第三届国家期刊奖百种重点期刊 | 中国科技核心期刊
中国科技论文统计源期刊 | 中国五大文献数据库收录期刊

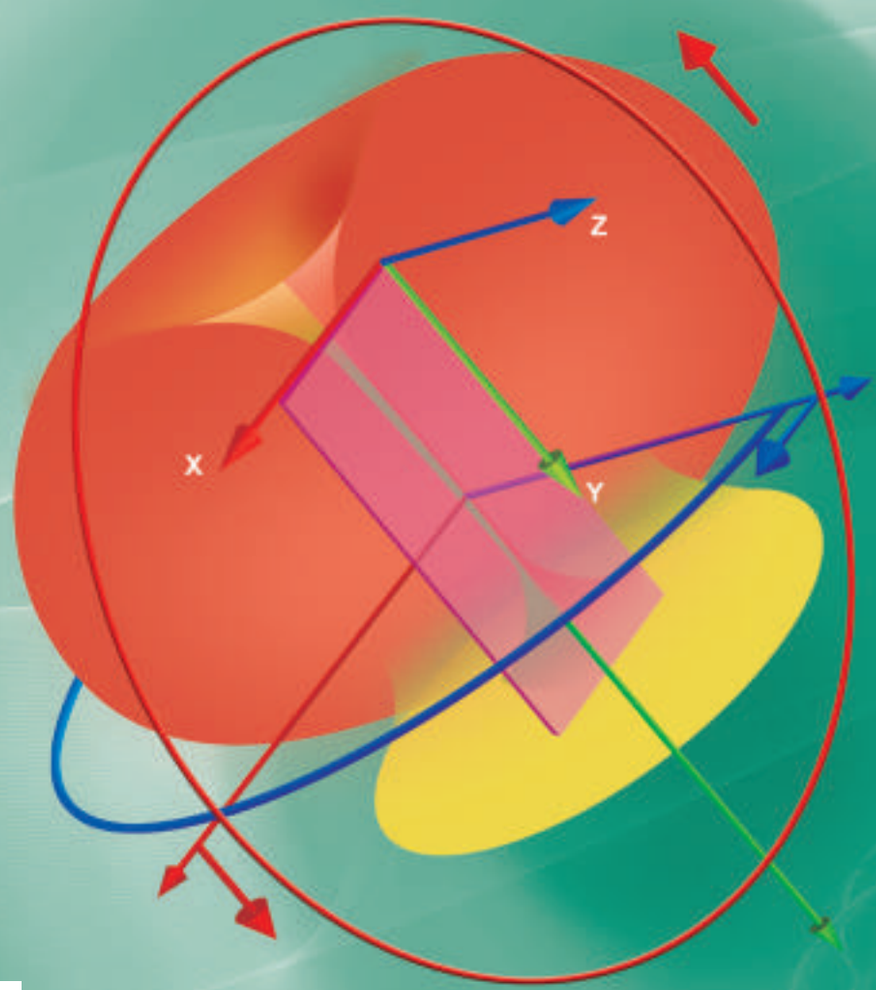
ISSN 1009-6868
CN 34-1228/TN

中兴通讯技术
ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

www.zte.com.cn/magazine

2011年10月 • 第5期

专题:新一代宽带移动通信创新技术



ISSN 1009-6868
10>
9 771009 686007

中兴通讯技术 ZTE TECHNOLOGY JOURNAL 二〇一一年十月 第十七卷第五期 总第一百期

中兴通讯率先实现多信道Tbit超长距离传输在超100G领域创世界纪录

【本刊讯】2011年9月9—11日，在国际光电子和通信会议(OECC2011)的期间，中兴通讯宣布首次实现了24 Tbit/s(24x1.3 Tbit/s)波分复用信号传输，这是业界首次实现Terabit/s的波分复用技术。中兴通讯创造了一项光网络技术世界纪录，在100G和超100G光网络领域再次取得技术领先。

该技术突破具有双重价值：一方面，中兴通讯在此系统中首次实现了Terabit/s的波分复用技术；另一方面，此系统信号采用“掺铒光纤放大器”，实现了24 Tbit/s大容量的超长距传输，可以在标准单模光纤中长距离传输2 400 km。

