



2017

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

2017 National Conference on
Wireless & Mobile Communication
(WMC'17)



中国工信出版集团

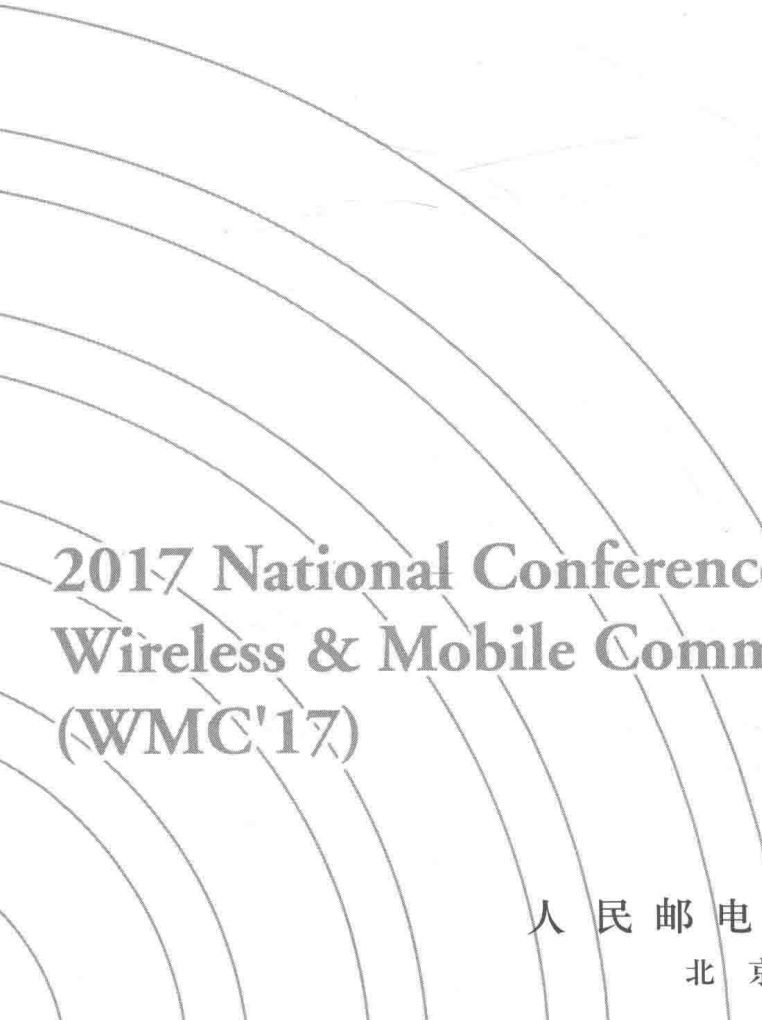


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



2017 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



2017 National Conference on
Wireless & Mobile Communication
(WMC'17)

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目（C I P）数据

2017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，2017.10

ISBN 978-7-115-47065-2

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(2017)第243209号

内 容 提 要

2017全国无线及移动通信学术大会论文集共收录论文108篇，内容涵盖5G技术与研究、4G技术与研究、NB-IoT技术与研究、无线网络规划与建设、无线网络运维与优化等领域，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。

2017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>
北京光之彩印刷有限公司印刷
- ◆ 开本：880×1230 1/16
印张：31.375 2017年10月第1版
字数：904千字 2017年10月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-47065-2

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

2017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国家无线电频谱管理中心教授
阚润田 工业和信息化部无线电管理局巡视员/高级工程师
王志勤 中国信息通信研究院副院长/教授级高工
沈少艾 中国电信集团公司技术部副总经理/教授级高工
黄宇红 中国移动研究院副院长/教授级高工
刘晓甲 中国联合网络通信集团有限公司技术部副总经理/教授级高工
窦 笠 中国铁塔通信技术研究院长/教授级高工
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： 沈少艾 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： 束 锋 中国通信学会第八届无线及移动通信委员会委员
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： 张光辉 余小明 王庆扬 丁海煜 刘光毅 李 新
邹 勇 孟令彬 李福昌 郭景赞 李佳俊 洪卫军

序 言

随着现代无线通信技术的不断发展,一个万物感知、万物互联、万物智能的社会正在快速到来,泛在智能将如影随形,实现从人与人到万物之间的智慧互动与智能升级。为更好地交流展示无线及移动通信领域新技术交流与合作,加强政府管理层、学术界和产业界之间的联系,推动我国无线与移动通信产业快速健康发展,中国通信学会无线及移动通信委员会于2017年10月12日在南京理工大学召开2017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、中国电信集团有限公司、南京理工大学、华为技术有限公司联合承办,工业和信息化部无线电管理局指导。

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“2017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技术与研究、4G技术与研究、NB-IoT技术与研究、无线网络规划与建设、无线网络运维与优化等诸多领域,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、管理机构的不创新探索和探索。

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108篇高质量论文,具有较高参考价值,由人民邮电出版社正式结集出版,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

二零一七年十月

目次

5G 技术与研究

面向5G的C-RAN技术与规划案例分析	刘方森 王 建 王仔强 王祖阳	1
5G低时延高可靠性的实现与分析	张 轶 夏 亮 侯雪颖 刘光毅 杨 光	6
4.5G网络容量提升技术及其性能分析	焦燕鸿	9
5G多波束赋形小区随机接入分析	刘 洋 刘 亮	13
5G频谱规划助力5G领跑	李文祺 张炎炎 王宝聪	18
5G切片组网及其模型安全功能新框架	月 球 肖子玉	21
5G车联网现状	姚 岚 何文奇	26
5G网络标准化进展	王海宁 朱雪田 雷 波	30
5G网络终端直接通信及其无线资源管理技术研究	赵 勇 谢伟良 杨峰义	34
5G高频段传播特性的研究方法	朱文聪 李伟林 刘华春	39
面向5G的室内覆盖方案趋势分析	薛 楠 邹 勇 李 娟 孟令彬 李新中	42
“5G+共享”打造陕西第一条智慧高速公路 ——陕西铁塔智慧交通解决方案探索与实践	赵小龙	48
满足空间分布的5G网络大规模天线波束赋形分析	钟 程 赵 喆	52

