测见表1。

3.2 应用场景分析

现有移动网络经历了GSM、TD~SCDMA以及TD-LTE的大规模建设，现网站址建设也从连续覆盖目标进一步深化到聚焦网络盲点、竞争差点和业务热点精准施策，网络建设从广度覆盖转移到深度覆盖、精准覆盖，也从侧面反映现网站址已具备一定规模。从某省密集城区及城区

的站间距分析来看，包含现网所有宏基站及微基站。如图1所示，现网密集城区站间距达到293m，城区站间距395m，部分城市站间距甚至更低。可见随着站址密度的加大，现网站间距逐步缩小，未来超密集组网的密度将可能是现网宏基站的N倍，毫无疑问，未来站间距也将急剧减小，所带来的干扰问题和其他技术挑战不容忽视。同样，是否存在极限站间距也值得进一步研究。

从现网某月的日均流量数据分析来看，现网平均日均流量为8.1GB，而日均流量较高的场景为机场、高校、医院、高铁等人流密集的区域，如图2所示。

进一步分析现网日均流量超过15GB、20GB以及30GB的小区数，可以看出超出15GB的小区占现网小区总数的15%左右，小区承载的流量负荷比在逐步加大。随着未来多样化、差异化业务的发展，人工智能、虚拟现实等对流量带宽的进一步需求，网络流量将进一步迅猛增长，日均流量高的小区数占比将越来越大，选择合适的场景进行超密集组网解决流量承载的问题显得十分重要。热点小区占比如图3所示。

分析现网流量大于30GB的小区中不同的覆盖场景，此部分场景未来优先达到流量负荷极限的可能性最大，当然也需综合考虑现网自忙时速率较高的小区。从图4可以看出，日均流量更大的场景为机场、集贸市场、高校、城中

表1 频谱需求预测

部署场景	宏小区	微小区	室内热点
频谱需求 (<6GHz)	808~1078MHz	-	-
频谱需求 (24.25~43.5GHz)	-	5.8~7.7GHz	9~12GHz
频谱需求 (45.5~86GHz)	-	-	
频谱需求 (24.25~86GHz)	-	14.8~19.7GHz	

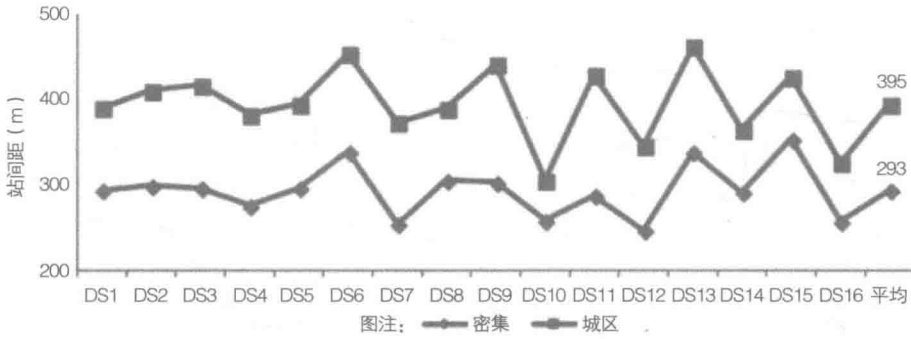


图1 站间距对比示意

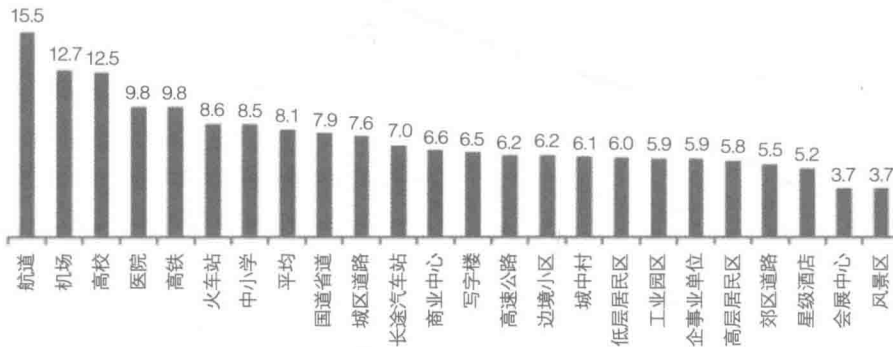


图2 主要场景日均流量 (GB)