中兴通讯在此次传输系统中采用的是每信道速率为1.3 Tbit/s、剥离前向纠错码(FEC)后的净速率为1 Tbit/s的12个C波段和12个L波段的传输信号，并且每个信号均采用极化复用的四相相移键控(QPSK)光正交频分复用调制码格式和相干光探测方式接收。

在解决超长距离传输技术难题方面，此传输系统利用外调制技术产生频率锁定子载波信号的方法，实现了很高的信噪比性能。同时该传输系统还可以对不同波长的光信号实现透明，从而让波分复用系统实现多波长、超长距离的传输。

中兴通讯承载网产品总经理樊晓兵表示：“感谢OECC对中兴通讯在100G技术前沿研究成果的认可，一直以来中兴通讯都致力于100G及超100G技术的研究，并着力提供IP网络和光传输网络的100G解决方案。在未来的100G全球部署中，中兴通讯将投入更多的精力，更加全面地应用相关的研究成果。”

在Ovum 2010年第4季度光网络销售滚动市场份额分析报告中显示：中兴通讯2010年滚动市场份额全球第3。2010年9月已率先在业内发布全程100G方案，目前已完成单载波400G、1T、10T的系统实验。预计2011年第3季度，中兴通讯将发布业内最先进的100G商用设备，以相干探测、软判决FEC等先进技术支持超长距离传输。

中兴通讯推出业界首款“超宽频”双模RRU提升边缘频谱效率30%以上

【本刊讯】2011年8月23日，中兴通讯宣布已推出业界首款50 MHz工作带宽的TD-SCDMA/TD-LTE RRU。这款RRU在E频段中(2 320 MHz~2 370 MHz)能够支持两个20 MHz的TD-LTE应用，并可支持10 MHz(6载波)TD-SCDMA应用，其发射功率能够达到两通道50 W，边缘频谱效率可提升30%以上。该款产品能够全面建设TDS/TDL室内覆盖网络，对业界超宽频双模技术的发展具有里程碑意义。

TD-LTE是TD-SCDMA的下一代演进技术，在2010年中国移动TD-SCDMA网络的建设中，就已经开始考虑TDS/TDL的双模需求。按照中国移动的频段规划，E频段仅用于室内覆盖，目前业界普遍按照1个TD-LTE 20 MHz来设计产品。但中兴通讯充分考虑后续升级以及用户量的增长情况，率先推出了能够支持两个TD-LTE的20 MHz工作带宽，同时支持TD-SCDMA的RRU产品，并节省了网络建设成本。这款产品预计将在2011年广泛应用于TD-SCDMA网络建设中。

中兴通讯凭借其创新能力和产品化能力一直在TDD、TD-LTE的技术和系统商用化中处于领先地位。中兴通讯推出了系列化的TDS/TDL基站产品，这些产品均基于SDR软基站平台设计，并且现网设备均可平滑升级至TD-LTE。

中兴通讯积极推动TD-LTE商用。截至2011年8月，中兴通讯已在全球15个国家与25个全球领先运营商建设了TD-LTE实验局和商用网络，遍布欧洲、印度、独联体、亚太、东南亚等区域。中兴通讯在瑞典和丹麦部署了全球最大的LTE TDD/FDD融合商用网络，基站数量已经达到了1 500个，这也是北欧第一个TD-LTE商用网络。这些基站采用中兴通讯SDR平台以及统一的核心网和网管平台。此外，中兴通讯还和高通、创毅视讯、Sequans、Altair等芯片厂家积极开展合作进行互通测试，推动产业发展。

“《中兴通讯技术》杂志第17次编委会暨2011通信热点技术研讨会”在张家界隆重召开

2011年8月13-14日，中国工程院院士李乐民、张乃通以及来自工信部电信研究院、运营商研究院、高等院校等30多个单位的80余位代表齐聚张家界，参加“《中兴通讯技术》杂志第17次编委会暨2011通信热点技术研讨会”。中兴通讯董事长侯为贵、执行副总裁谢大雄等公司领导亲临会场，和专家们一起为刊物发展献计献策，并就通信热点话题深入讨论。

编委会上，侯为贵董事长致欢迎词。他首先感谢与会代表多年来对中兴通讯一如既往的支持，并向代表们介绍了中兴通讯最新的发展情况。他认为，近年来中兴通讯在技术创新和产品竞争力方面都有了显著的提高，但国际市场的快速发展既是机会也是考验；在运营商投资下降的形势下，中兴通讯会继续延续过去的升势，进一步提升市场占有率。侯董事长希望通过产学研合作，使中兴通讯在技术上有更多创新，在市场上更具差异化竞争力。