4G 技术与研究

TD-LTE网络VoLTE语音质量问题分析定位研究	张洪伟 吴 磊	56
LTE网络结构评估体系研究	耿鲁静 徐德平 左怡民 孙 琛 武琳栋 刘 欣	62
4G新型伪基站方案分析与对策	阮 航 王曦泽 王小旭	66
eMTC速率性能及对LTE影响探讨	赫祯诺 高向东 郭宣羽	71
LTE基站射频连接器创新方案	曹景阳 许灵军 王大鹏 丁海煜	76
LTE伪基站思考	邓 也 秘俊杰 古莉姗 储刘庆	80

TD-LTE高铁性能提升方案研究	刘建华 阮 航 郝 悦 张 龙 陈晶晶 闫 渊 徐晓东	86
TD-LTE自系统干扰排查思路及解决方法	邓 也 古莉姗 储刘庆 牛 春	92
VoLTE视频质量要求及测试方法	刘 雅	97
高速铁路LTE网络规划研究	戴高杰	101
LTE多频组网协同优化策略研究	关建令 张 鑫 安新朝 李 兵 索 坤	108
LTE网络移动鲁棒性优化功能应用研究	安新朝 索 坤 王占华	112
4G干扰主动发现与快速排查研究	顾斌斌 郭 辉 陈大明 张大伟	117
4G手游无线侧时延研究	张大伟 郭 辉 陈大明 顾彬彬	125
4G接入信道规划研究	金益源 孙智强	131
CATV在LTE网络中解决室分覆盖盲区的创新应用	张 超 王雪磊	138
LTE网络功率分配参数研究	邓志芬	141
LTE多频协同策略研究	王煜辉 彭东升	145
LTE负载均衡机制的实现方法研究	张儒申 陈晓芳 曹逸文	150
地铁4G+网容量覆盖技术专题研究与实践	毛勇平 何 坤	155
对构造无线天馈系统覆盖性能的综合评估模型探索	徐 爽	159
多载频LTE中VoLTE业务承载思路探索	刘思聪	163
基于LTE-MR数据的网络覆盖质量与需求分析	杨 岩	167
精确打造万个楼群深度覆盖差异化4G竞争优势研究	刘湘梅 段潇君 易爱华	172
4G双流比原因定位与优化分析	原 杰	176
热点区域4G空分复用容量增强方法探讨	余 超 郭松林 刘 畅	184
探讨感知资源负荷对4G视频速率影响的评估体系	夏金光 陈 灿	187
CA载波管理策略研究	冷 俊 张 进 谷俊江 宋 峻	191
FDD Massive MIMO关键技术研究及性能分析	韩玉楠 李福昌 张 涛 张忠平 林泽峰	199
LTE网络典型场景下小微基站部署方案研究	赵春雷 夏 晶 赵 峰	204
LTE网络无线扩容模型研究	张 进 谷俊江 杨福理 殷海云 周菊华	207
爱立信LTE设备通道智能关断与能耗压降	王小丽 苏 钢	211
高铁场景LTE网络负荷分级评估及容量提升分析	谷俊江 张 进 杨福理 刁振宇 盛莉莉	214

NB-IoT 技术与研究

蜂窝物联网/LTE FDD工程建设方案选择分析	邓安达	程日涛	刘 群	李 斌	周双波	杨 辉	222
NB-IoT小区重选性能分析及优化	李秋香	李 新	高向东	徐芙蓉	杨 光		227
蜂窝物联网低功耗性能研究					王桂英	孔露婷	232
蜂窝物联网通用模组关键技术研究	翁玮文	厉正吉	李 燕	潘 璐	曹 蕾		236
蜂窝物联网终端OTA测试技术研究				邢金强	马 帅	肖善鹏	238
蜂窝物联终端测试认证挑战与解决方案				孔露婷	邢金强	肖善鹏	241
NB-IoT随机接入过程及优化研究		李艳芬	朱雪田	张光辉	李建光		246
中国电信NB-IoT网络部署和现网覆盖能力研究					喻 力	张 键	250
安徽NB-IoT无线覆盖能力研究					朱海龙	彭东升	254
NB-IoT建设方案及部署研究				郭宗霞	吴 坚	李 辉	258
基于虚拟化EPC核心网的NB-IoT业务专网部署研究		周 雁	张 芳	陶伟宜	李 伟		261
NB-IoT 1:N组网模式可行性				王建斌	方嘉斌	余 毅	266
NB-IoT网络关键性能能力及业务需求分析				刘从柏	高 月	黄慧媛	270
NB-IoT智能水表应用分析				金志涛	赵志强	王建伟	274
eMTC关键技术研究及其应用		张志荣	李志军	张光辉	朱雪田		278
窄带物联网在燃气行业的应用实践		蒋永彬	周 雁	朱文聪	李 伟		282
蜂窝物联网技术发展及部署研究						刘亚楠	286
中国电信NB-IoT和eMTC商用网络部署策略研究				刘从柏	黄慧媛	高 月	291