村、休闲娱乐场所等人流集中场所，也就是说局部地区流量突出集中的地方适宜部署超密集组网。

未来超密集组网可以优先考虑对以下几种典型应用场景进行规划部署，具体见表2。

3.3 组网方案探讨

5G系统的频段划分，6GHz以上高频段大带宽主要用于热点容量需求的场景，即用于现网流量的承担；6GHz以下低频段主要用于现网连接、覆盖及移动性管理相关功

能，那么未来超密集组网网络架构可以采用覆盖与容量分离的策略，组网方案具体可以使用宏基站解决覆盖连续性的问题，小基站解决容量承载的问题。覆盖于容量分离的组网方案如图5所示。

建议宏基站与周边宏站同频组网，容量承载小的基站与周边宏站异频组网。结合未来网络演进趋势，需通过合理选取站址，并通过调整天线挂高、电子下倾角、设备发射功率、边缘覆盖增强等技术优化手段，解决微小区间的重叠覆盖和干扰问题。

超密集组网主要采用分层组网模式，如图6所示。

为了使小站吸收更多的话务量，承担主要流量分担作用，建议采用微小区优先驻留策略，可以通过频点优先级参数来实现。需要配合相应的负载均衡策略，同时建议采用微小区高优先级切换策略，保证用户驻留更长时间在微小区。当然，本组网方案仅提供一种组网思路探讨，尚有不成熟之处，并且覆盖和容量分离的组网方式也面临着技术方面的难题和挑战。随着未来网络的演进，网络组网方案将逐渐完善。

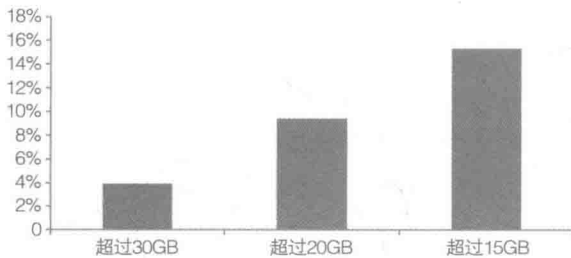


图3 热点小区占比

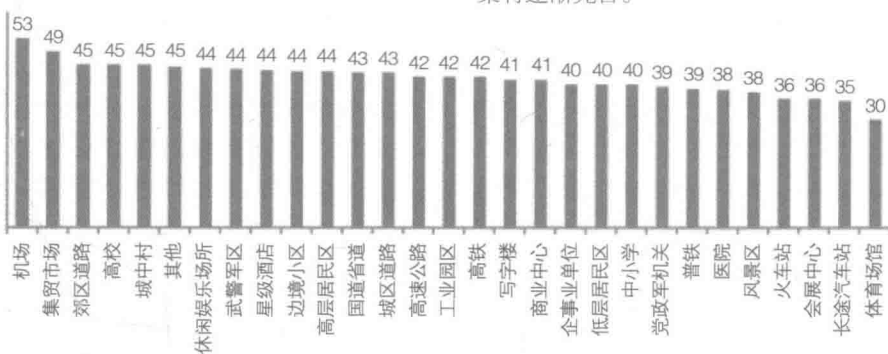


图4 日均流量大于30GB场景

表2 典型应用场景建议

场景	部署建议	优先级
校园	校园虽然有宏站、室内分布系统等综合部署，但流量依旧是爆发式增长最迅猛的场景，对局部流量热点甚至是流量沸点的区域优先进行超密集组网，集合宏站、室内分布系统形成立体异构网络	☆☆☆☆☆
机场	人口密度大，室内分布承载能力有限，未来5G超密集组网优先重点解决容量瓶颈	☆☆☆☆☆
城中村	人口密度大，宏站建设难度高，对网络需求度高，局部热点区域多，适宜优先部署	☆☆☆☆
大型集会场所	主要包括集贸市场、休闲娱乐场所、会展中心、体育中心等人流量较大，宏站部署难度大的场所	☆☆☆
商业街区	商业街区人流密集较大，宏站部署较为困难；此外对于部分城市道路也宜积极利用灯杆资源部署超密集组网	☆☆☆