中兴通讯执行副总裁、杂志总编谢大雄对杂志社工作进行了总结。他指出，中英文两刊发展各具特色：中文刊在继承中求创新，英文刊在探索中积经验，无论是编校质量还是国际化进程都有了很大的进步和发展。谢总强调刊物是联系业界专家的纽带、技术交流的平台，应该继续坚持并逐步发挥其良好的品牌影响力。

与会专家们对杂志一年来取得的成绩也给与了充分肯定。会议讨论和确定了《中兴通讯技术》2012年6期专题内容及其相应的专题策划人。

在通信热点技术研讨会上，蒋林涛、赵慧玲、宋俊德、张成良等12位专家针对智能管道及云计算等行业热点作了精彩的报告，与会代表们也结合热点技术展开了热烈的讨论。

中兴通讯每年一度的编委会已成为通信业界专家学术交流的盛会，对促进刊物发展及产学研合作起到了非常积极的作用。

中兴通讯通过美国NIST安全认证

【本刊讯】2011年8月16日，中兴通讯宣布其统一平台密码库和UEP密码模块成功通过atsec信息安全公司的测试，并获得根据FIPS 140-2标准的CMVP密码模块验证体系的安全验证。中兴通讯也是中国第一家通过CMVP认证的厂商。

CMVP体系由美国国家标准与技术研究院(NIST)和加拿大通讯安全协会(CSEC)共同建立。FIPS 140-2标准定义了美国联邦政府和加拿大政府的安全要求，用于保护IT系统中未经分类的数据密码模块。

自2010年9月，atsec基于FIPS 140-2标准针对中兴通讯两个密码模块展开测试。测试工作于2011年8月完成，CMVP分别为中兴通讯的两个模块授予了证书。

atsec CST实验室主任Apostol Vassilev表示：“在美国和加拿大以及全球很多国家中，越来越多的行业和政府部门将获得FIPS 140-2标准密码模块的认证作为准入标准。我们非常赞赏中兴通讯在遵循国际标准产品安全认证方面所做出的努力。”

中兴通讯美国首席执行官程立新表示：“遵循国际标准是为客户提供安全可靠的解决方案的关键因素之一，获得FIPS 140-2标准认证再次证实了中兴通讯的研发策略，同时也体现了中兴通讯对国际标准充分重视和遵循。”

Atsec信息安全是一家独立且基于标准的信息技术安全咨询和评估服务公司。它很好地将商业导向的信息安全方法和深入的技术知识以及全球的经验相结合。Atsec在2000年成立于德国慕尼黑，并且通过美国、德国、瑞典和中国的办公室开展了广泛的国际业务。atsec提供的服务包括正式的实验室测试和评估、独立的测试和评估以及信息安全咨询，服务对象包括苹果、IBM、Hewlett-Packard、Red Hat等。

专题：新一代宽带移动通信创新技术

专|题|导|读

移动通信从3G走向LTE，信息传输的速率越来越高，但随着移动互联网应用的蓬勃兴起，移动通信技术又面临着新的挑战。因此LTE仍需继续发展，以满足日益增长的需求。

近年来，ITU加快了新一代宽带移动通信IMT-Advanced（或称4G）标准的制订工作，目前该标准已基本形成。在新一代移动通信标准的制订过程中，基本传输技术将主要继承LTE和IEEE.803.16；而如何针对IMT-Advanced的需求，在LTE基础上发展和应用宽带无线通信的创新技术并形成LTE-Advanced，是IMT-Advanced技术发展的重点。

本期专题针对IMT-Advanced的需求，对宽带无线通信创新技术及其在IMT-Advanced系统中的应用进行深入探讨。这些创新技术包括：频谱聚合技术、协作多点传输技术、中继多址技术、跨层优化技术、多小区多用户干扰抑制和抵消技术、协作中继的网络编码技术、增强多媒体多播技术、多天线增强技术、网络自组织关键技术等。