无线网络规划与建设

高清音频编解码技术的演进						厉正吉	295
基于电信运营商大数据分析的个人征信评估模型				杨 晟	王正洪	施元元	300
基于机器学习的无线电信号识别	尹 良	刘红杰	刘晓普	游思晴			303
面向未来网络的空间电磁信息服务云平台		刘红杰	尹 良	郭 健			308
全景智测平台的设计及应用		郭 健	刘红杰	张 欣			312

高铁沿线公网覆盖场坪站分类及设置原则研究	路 垚	317
工业互联网标识管理与解析平台技术方案探讨	孟令彬 邹 勇 薛 楠 李 娟 李新中	323
基于油机配送车辆分配及路径规划研究	陈志坚	327
泰森多边形在中国铁塔站址规划中的应用	王亚昕 王尚奇 李 明 李 威	332
基于大数据的B2I2C用户分析及保障方法	曹 扬 刁振宇 刘丹丹	335
盐城联通识别和规避公安监控伪基站干扰的创新方法研究	征国庆 徐永东	338
中国铁塔发展能源互联网	袁幽然	341
生物识别技术在金融行业的应用研究	刘婧雯 郭漫雪	344
大数据在频谱管理中的应用	王贞凯 李长峰 刘华春	348
移动通信数据开放平台的研究	杨 乐 胡贵宾	351

无线网络运维与优化

新能源供电系统优化改造实例分析	张彦才	354
基于MRO数据的用户定位分析及算法优化	赵春阳 张 楹 何 川 王 蔚	358
大数据在集中网络优化中的应用分析	王首峰 张冬晨 陈方琼 方 芳	365
人工智能及其在网络优化运维中的应用	王西点 王 磊 龙 泉 程 楠 沈 鹭	369
利用大数据开展基于用户感知优化的研究	柏 杨 张思为 魏 宏 陆轶凡 齐景立	374
无线定位特征库校准方法在精细网优中的应用	杨烨华 耿鲁静 孙林洁 姚文闻 孙 琛 徐德平	378
PCI自配置功能的改进优化方法	宋晨杰 张天韵 姚 坚	383
基于AGPS-MR的高铁LTE网络优化探究	程元明 蒋 敏	388
基于MRO的4G网络智能切换优化	王 毅 彭东升 俞文波 但德东 程晓东	392
基于空间RF数据挖掘的跨网规划与射频优化	梁铭倩 段潇君 徐 凡 贝旭峰 杨华导 易爱华	399
基于用户感知的FDD-LTE网络容量预警与优化研究	施兆阳 胡 靖 李姝越	404
基于用户呼叫记录分析的精细优化	吴 强	410
利用无人机进行无线网优场景3D建模的创新应用	周志强	415
4G云图实现网络质量可视化动态评估	曾 涛 梁铭倩 向德运	418

A-GNSS信息在LTE网络优化中的应用与实践	杨帆 杨乐	423
高速隧道深度覆盖解决创新方案		
	彭玉新 安新朝 董涛 付亚宁 郭晶 陈磊 周国庆 王禹斯	427
利用空间数据库结合最小化路测技术实现城市道路覆盖质量监控	谢卓昱 梁铭倩	431
公安仿真基站对中国电信LTE网络的影响及优化策略	李俊龙 方斌	434
移动网络质量客户投诉预警方法研究	鄂雪妮	439
LTE侧CFSB网络优化提升思路	徐永东 征国庆	441
IPX网络建设方案研究	许元波 刘海	447
基于CQI的LTE网络容量与感知优化研究	周菊华 谷俊江 朱序均	452
基于PCI合理化的LTE移动网络优化	吴非帆 赵煜	459
基于SDN技术的异构无线网络均衡研究	范恒 王正洪 李智	465
基于大数据的无线网络健康指数评估体系	于洋 张进 谷俊江	468
基于大数据投资效益分析的无线网络规划方法	张鹏 乔云	473
基于校园场景的LTE负载均衡优化	张国光 赵煜 吴非帆 李金明	476
依托MR大数据分析平台实现无线虚拟测试	于洋 张进 谷俊江 杨福理	481
异构网络架构下的无线网络结构化规划	田元兵 陈玲 高和	486

面向5G的C-RAN技术与规划案例分析

刘方森 王 建 王仔强 王祖阳

中国移动通信集团设计院有限公司山东分公司

摘要

为更好地做好现阶段的4G C-RAN规划和分阶段实施工作,以下分析未来5G技术对网络架构产生的影响,为现阶段C-RAN工作提供经验分享和案例参考。重点分析未来5G无线网设备形态,基于NGFI+C/U分离的RAN架构,并以某地区C-RAN区域划分、机房规划为实际案例,介绍其向5G网络架构演进的预判和思考。

关键词

5G C-RAN CU/DU

1 引言

C-RAN是通过集中化部署基带处理单元,组成基带单元池,并通过高速的光传输网络和分布式的远端无线模块,实现多小区分层协作,构建低成本、低消耗的绿色无线接入网。通过引入无源波分设备WDM和CPRI压缩技术,一定程度上解决了前传网络的光纤资源消耗过多的问题。在4G网络建设中,部分省市的规模部署和长期运维验证证明了C-RAN组网方式在综合成本、无线协作化抗干扰、降低能耗等方面优势明显,也证明了C-RAN采用无源WDM(彩光)传输方案的10站以下的小规模集中,降低了对机房的配电、空间、可靠性等要求,运维难度、故障率等都未明显上升。

面向5G方面,C-RAN在引入网络功能虚拟化NFV框架后,带来了无线资源灵活调度的优势;基于集中/分布单元CU/DU的两级架构已经被业界所认可,这一网络架构与无线云化的结合,构成5G C-RAN的两个基本要素。