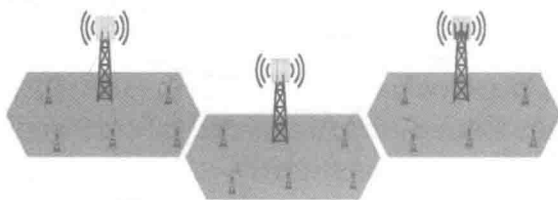
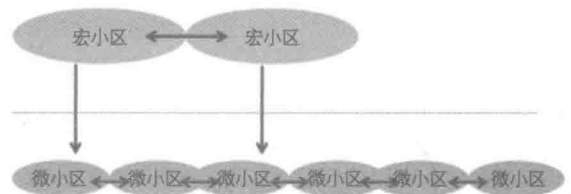


图5 覆盖于容量分离的组网方案



图注：↔ 随机驻留 → 倾向驻留

图6 层覆盖组网示意

4 结束语

5G通信系统使得未来超密集组网成为解决局部高流量密度的主要技术手段,超密集组网的到来将使得实际部署的基础设施资源远超出现网小区的密度及规模,未来如何进行超密集组网的网络结构规划以及站址部署将显得十分重要。文中基于现网数据进行演进分析,结合5G可能使用的网络频段,提出几种未来超密集组网优先考虑的典型应用场景,并提出一种超密集组网方案思路。未来网络建设将拥有更好的网络覆盖及网络容量,降低网络部署尤其是超密集组网部署的复杂度和成本也是至关重要的。

参考文献

- [1] 中国移动通信有限公司研究院.5G网络技术架构白皮书[Z].2016
- [2] 张建敏,谢伟良,杨峰义.5G超密集组网网络架构及实现[J].电信科学,2016,32(6)

[3] 杨随虎.5G移动通信相关技术与国内发展趋势展望[J].自动化与仪器仪表,2016(11)

[4] 李渝舟,江涛,曹洋,等.5G绿色超密集无线异构网络:理念、技术及挑战[J].电信科学,2017(6)

[5] 戴源,朱晨鸣,王强,等.TD-LTE无线网络规划与设计[M].北京:人民邮电出版社,2012

如对本文内容有任何观点或评论,请发E-mail至ttm@bjxintong.com.cn。

作者简介

赵沛 工程师,现就职于中国移动通信集团设计院有限公司,主要研究方向为无线网规划咨询设计。

陈儒 高级工程师,现就职于中国移动通信集团设计院有限公司,主要研究方向为无线网规划咨询设计。

赵婧 高级工程师,现就职于中国移动通信集团设计院有限公司,主要研究方向为无线网规划咨询设计。

基于5G的智能网联汽车技术应用研究

张茂磊 徐培财

中国移动通信集团设计院有限公司黑龙江分公司

摘要 基于5G网络技术对智能网联汽车的技术应用进行研究,介绍智能网联汽车的网络架构,由此引出移动自组织网络的设计,并对移动自组织网络内信息权值算法及移动自组织网络间信息交互方式进行研究,最后基于排队论对车辆通行方案设计进行探讨分析,为智能网联汽车的发展与实际应用提供理论依据。

关键词 智能网联汽车 移动自组织网络 信息交互 排队论 设计

1 引言

随着互联网和可移动网络设备的持续发展,作为当前主流通信技术的4G通信系统已无法满足人们对更加智能、便捷、高效的生活方式的要求。5G具有大带宽、高速率、低时延、高可靠性、提供海量数据连接等特点,使实现真正的万物互联成为可能。近年来由于汽车数量持续增长引起的交通安全、出行效率等问题变得越来越严重,依托于5G网络技术的智能网联汽车逐渐进入人们的视野。