这些面向IMT-Advanced的创新技术研究得到了“新一代宽带无线移动通信网”国家重大专项的支持。本期专题的主要论文作者都是重大专项课题的承担者，而这些论文则是他们研究成果的相关介绍。通过这些介绍，希望能给读者有益的启示与参考，进一步推动中国新一代宽带移动通信创新技术的发展与应用。在此，对各位作者的积极支持和辛勤工作表示衷心感谢。

本期专题策划人

李少谦

电子科技大学教授、博士生导师，长期从事无线与移动通信技术与抗干扰通信技术研究工作；现任通信抗干扰技术国家级重点实验室主任、国务院学位委员会通信学科评议组成员、国家重大专项“新一代宽带无线移动通信网”总体组成员；四川省学术与技术带头人，并是政府特殊津贴获得者。

2011年第1—6期专题计划

1 物联网技术及其应用
杨震 南京邮电大学校长

2 未来网络
侯自强 中国科学院声学研究所教授

3 车辆自组织网络及其应用
乐光新 北京邮电大学教授

4 三网融合演进技术与业务
李红滨 北京大学教授

5 新一代宽带移动通信创新技术
李少谦 电子科技大学教授

6 P比特级光交换网络
徐安士 北京大学教授

D:\MAG\2010-06-91\VOL16\COVER.VFT——TPS/P4

目次

办刊宗旨

以人为本，荟萃通信技术领域精英；迎接挑战，把握世界通信技术动态；立即行动，求解通信发展疑难课题；励精图治，促进民族信息产业崛起。

中兴通讯技术

ZHONGXING TONGXUN JISHU

双月刊 1995年创刊 总第100期

2011年10月 第17卷第5期

主管：安徽省科学技术厅
主办：中兴通讯股份有限公司
安徽省科学技术情报研究所
编辑：《中兴通讯技术》编辑部

总编：谢大雄
副总编：邓新
常务副总编：黄新明
责任编辑：杨勤义
编辑：徐烨，卢丹，朱莉，Paul Sleswick
排版制作：余刚
发行：王萍萍
编务：王坤

《中兴通讯技术》编辑部
地址：合肥市金寨路329号凯旋大厦12楼
邮编：230041
网址：www.zte.com.cn/magazine
投稿平台：www.zte.com.cn/paper
电子信箱：magazine@zte.com.cn
电话：(0551)5533356
传真：(0551)5850139

出版、发行：中兴通讯技术杂志社
发行范围：全球发行
印刷：合肥中建彩色印刷厂
出版日期：2011年10月10日
刊号：ISSN 1009-6868 / CN 34-1228/TN
广告经营许可证：皖合工商广字0058
定价：每册10.00元，全年60.00元

专题：新一代宽带移动通信创新技术

01 IMT-Advanced系统中的自组织网络技术 …… 张军，张平，田辉
05 IMT-Advanced协作多点传输技术——信道互异性校准 …… 顾浙骐，张忠培
11 IMT-Advanced协作中继的网络编码技术 …… 李颖，孙岳，白宝明
15 LTE-Advanced系统中继技术进展 …… 曾媛，徐景，杨馨
20 IMT-Advanced跨层优化技术 …… 王德胜，朱光喜
24 IMT-Advanced增强多媒体多播技术 …… 关娜，周一青，石晶林
29 LTE-Advanced中的载波聚合技术研究 …… 夏树强，戴博，梁春丽
34 LTE多媒体广播多播业务关键技术研究 …… 马子江，许辉，王斌
39 分布式多天线技术研究 …… 李子荣，朱登魁，鲁照华

专家视点

42 LTE商用策略与挑战 …… 李珊

运营应用

46 广西北部湾CDMA海面覆盖研究 …… 谭钰山

研究论文

51 基于奇异值分解的TD-HSPA+系统赋形算法研究 …… 陈明佳，张翔，彭木根

开发园地

55 具备云计算特性的业务交付平台及其关键技术研究 …… 杨勇，董振江，陆平

系列讲座

58 光正交频分复用技术及其应用(2) …… 陈章渊，李巨浩，杨川川

综合信息

中兴通讯与美国CPES研发中心建立战略合作(19)　广告索引(45)　《中兴通讯技术》2012年第1—3期专题征文(62)

期刊基本参数：CN 34-1228/TN * 1995 * b * 16 * 64 * zh * P * ¥10.00 * 15000 * 14 * 2011-10