5G的C-RAN应具备集中化、协作化、云化和绿色4大特征,其中集中化、协作化和绿色通过目前集中化部署基带处理单元可实现。目前规划适当考虑C-RAN云化趋势,未来CU/DU设备分场景部署策略。

2 面向5G的C-RAN技术

2.1 5G无线网络设备

5G RAN架构考虑采用中央单元(CU)和分布单元(DU)独立部署的方式,以更好地满足各场景和应用的需求。CU与DU功能的切分以处理内容的实时性进行区分,如图1所示。CU设备主要包括非实时的无线高层协议栈功能,

同时也支持部分核心网功能下沉和边缘应用业务的部署,DU设备主要处理物理层功能和实时性需求的层2功能。

需要说明的是,以下基于LTE的协议栈进行分析和研究,聚焦于RRC、PDCP、RLC、MAC以及物理层等协议层。RAN架构中CU-DU的分割方式如图2所示。

DU与RRU/AAU切分需要考虑降低RRU/AAU复杂度同时控制接口速率,以Option7方案为例,前传峰值速率约30Gbit/s。DU与CU切分主要考虑集中化性能提升,目前标准化已基本采用Option2方案,接口峰值速率约6Gbit/s。

- Option2: 类似于双连接中3C的切分方式。RRC和PDCP位于中央单元CU中,RLC、MAC、物理层和RF都位于分布单元DU中。

- Option7-1: 上行方向上,FFT、CP去除以及PRACH过滤功能都在DU中,其他物理层功能在CU中。下行方向上,iFFT和CP添加功能在DU中,其他物理层功能在CU中。

- Option7-2: 上行方向上,FFT、CP去除、资源解映射以及预滤波功能都在DU中,其他物理层功能在CU中。下行方向上,iFFT、CP添加和预编码功能都在DU中,其他物理层功能在CU中。

- Option7-3: 仅用于下行方向上。编解码位于CU中,其他物理层功能位于DU中。

2.2 基于NGFI+C/U分离的RAN架构

为解决CU/DU/RRU(AAU)间的传输问题,引入NGFI(下一代前端传输接口),在《IMT-2020(5G)推进组-5G总体白皮书2.0》中对NGFI进行了详细描述。NGFI

网络用于连接无线云中心RCC和远端无线处理系统RRS，在RCC引入资源调配控制单元进行分层协作化，有效地解决高容量和高密度网络中的干扰问题；RCC是折中服务用户数和业务时延需求的业务下沉部署点。RRS汇聚小范围内RRU信号经部分基带处理后进行前端数据传输，支持小范围内物理层级别的协作化算法，适用于宏微覆盖HetNet场景和密集UDN高容量场景。基于NGFI的C-RAN无线网络架构如图3所示。

RCC可实现跨多个RRS间的大范围控制协调和协作化算法以及多小区控制面/用户面逻辑上的分离，并且为网络开放接口API和虚拟化提供部署点。

5G C-RAN基于CU/DU的两级协议架构、NGFI的传输架构及NFV的实现架构，形成了面向5G的灵活部署的两级网

络云构架，基于CU/DU的C-RAN网络架构如图4所示。

未来5G的C-RAN与现有C-RAN相比，继承集中化、协作化、云化和绿色优秀特征，同时引入新空口、新的网络架构，进一步拓展C-RAN技术优势。随着CU/DU和NGFI的引入，5G C-RAN逐渐演变为逻辑上两级集中：第一级集中沿用BBU放置，实现物理层处理的集中；第二级集中是引入CU/DU后无线高层协议栈功能的集中，将原有的eNodeB功能进行切分，部分无线高层协议栈功能被集中部署。

2.3 C-RAN关键技术

2.3.1 无线可编排技术

未来无线网络组网方式及实现形式变得更加灵活，但也增加了管理维护的复杂性。为了具备灵活部署和无线网制式按需配置的能力，需要增强的实体编排组合功能。在无线设备云化的基础上，利用NFV的框架提供无线网络编排能力，防止C-RAN需求的碎片化。

2.3.2 无线协议栈功能

C-RAN两级架构主要由CU和DU两类设备形态构成。二者的功能定义以3GPP切分方案为基础，适应5G网络多样化的部署需求，保证业务性能、数据传输和运维的均衡。期望在3GPP网元定义的基础上，进一步细化切分准则，将无线功能切割为更小的功能单元，进一步完善3GPP中CU与DU的功能定义。