2 智能网联汽车网络架构

智能网联汽车需搭载先进的传感器、无线识别器、执行器及自动控制器等设备,并以车内网、车际网及车载移动互联网为基础,融合现代网络技术,具有对复杂环境的辨识能力、自动控制及智能决策功能,使目标车辆能与外部任何节点之间相互连接,从而实现海量信息的实时共享及协同控制,是提供安全、稳定、高效、绿色、舒适的出行体验的全新智能汽车。

智能网联汽车网络架构如图1所示。

智能网联汽车是车内网、车际网及车载移动互联网三网融合的网络架构体系。车内网是采用总线技术建立的一种标准化整车网络,在单个汽车个体内部形成控制器局域网,实现汽车内部多种智能化互操作。车际网是通过专用短程通信技术在一定范围内实现车与车、车与其他路侧单元的实时双向通信,将车辆及其他信息有机连接;车载移动互联网是车载终端设备通过5G通信技术与互联网进行实时互联的无线网络。

3 移动自组织网络设计

3.1 基于5G的移动自组织网络结构

车辆在行驶过程中需要对各种可能出现的状况进行预判,信息种类繁多且数量巨大,对各类随时可能出现变化的信息要做到可靠、实时地收集及处理尤为重要。在庞大的基数下,要将所有车辆及周边相关的路侧信息数据进行交互难度非常大,且会造成资源的浪费。随着与车辆距离的增加,数据信息相关性呈现下降的趋势。当距离超过一定的数值时,数据信息交互的作用已不明显,因此可以搭建移动自组织网络,将需要进行信息交互的车辆归属到特定的小型网络体系内,在自组织网络内的信息认为都是相关的,其他信息可暂时不考虑。自组织网络可以认为是车内网、车际网及车载移动互联网三网融合的临时性自治网络体系,移动终端间通过无线信道形成的网络拓扑结构会随着车辆位置的变化、其他路侧信息的变化及时间的推移发生动态变化,且变化的趋势、速度、结构及内容具有不可预测性。

利用5G网络具有大带宽、高可靠性、低时延、海量数据连接的特性进行移动自组织网络的构建,有效避免无线网络容量受限无法加入移动自组织网络的情况,使每辆汽车及相关的信息都接入到相应的小区内,处于该小区内的车辆可以收集并处理其他车辆及路侧相关信息,网络内必须进行信息的共享及协同控制。当车辆行驶到另一个小区的覆盖边缘时就会自动脱离当前的自组织网络,平滑地切换到新的自组织网络,在该自组织网络内部进行与前一网络相同的信息处理与交互动作。不同的自组织网络间要设置合理的切换带以保证平滑的切换过程,并可以收集本网

络及其他网络切换带边缘的数据信息，保证合理配置。位于切换带内的车辆及路侧信息按照信号强弱及特定的判定规则界定其接入哪一个移动自组织网络中。智能网联汽车移动自组织网络示意如图2所示。

3.2 移动自组织网络内信息权值算法分析

在一个特定的自组织网络内部，判定数据信息相关程度对自动控制及智能决策至关重要，文中对移动自组织网络内信息权值算法进行了研究分析。

假设信息载体与车辆距离为 L_i ；在 L_i 处共有 j 个数据信息，分别假设为 a_{ij} ；每个信息的相关性根据信息重要程度的不同有一定差别，分别假设为 b_{ij} ，则在距离 L_i 处的信息权值 X_i 如下。

$$X_i = \sum_{m=1}^j a_{im} \times b_{im}$$

由以上分析可以得出车辆在自组织网络内部任一位置的信息权值序列 (X_n) 如下。

$$X_n = (X_1, X_2, \dots) = \left(\sum_{m=1}^j a_{1m} \times b_{1m}, \sum_{m=1}^j a_{2m} \times b_{2m}, \dots \right)$$