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P5

Contents

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol.17 No.5 Oct. 2011

Special Topic: Next-Generation Broadband Mobile Communication

01 Self-Optimization in IMT-Advanced Systems ····· ZHANG Jun, ZHANG Ping, TIAN Hui

05 IMT-Advanced CoMP Technology: Channel Reciprocity Calibration ····· GU Zheqi, ZHANG Zhongpei

11 Network Coding of IMT-Advanced Cooperative Relay ····· LI Ying, SUN Yue, BAI Baoming

15 Recent Advances in Relay Technologies for LTE-Advanced Systems ····· ZENG Yuan, XU Jing, YANG Xin

20 IMT-Advanced Cross-Layer Optimization Technologies ····· WANG Desheng, ZHU Guangxi

24 Evolved MBMS Technologies for IMT-Advanced Systems ····· GUAN Na, ZHOU Yiqing, SHI Jinglin

29 Carrier Aggregation in LTE-Advanced Systems ····· XIA Shuqiang, DAI Bo, LIANG Chunli

34 Key Technologies in LTE MBMS ····· MA Zijiang, XU Hui, WANG Bin

39 A Survey of Distributed Antenna Systems ····· LI Zirong, ZHU Dengkui, LU Zhaohua

Expert View

42 Commercial Strategies and Challenges for LTE ····· LI Shan

Operational Application

46 CDMA Coverage in the Beibu Gulf ····· TAN Yushan

Research Paper

51 Study of SVD-Based Beamforming Algorithm in TD-HSPA+ Downlink Systems ····· CHEN Mingjia, ZHANG Xiang, PENG Mugen

Development Field

55 SDP with Cloud Computing Features ····· YANG Yong, DONG Zhenjiang, LU Ping

Lecture Series

58 OFDM Technology and its Application in Optical Fiber Communication (2) ····· CHEN Zhangyuan, LI Juhao, YANG Chuanchuan

《中兴通讯技术》编辑委员会

主　任　钟义信

副主任　侯为贵　糜正琨

编委(按姓氏拼音顺序排列)

艾　波　曹淑敏　常金芸　陈常嘉
陈建平　陈　杰　陈锡生　程时端
程时昕　高　文　龚双瑾　古永承
顾畹仪　郭云飞　侯为贵　何士友
洪　波　纪越峰　江　华　蒋林涛
雷震洲　李红滨　李建东　李乐民
李少谦　李　星　孟洛明　糜正琨
倪　勤　史立荣　谈振辉　田文果
王晓明　王晓云　王育民　韦乐平
卫　国　谢大雄　谢希仁　徐安士
须成忠　续合元　杨义先　杨　震
殷一民　尤肖虎　乐光新　张同须
张智江　赵厚麟　赵慧玲　赵先明
钟义信　周苏苏　朱近康

敬告读者

本刊享有所发表文章的版权，包括英文版、电子版和网络版版权，所支付的稿酬已包含上述各版本的费用。

未经本刊许可，不得以任何形式全文转载本刊内容；如部分引用本刊内容，须注明该内容出自本刊。

邮购须知

本刊常年办理邮购订阅业务，欢迎订阅。订阅方法：从邮局汇款至编辑部，在汇款单上将订阅者的详细地址、收件人姓名及联系电话填写清楚，并在汇款单附言栏注明所购杂志期次及数量。

IMT-Advanced 系统中的自组织网络技术

Self-Optimization in IMT-Advanced Systems

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 05-0001-04

张军/ZHANG Jun
张平/ZHANG Ping
田辉/TIAN Hui
（北京邮电大学 泛网无线通信教育部重点实验室，北京 100876）
(Key Laboratory of Universal Wireless Communication Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunication, Beijing, 100876, China)

摘要： 自组织网络(SON)技术旨在实现网络的自配置、自优化和自治愈，从而帮助运营商降低建设和运营维护成本(OPEX)。文章基于IMT-Advanced系统中自组织网络技术的架构和主要功能，阐述参数自配置、自动邻区关联、容量和覆盖最优化以及移动健壮性优化等自组织网络关键技术的特征和研究方向。

关键词： 自组织网络；自配置；自优化；自治愈

Abstract: Self-optimizing network (SON) technology is designed for self-configuration, self-optimization, and self-healing in wireless networks. SON helps operators reduce OPEX. This paper discusses the framework and functions of SON in IMT-Advanced. It introduces characteristics of and further research directions in parameter self-configuration, automatic neighbor relation (ANR), capacity and coverage optimization (CCO), and mobility robust optimization (MRO).