2.3.3 硬件平台

在现有NFV架构下引入时间同步和通信加速器等硬件资源，时间同步资源保证无线协议栈处理的实时性，通信加速器资源低成本、低功耗实现大规模数据处理和运算。

在容灾备份方面，集中式的CU设备由于覆盖范围较

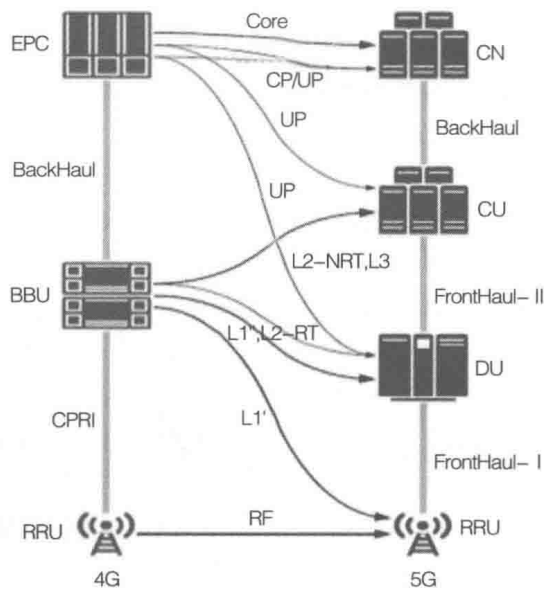


图1 从4G单节点到5G CU/DU两级架构

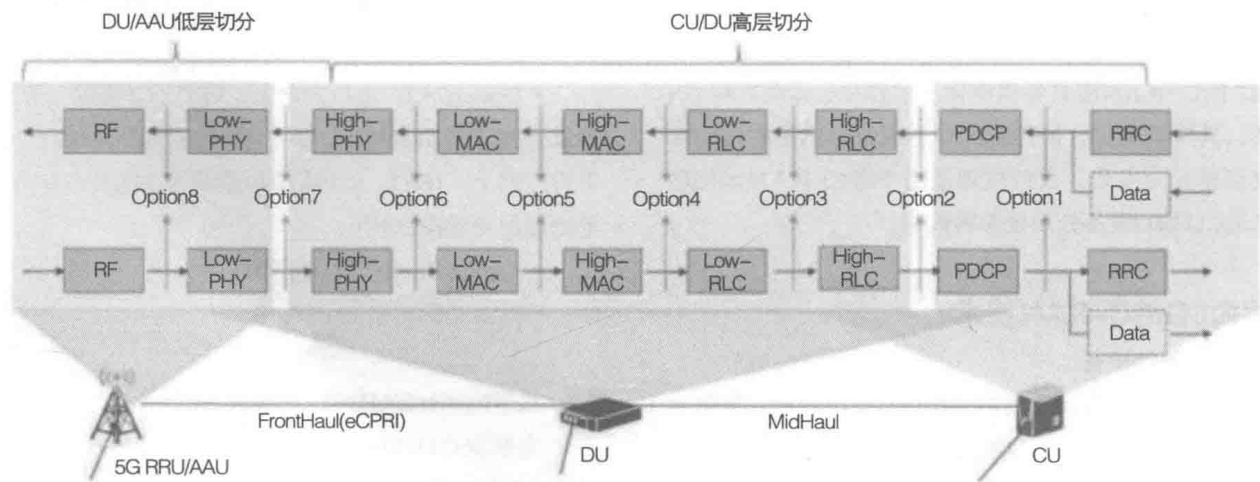


图2 RAN架构中CU-DU的分割方式

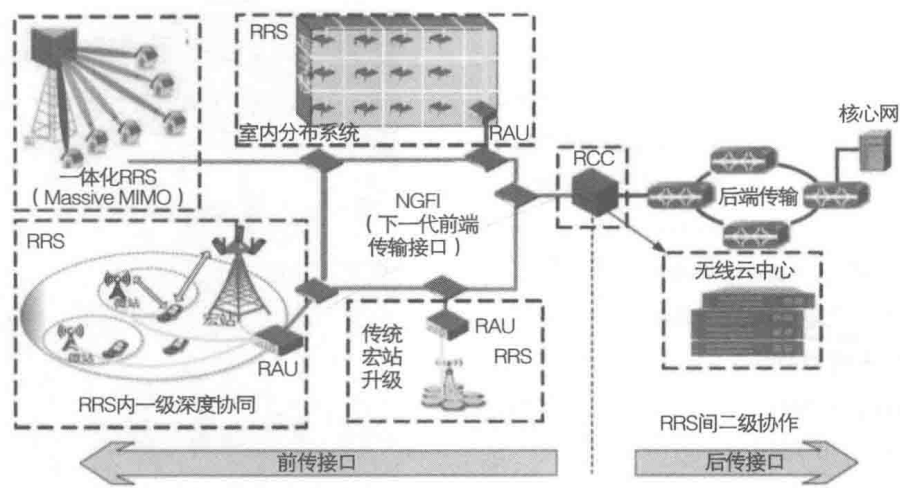


图3 基于NGFI的C-RAN无线网络架构

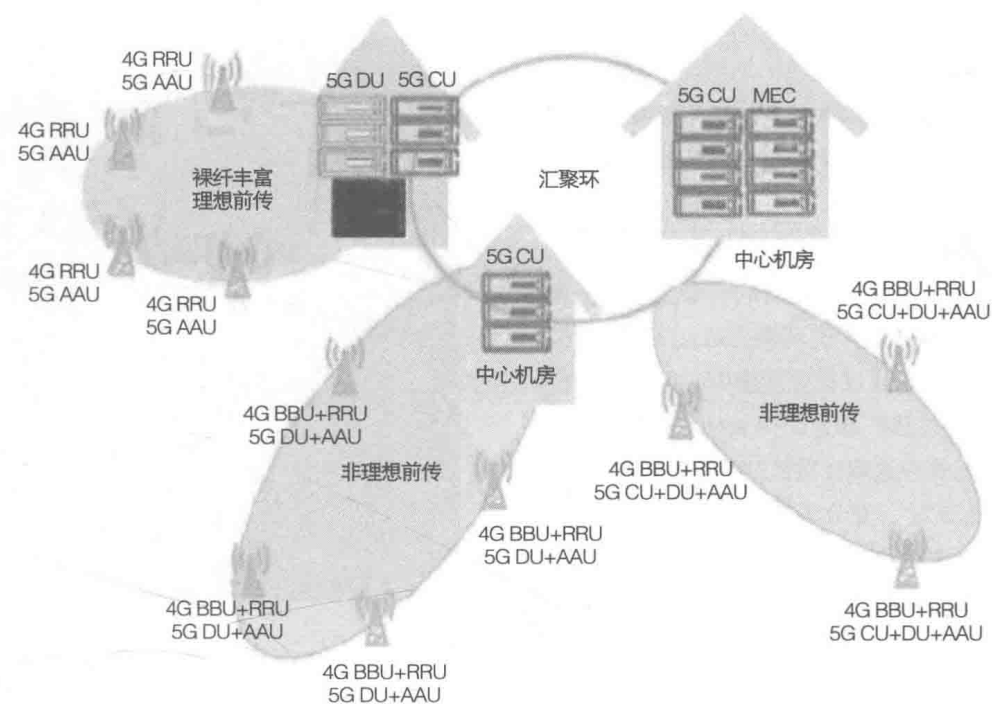


图4 基于CU/DU的C-RAN网络架构

大，需要进行高可靠性的容灾备份。在具体硬件形态方面，根据无线网络在小型、边缘化数据中心部署的特点，服务器设备应该支持模块化部署和在一个机框内不同类型节点的灵活配置和扩展，降低功耗、便于运维管理。

3 C-RAN规划分析

未来C-RAN架构由CU和DU两类设备形态构成。CU/DU部署方式的选择需要综合考虑多种因素，包括业务的传输需求（如带宽、时延等）、接入网设备的实现要求和运维难度等。CU可以集中协议栈低实时性的功能，采用集中部署的方式；DU可以集中协议栈高实时性的功能，可

采用分布式部署的方式。另外，CU/DU的切分需考虑网络切片概念在无线侧的实现方案，因此DU的部署会基于应用场景有所不同。

现阶段做C-RAN规划，主要考虑基于已有的传输综合业务区（重点考虑机房资源、传输资源）、自留基站机房进行初步规划，基本采用“整体规划，分步实施”策略。在后续的分步实施阶段，建议适当考虑未来5G应用场景，提前做好网络结构调整：CU设备集中在传输机房、大型4G C-RAN机房内；DU设备尽量接近部署应用场景，根据应用场景的不同，可选择堆叠在CU机房内，也可分散部署在自留机房、基站机房或者室外一体化综合机柜内。

3.1 某地区4G C-RAN规划