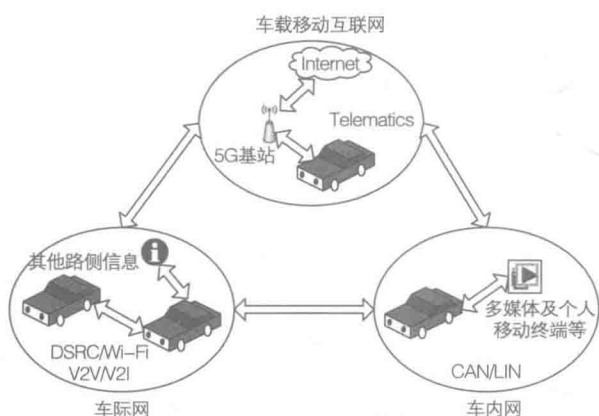


图1 智能网联汽车网络架构

车载移动互联网与数据处理中心互联，根据采集到的权值序列 (X_n) 进行数据分类处理分析，实时判断车辆及相关信息的动态，使车辆在智能网络内安全、稳定、高效、绿色、舒适地运行。

3.3 移动自组织网络间信息交互分析

为了节约资源、降低复杂度，搭建了移动自组织网络，但单个的移动自组织网络不能构成完善的智能网联汽车网络，各个移动自组织网络间还需要相互配合协作，公共信息需要共享，下面对移动自组织网络间的信息交互进行分析。

假设车辆 v 所在的移动自组织网络为 A_0 ， A_0 并不是与其他所有移动自组织网络 A_n 之间都需要信息的交互，例如 A_0 与相距80km的 A_n 之间短时间内几乎不会有任何信息的交互。即使对 A_m 感兴趣，也只是对其中的一部分信息感兴趣，例如 A_m 内道路情况、限行信息、行车速度等路况信息。因此需要通过5G无线网络与互联网建立数据处理中心负责将各个移动自组织网络的公用信息进行存储分析，当目标车辆需要其他网络内的信息时可以直接通过数据处理中心提取。

数据处理中心应包括数据管理、设备管理、信息监测、协调调度、数据采集分析、运营管理等基本功能，实现统一、安全、便捷、高效、海量的网络接入及各种终端的灵活适配。车辆配备的高精度传感器，可以采集各种数据信息，通过5G网络上报至数据中心，数据中心通过计算分析形成一个信息资源池，实现信息共享。

4 基于排队论的车辆通行方案设计

4.1 排队论基本原理

在道路中正常行驶的车辆存在大量排队过程，如等待红绿灯、交通堵塞、收费站等。以何种规则，采取什么方式进行排队，是需要研究的问题。排队论广泛应用于交通系统，解决交通中遇到的复杂的排队问题。排队论是表征服务系统因需求旺盛引起排队等待序列的现象，以及合理协调需求与服务机构之间关系的数学模型。如图3所示，排队系统有三个基本组成部分：输入过程、排队规则及服务机构。输入过程描述车辆来源及以何种规律到达排队系统；排队规则是指到达排队系统的车辆在排队等待时的通行顺序；服务机构描述车辆可以通行的车道数及服务规律。

排队系统研究的就是该系统的运行状态，通过计算系统内各项基本数据，用以分析系统的运行效率，评估系统的服务状态，从而确定该系统参数的最佳权值，对系统进行最优化设计。

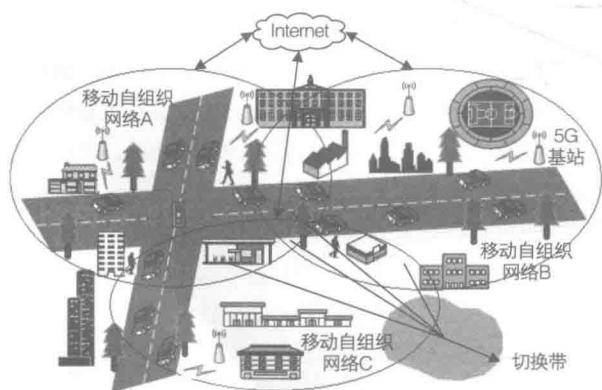


图2 智能网联汽车移动自组织网络示意



图3 排队系统示意

4.2 基于排队论模型的车辆通行方案

若按排队系统组成部分的各种可能情形对车辆排队系统进行分类,则可分成无数种类型,因此文中依据主要特征进行分类。以相继车辆到达系统的间隔时间分布、车辆在系统内逗留时间的分布及行车通道数量为分类标志。排队论模型的符号表示为: $X/Y/Z$ 。