Key words: self-organization networks; self-configuration; self-optimization; self-healing

随着无线通信高速化、宽带化、泛在化的发展，下一代移动通信系统呈现出单制式网络和多制式网络的异构特性，通信网络变得越来越复杂。而目前网络中的许多网元和相关参数由人工配置，网络规划、优化和运营成本相当巨大。运营商一方面要降低运营成本，另一方面需要提供较好的终端用户体验，因此提出了自组织网络(SON)技术，旨在增强无线网元，实现无线网络自组功能。SON有利于优化运营商的操作维护，能够大大提升网络性能，减少操作代价，降低无线网络的运营成本。

3GPP 2008年初将SON技术纳入标准化工作范畴。Release 8版本SON功能主要集中在自配置方面，Release 9更多关注网络的自优化。同时，欧盟FP7框架下的SOCRATES项目针对第三代移动通信系统长期演进(LTE)进行SON技术的方案设计、实现和验证。SON技术的另一个推动者是下一代移动网络(NGMN)论坛。NGMN于2006年提出SON需求，涵盖网络规划、部署、优化和维护，被3GPP组织接受并应用于自组织网络的标准中[1]。中国对于TD-LTE系统的SON技术研究、标准化工作和产品研发起步较晚，相对落后于FDD-LTE和WiMAX的相关工作。2011年国家科技重大专项组结合电信运营现状，就SON技术完善和实现方案立项，以推动SON技术进步和标准化工作。

1 自组织网络的基本功能

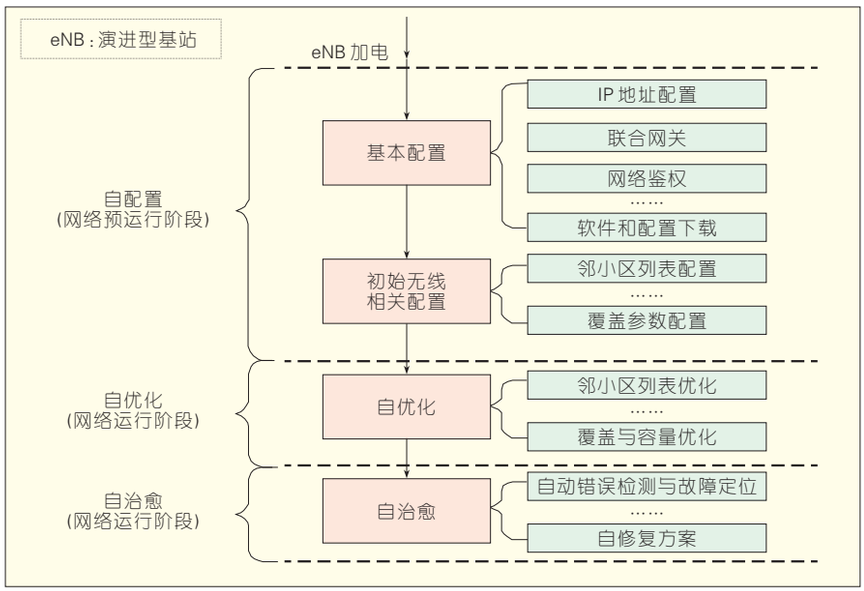
SON的主要目标是使无线运营商实现无需专业人员就能快速地进行基站部署，并对基站周围网络进行自动重规划配置，对无线参数进行自动优化，同时又能通过标准接口对在网的各种产品进行互操作[2-7]。SON功能架构如图1所示。SON具有自配置、自优化、自治愈三大功能。

(1)自配置

自配置过程是指新部署的演进型基站(eNB)通过自动安装程序进行配置，从而获得系统操作所需的必要的基本配置。其主要目标是在eNB中加入“即插即用”模块以减少网络规划、部署、配置过程中的人为参与，以提高网络部署的速度，减少运营支出，同时减少网元管理当中的人为错误。自配置主要包括节点基本配置，如IP地址分配、网络鉴权、软件与配置数据下载，以及初始相关的配置，如邻区列表更新和覆盖参数配置等。为了保证实现自配置功能，需要保证以下前提：