选择在市县城区站址比较密集，适合集中部署BBU区域作为C-RAN规划区域。C-RAN区的规划依托综合业务区实施规划，规划初期一个C-RAN区域的大小与9~11个物理宏基站所在区域大小相近。

3.2 C-RAN区域边界的划分

要求C-RAN区域在地理上连续，以综合业务区边界为基础，适当结合本地区城市规划。例如以城市内公园、河流、山川、铁路为界，以城市功能区的划分边界为界等。另外，城区内C-RAN区域尽量“方正”，避免“长条”状，城市主干道两侧站点C-RAN区便于调整，某地区C-RAN区域的初步划分如图5所示。

3.3 C-RAN机房的选取

以准确预估C-RAN区域内未来站址的发展和分布情况为基础，优先对已有的、配套情况良好的传输机房进行利旧。

机房大概位置选取，可适当结合C-RAN区域的范围：C-RAN边界与城市主干道较吻合的，考虑在主干道旁边的传输机房，便于后续主干道两侧的站点C-RAN区调整；长方形C-RAN区，建议优先考虑中心区域选址机房，避免机房距离基站过远；部分C-RAN区需考虑后续分裂可能，机房位置应优先选取在目前站点较多的区域。

机房具体位置选定时，充分考虑后续可实施的便捷性：在传输管道资源丰富的区域选址传输机房（尽量于综合业务区一级光交环路的光交箱附近进行选择），具备后续进出维护方便的优势，避免短期内被拆迁拆除风险等。另外，额外考虑无线主设备室外型接入GPS的室外安装位置。

机房建设标准，建议参照传输汇聚机房：新建接入节点机房应采用“自购、自建为主，租用为辅”的方式，根据新建机房面积估算情况，一般城区、县城要求可使用面积大于68m²，密集城区要求可使用面积大于75m²。考虑到后续DU设备的放置，可选择部分配套情况良好的基站自留机房作为DU的机房。

4 典型案例分析

如图6所示，东南角C-RAN区-1为港口功能区，区域内有自留机房，未来5G可能采取非理想前传组网模式，C-RAN区-1使用自留机房作为本区域5G的DU机房（目前4G BBU集中布放机房）。北侧C-RAN区-2区域为城市居民住宅区域+工厂区，目前站址密度已经较高，实现D频段