X : 表示车辆到达间隔时间分布。

Y : 表示车辆在系统内逗留时间的分布。

Z : 表示行车通道数量。

通常情况下车辆到达间隔时间是相互独立的随机事件,近似为泊松分布;车辆在系统内逗留时间近似负指数分布。假设行车通道数量为 C 的系统为 $M/M/C$, 车辆平均到达概率为 λ , 平均通行概率为 μ , 则每辆车的平均逗留时间为 $1/\mu$, 系统负荷水平即系统利用率 $\rho_c = \rho/C = \lambda/\mu/C$ 。当 $\rho_c < 1$ 时系统稳定, 当 $\rho_c \geq 1$ 时系统不稳定, 也就是处于车辆饱和状态, 继而可能出现交通拥堵的情况。在车辆交通系统中系统利用率是衡量系统在承担车辆通行及满足容量需求方面的尺度, 是一项主要指标, 除此之外衡量车辆排队系统还有其他几项指标。

(1) 系统中有车量的概率。

$$P_0 = 1 / \left(\sum_{k=0}^{C-1} (\rho^k / k!) + \rho^C / (C!(1-\rho/C)) \right)$$

(2) 系统中平均排队长度。

$$\bar{q} = \frac{\rho^{C+1}}{N \times N} \times \frac{P_0}{(1-\rho/C)^2}$$

(3) 系统中平均车辆数量: $\bar{n} = \bar{q} + \rho$ 。

(4) 系统中平均消耗时间: $d = \bar{q} / \lambda + 1 / \mu$ 。

(5) 平均等待时间: $\omega = \bar{q} / \lambda$ 。

从以上指标中可以分析出排队系统中的各种车辆及相关信息的运行状态, 数据处理中心根据统计分析结果使所有处于网络中的车辆能及时准确地获取到相关信息, 此可以让车辆选择最短路径或最快时间到达目的地。在实际统计应用中需要注意, 各种事件的随机过程可能有一定的误差, 计算得到的结果需要进一步拟合取整处理, 才能让

结果更加贴近实际。

5 结束语

智能网联汽车已经逐步成为一种大趋势, 人类对出行方式的便捷性、舒适性、安全性、高效性的要求越来越高, 这也促使车辆向智能化及网络化方向发展。

智能网联汽车涉及的内容繁多复杂, 部分技术还在研究阶段, 如移动自组织网络的边界如何界定, 移动自组织网络内信息权值具体如何分类, 对移动自组织网络间需要交互信息的具体内容及分类, 数据处理中心对采集到的信息处理分发方式, 排队系统中的数据应用分析等技术问题还需进一步深入研究, 甚至有些问题还需要5G网络搭建成功后进行实际测试验证分析解决。相信随着5G网络技术的实现, 在不远的将来一切问题都会迎刃而解, 人类将会拥有全新的出行体验。

参考文献

- [1] MUMTAZ S, SAIDUL HUP K M, ASHRAF M L, et al. Cognitive vehicular communication for 5G[J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(7)
- [2] ENGOULOU R G, BELLAICHE M, PIERRE S, et al. VANET security surveys[J]. Computer Communications, 2014, 44(5)
- [3] SHIVALDOVA V, SEPULCRE M, WINKELBAUER A, et al. A model for vehicle-to-infrastructure communications in urban environments[C]. IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW), 2015
- [4] TEHRANI M N, UYSAL M, YANIKOMEROGLU H. De-vice-to-device communication in 5G cellular networks: challenges, solutions, and future directions[J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(5)
- [5] Dheerthi N, Kiruthikamani G. Real time data monitoring system with intelligent vehicle tracking using ARM7[C]. Communication Technologies, IEEE, 2015
- [6] ASHOK SARKAR, ARUP RANJAN MUKHOPADHYAY, SADHAN KUMAR GHOSH. Productivity improvement by reduction of idle time through application of queuing theory[J]. 2015, 2(2)