- 提取已有小区网络规划数据，形成一套包括位置、小区标识(ID)、天线参数(高度、极化方向和类型)、发

D:\MAG\2011-10-100/VOL17\F2.VFT——5PPS/P7



▲图 1 SON 功能架构

射功率、最大配置容量和初始邻区配置的射频参数。这些信息需要存储在配置服务器上以供调用。

• eNB 的传输参数需要提前规划，包括带宽、自动邻区关联、虚拟局域网(VLAN)划分、IP 地址等参数。eNB 对应的 IP 地址范围和服务网关地址也需要存储在配置服务器上。

• 更新的软件包需要存储在运营支撑系统(OSS)上。

(2)自优化

自优化技术是指网络设备在网络运行过程中，自适应地调整自身的无线参数或者相关的资源管理策略，以达到扩大网络覆盖范围、增加系统和边缘容量、抑制干扰、减少能耗、提高切换和随机接入概率、满足用户 QoS 需求等目的。

(3)自治愈

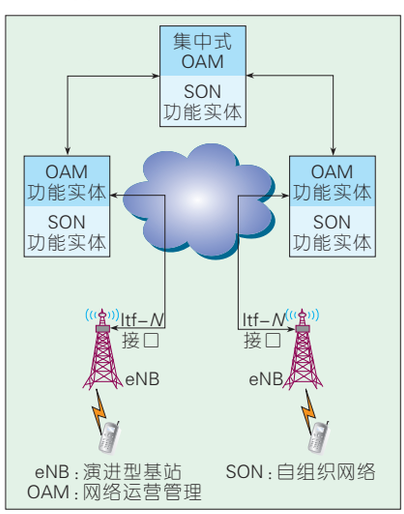
自治愈技术能够快速、自动、准确地检测影响网络性能的故障，并自动恢复或隔离故障设备，以确保用户处于连续、高质量的通信状态。

2 自组织网络功能架构

对于 SON 的功能模块，可以集成在网络运营管理(OAM)模块中，也可以集成在 eNB 中，因此根据具体的算法，SON 被分成三大架构：集中式 SON、分布式 SON 和混合式 SON。分别如图 2、图 3、图 4 所示。

(1)集中式 SON

在集中式 SON 架构中，SON 的所有功能都位于 OAM 模块中，处于架构中的高层，很容易完成 SON 的部署工作。但是由于不同的设备商提供的是不同的 OAM 模块，所以不可能实现简单快速的优化，因此如何在不同的设备之间实现 SON 的功能，还需要进一步研究。比如进一步扩展 ItF-*N* 接口，目前该接口主要针对

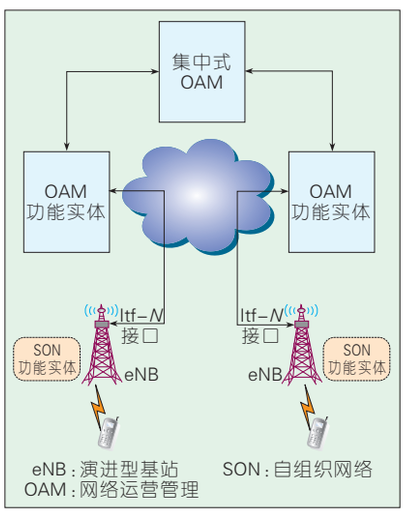


▲图 2 集中式 SON 架构

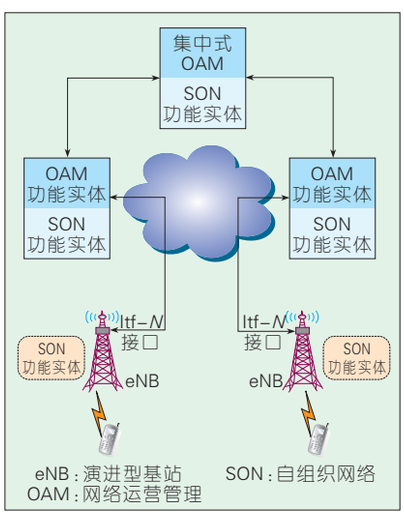
WCDMAR99 网络版本制订规范，对 R4 版本的接口网络资源模型尚在研究中，另外，针对 WCDMA HSDPA 的网络管理接口规范也有待补充。