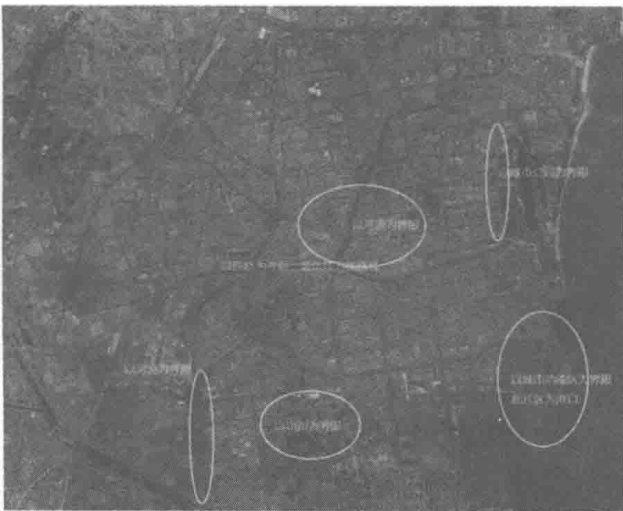


图5 某地区C-RAN区域的初步划分

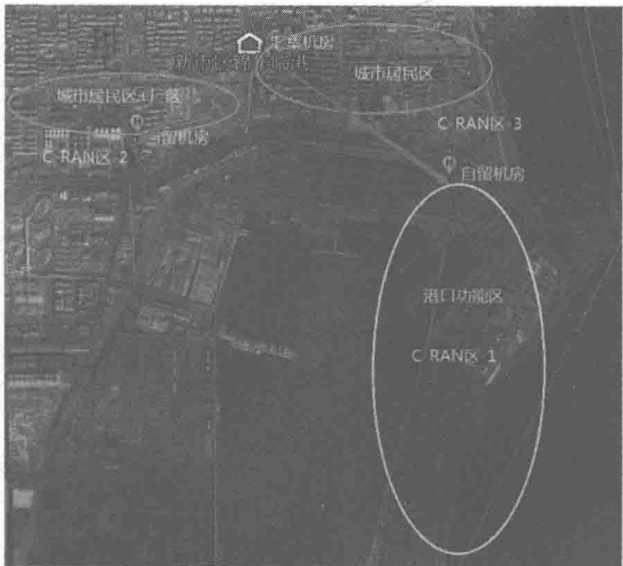


图6 典型案例分析

表1 区域组网策略

C-RAN区域	区域场景	机房情况	未来组网模式预估	CU设备	DU设备
C-RAN区-1	港口功能区	汇集机房1处	非理想前传	沿用C-RAN组网方式	沿用4G C-RAN组网方式
C-RAN区-2	居民区+厂区	汇集机房、自留基站机房各1处	混合模式	放在汇集机房	居民区场景DU放置在汇集机房，厂区场景放置在自留机房
C-RAN区-3	居民区	基站自留机房1处	理想前传	放在汇集机房	放置在汇集机房

室内外良好覆盖，未来可能采取混合传输组网模式：利用传输汇聚机房作为未来5G的CU设备及居民区场景的DU设备的集中布放机房，区域内的基站自留作为厂区场景DU集中布放机房。C-RAN区-3未来可能采用理想前传组网模

式，利旧传输汇聚机房作为未来5G的CU、DU设备的集中
布放机房。区域组网策略见表1。

5 结束语

分析未来5G可能采用的CU/DU/RRU组网架构及关键
技术以及目前4G C-RAN与未来5G组网存在的共同点，
在本阶段做C-RAN区域规划、机房选取工作的同时，充
分考虑未来5G的组网需求，分区域、分场景进行区域划分
与机房预留。

因未来5G应用还会面临更多的应用场景与其他个性化
需求，并且面临很多不确定性，本案仅作现阶段C-RAN
规划的一个参考。

参考文献

[1] IMT-2020(5G)推进组. 5G愿景与需求白皮书[Z]
[2] 迈向5G C-RAN: 需求、架构与挑战白皮书[Z]
[3] 5G网络架构设计白皮书[Z]
[4] 尤肖虎, 潘志文, 高西奇, 等. 5G移动通信发展趋势与若干关键技术[J].
中国科学: 信息科学. 2014, 44(5)
[5] 杨峰义, 张建敏, 谢伟良等. 5G蜂窝网络架构分析[J]. 电信科学.
2015, 31(5)

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

刘方森 硕士，现就职于中国移动通信集团设计院有限公司山东分公司，主
要研究方向为无线通信。

5G低时延高可靠性的实现与分析

张 轶 夏 亮 侯雪颖 刘光毅 杨 光

中国移动通信集团研究院有限公司

摘要

从低时延高可靠业务的应用场景出发，引出其具体的需求指标，进一步从网络架构、核心网以及接入网等层面分别分析低时延高可靠实现需要的潜在技术方案，最后，对上述技术方案实现所面临的问题和挑战进行分析并阐述。

关键词

5G 低时延高可靠 需求指标 技术方案

1 引言

低时延高可靠场景为5G的主要技术场景之一，主要面向车联网、工业控制等垂直行业的特殊应用需求，需要为用户提供ms级的端到端时延和接近100%的业务可靠性保证。因此，从技术场景、需求指标、潜在技术方案以及面临的问题和挑战4方面对5G低时延高可靠性的实现进行分析。

2 技术场景

面向2020年及未来，移动互联网和物联网业务是5G发展的主要驱动力。5G在满足人们多样化的业务需求的同时，还将渗透到物联网及各种行业领域，与工业控制、智能医疗、自动驾驶等深度结合，真正实现万物互联。

车联网、工业控制等垂直行业的应用，往往对通信的时延和可靠性有着极高的要求。以网络信息系统为核心，车联网正在向智能化、网联化与电动化的方向发展。下一代车联网的典型应用将是辅助驾驶与自动驾驶为基础，以智能交通系统为核心的各类出行服务应用，包括紧急刹车预警、紧急车辆优先通行、车辆周边状况采集、交通状况信息告警、交通事故弯道预警、电子不停车收费、十字路口人车碰撞等。而随着车辆的智能化程度越来越高，车辆在紧急情况下获取周围环境信息的需求也随之增大，这对通信系统的时延与可靠性提出更加严格的要求。与此同时，无线通信技术正在逐渐渗透到工业控制等垂直行业，如生产线自动化，智能电网，智能机器人等，在这些行业应用中，紧急数据包业务频发，需要通信系统在低时延的前提下提供高可靠的数据传输。因此，为了渗透到更多物