如对本文内容有任何观点或评论, 请发E-mail至ttm@bjxintong.com.cn。

作者简介

张茂磊 硕士, 工程师, 现就职于中国移动通信集团设计院有限公司黑龙江分公司, 主要研究方向为无线通信网络的规划设计。

徐培财 本科, 高级工程师, 现就职于中国移动通信集团设计院有限公司黑龙江分公司, 主要研究方向为无线通信网络的规划设计。

CU-DU通信架构关键技术与探讨

刘洋 刘亮 胡南

中国移动通信研究院

摘要

首先,介绍CU-DU通信架构标准化研究的重要性;其次,介绍CU-DU通信架构的协议栈分布,并介绍几种CU-DU通信架构下F1接口的典型流程,阐述DU具有某些RRC层功能的必要性;最后,分析在商用部署中不同种类5G基站应用的侧重点和CU-DU通信架构的引入对于传输网可能造成的影响。

关键词

CU-DU架构基站 协议栈分离 CU-DU架构实际部署考量

1 概述

将传统BBU重构为CU (Centralized Unit, 集中节点)和DU (Distributed Unit, 分布节点)两级架构的研究和标准化相关工作已经成为5G技术的一大热点。其中,驱动CU-DU架构标准化的原因有以下几点。

(1) 应对非连续组网,提升用户移动性能:相比前几代移动通信系统,5G预计将部署于更高的频段,因此,可以预见运营商需要部署更密集的基站来满足网络覆盖需求。在这种情况下,在5G高频段微蜂窝之上部署控制面和数据面统一的锚点CU是很有必要的,因为其可以实现5G小区间的快速切换,有效提升移动鲁棒性。

(2) 实现4G/5G融合组网:CU作为锚点可以实现4G与5G的数据分发,减少数据在4G与5G基站的链路迂回,更高效地实现4G与5G的双连接。

(3) 提升小区间的协作能力:随着更高频段产品的引入,异构网场景将会逐渐增多。在该场景下如采用CU-DU分离方案,可通过部署多个DU锚点的CU,实现多个基站间的协作,进一步降低小区间的干扰。

从上述分析可以看出运营商有必要仔细研究全新CU-DU架构基站的技术细节和分析可能的部署策略。

2 CU-DU架构协议栈分布

5G接入网分为CU和DU两种逻辑节点,CU和DU间通过F1接口相连。其中,CU完成RRC/SDAP/PDCP等低实时性要求的高层协议栈功能,DU完成RLC/MAC/PHY等高实时性要求的低层协议栈功能。

其中,在5G NR中新引入的SDAP层承担从QoS数据流到数据无线承载映射的作用。

传统一体式基站的协议栈在PDCP层和RLC层之间进行切分从而产生高层和底层两部分。其中,高层部分划归于CU而底层部分属于DU。自然通过比较也可以看出,这种切分运作方式与4G标准中已采用的双连接2C架构中的绿色承载颇为相似。绿色承载的PDCP层位于主基站(MeNB),而RLC层和MAC层位于辅基站。

那么这种相似性的出现是某种巧合么?实际上在3GPP制订标准的过程中,各成员单位提出过多项高层CU-DU协议栈切分选项,最终切分选项成功被采纳进标准很大程度上也是因为这种切分选项在之前的双连接标准化过程中已经被充分研究过并且投入产品商用;标准化和实际运用成熟度均较其他选项高成为其一大加分项。

在之后标准的制订研究过程中,经过讨论,各成员单位也发现了CU-DU切分的一些不足,如:因为CU-DU之间接口传输时延不确定性的问题,位于CU的RRC层对于原本应由其传递出去的底层的参数,如帧序列号等,可能无法做到在准确的时间点告知给终端。所以,3GPP也规定将一些RRC的功能如系统广播信息生成和RRC信息解码等下沉到DU。

3 CU-DU架构基站典型流程

此部分旨在分析一些CU-DU架构基站典型流程,如F1接口建立,系统广播信息生成与传递,终端初始随机接入和CU内部切换。

3.1 F1接口建立

在建立F1接口流程开始之前,运营商首先需要将CU部署好,并将CU的传输层地址输入OAM。之后,在DU入网之后,DU首先从OAM获取CU的传输层地址,然后向获