联网业务中，低时延高可靠成为5G的一个典型特征，以适应多样化的用户需求。

3 需求指标

国际电信联盟将低时延高可靠作为5G的主要技术场景之一，3GPP也将URLLC（Ultra Reliable Low Latency Communication）列入其研究与评估场景中。端到端时延定义为数据包从离开源节点的应用层时算起，一直到抵达并被目的节点的应用层成功接收一共经历的时间长度，其中端到端时延包括接入网上行/下行用户面时延、核心网处理时延、传输网传输时延、应用服务器响应时延等。根据3GPP TR38.913规定，接入网上行/下行用户面时延可以定义为将应用层数据包从终端/基站传输到基站/终端所用的时间，对于URLLC业务，上行/下行用户面时延要求分别为0.5ms。接入网可靠性可以定义为在一定的用户面时延限制下和在一定信道质量下，传输Xbyte的信息成功概率，对于URLLC业务，其可靠性要求可以总体描述为，传输32bit的数据包，在用户平面时延为1ms的前提下，传输成功概率为99.999%。需要说明的是，对于不同的垂直行业需求和部署场景要求，时延、可靠性、通信距离、数据包大小等需求指标可以有多种组合，例如对于eV2X通信，当传输包大小为300B时，要求在用户平面时延为3~10ms的前提下，传输成功概率可达到99.999%。可见，5G网络在时延和可靠性上提出了极为严格的要求。

4 潜在技术方案

根据端到端时延的定义可以看出，其由整个通信网络

中不同部分的时延叠加而成，因此，若仅仅从某一局部的角度进行优化，很难达到对用户体验的突破。因此5G通信系统应该在网络架构、核心网以及接入网等各个层面进行总体优化，以达到端到端低时延高可靠的目的。

4.1 网络架构

3GPP R8在提出LTE的同时，也提出系统体系结构演进（Service Architecture Evolution，SAE）的概念，SAE使用全IP架构，简化网络结构，使之更加扁平。该体系结构节点类型从以前的4种（NodeB、RNC、SGSN和GGSN）缩减到只有两种（eNodeB和GW），这种两层扁平化的架构大大缩短节点之间的时延。在5G网络中，应该使网络结构进一步扁平化，核心网功能下沉，靠近终端，以达到进一步缩短时延的目的。

4.2 核心网

（1）网络切片

网络切片的提出是为了满足5G多样化的用户需求，将端到端的逻辑功能集合和其所需的物理或虚拟资源组合起来，形成一个完整的逻辑网络，为特定的业务场景提供相应的网络服务。网络切片虽然不能直接降低端到端时延，但是却为低时延高可靠业务与其他业务对通信网络的复用提供了保障，是低时延高可靠业务的先行基础。

（2）移动边缘计算

移动边缘计算（Mobile Edge Computing，MEC）可利用无线接入网络就近提供电信用户IT所需服务和云端计算功能，而创造出具备高性能、低延迟与高带宽的电信级服务环境，加速网络中各项内容、服务及应用的快速下载，让消费者享有不间断的高质量网络体验。它通过优化网络结构，使得内容的计算、处理和存储更靠近网络边缘，一方面提供对海量数据进行快速处理响应的可能性，另一方面实现网络能力开放，向第三方应用提供所需网络信息，促进5G在诸多垂直行业的渗透，这些都能够促进低时延高可靠业务的发展。

4.3 接入网

4.3.1 网络层

从网络层的角度来看，为了进一步降低时延，需要支持无中断切换，以提供无缝的移动体验，并且进一步支持双连接乃至多连接的机制，使得不同基站间以及高低频之间可以相互协作，保证用户零切换时延与无缝漫游体验。与此同时，可进行新的用户平面功能设计，多种空口制式

下的灵活调度，以适配低时延高可靠业务的数据包结构和传输模式的增强。

4.3.2 物理层

5G超低时延的实现，不仅依赖于网络结构的优化来缩短源节点到目的节点之间的距离，而且很大程度取决于空口时延的大幅度降低，因此国际电信联盟在5G无线技术路线中指出，将在4G空口演进的基础上，突破后向兼容限制，进行全新空口的设计，以进一步满足低时延高可靠的特性，主要技术包括新型帧结构的设计、短间隙Mini-slot调度、免调度传输，终端直通技术等。

（1）新型帧结构

帧结构的设计是无线通信的核心，直接决定系统的功能设计与服务水平。因此3GPP进行NR（New Radio，新空口）新型帧结构的设计，兼容不同的子载波间隔与循环前缀长度，支持不同的帧结构参数共存。例如与LTE采用的15kHz子载波间隔相比，5G NR可引入30kHz和60kHz子载波间隔，更大的子载波间隔缩短OFDM符号的时域长度，进而显著缩短传输时延、调度时延、反馈时延。与此同时，NR还进行了自包含短子帧的设计，如图1所示，在同一子帧中可以实现“下行数据调度+下行数据传输+快速确认”或者“上行数据调度+上行数据传输”，这样可以在同一子帧中完成上行数据传输和下行ACK/NACK反馈，进一步降低用户面时延。

（2）短间隙Mini-slot调度

与LTE及LTE-A系统中最小调度单位为TTI不同，3GPP进行的NR项目支持短间隙Mini slot的调度。如图2所示，相比于一个slot包含7/14个符号，Mini slot中将包含更少的符号，特别是在6GHz以上，Mini slot中包含的符号数可以为1。Mini slot的设计可以实现更细的时间粒度调度，

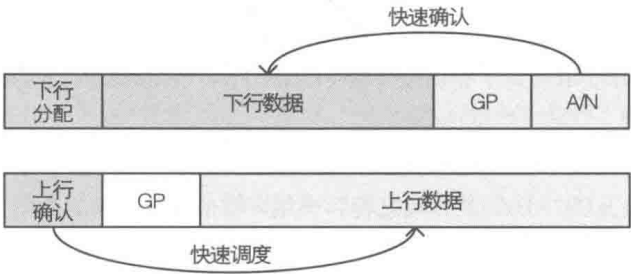


图1 自包含短子帧示意



图2 Mini-slot示意