(2)分布式 SON

在分布式 SON 架构中，SON 的所有功能在 eNB 上实现，位于架构中的较低层。由于需要在每个 eNB 上部署，给部署工作带来了一定的难度。分布式 SON 对于复杂的优化方案，尤其需要多个 eNB 间的协作时，实现起来比较困难。对于单个或 2 个 eNB，分布式 SON 却能够迅速优化。对于分布式 SON，X2 接口功能需要进一步扩展。

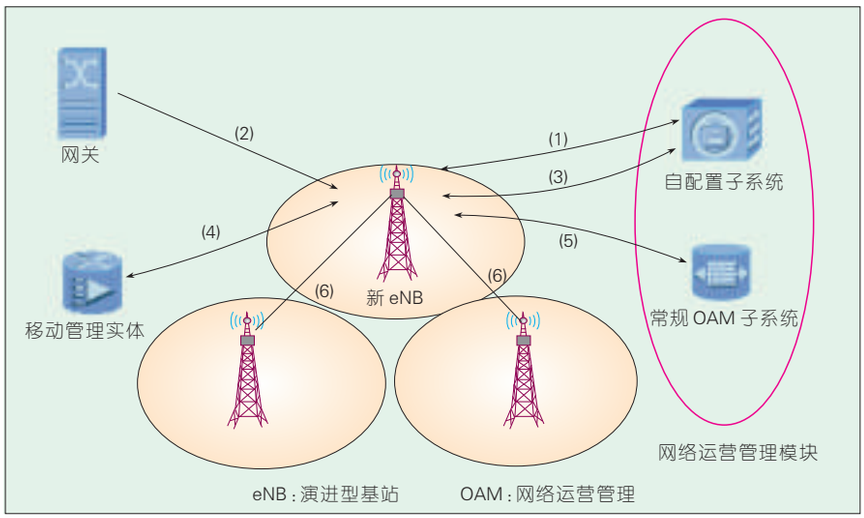


▲图 3 分布式 SON 架构



▲图 4 混合式 SON 架构

D:\MAG\2011-10-100/VOL17\F2.VFT——5PPS/P8



▲图5 新基站自安装流程

(3)混合式SON

在混合式SON架构中，SON的部分功能在OAM模块上实现，其余的则在eNB上实现。因此，混合式SON可以灵活支持各种优化方案，比如在eNB上实现简单迅速的优化方案，在OAM上则实现复杂的优化方案，同时通过X2接口，混合式SON也可以支持在不同设备间的优化方案。混合式SON需要在部署及接口上花费大量精力。

3种架构各有优缺点。集中式的优点是控制范围较大、互相冲突较小，但是收敛速度较慢、实现算法复杂；分布式与其相反，可以达到更高的效率和速度，且网络的可拓展性较好，但彼此间难以协调；混合式可结合两者的优点，但缺点是其设计变得更加复杂。不同的应用可以采用不同的架构，目前多数应用倾向采用混合式架构。

3 自组织网络中的关键技术

3GPP定义了一系列LTE网络SON用例和SON功能。最初Release 8版本中SON功能主要集中在新设备的安装方面，Release 9则更多地关注已建的自组织网络。有关SON的关键技术和算法设计等不属于标准协议范畴，需要进一步研究使其更加高效，收敛速度更快。以下重点介绍SON中的几项关键技术。

3.1 参数自配置

自配置过程是为新部署的eNB通过自动安装过程来获取系统运行基本参数的过程。它工作在网络预运行阶段，eNB上电后便进入了该状态。新基站自安装流程如图5所示。

自安装流程步骤：

(1)网络为新eNB分配一个IP地址，并将自配置子系统信息发送给新eNB。

(2)为新eNB配置网关，然后通过网关与其他节点交换IP数据包。

(3)新eNB向自配置子系统提供信息以进行鉴权。鉴权通过后，新eNB便可以从自配置自系统处下载必要的软件和配置数据信息。

(4)根据得到的配置信息，eNB进行系统的自配置。

(5)新eNB与OAM相连以实现其他管理功能。

(6)建立S1接口和X2接口。

3.2 自动邻区关联

自动邻区关联(ANR)的目的是为了让运营商从手工配置邻区的工作中解脱出来，减少繁重的邻区关联工作，减少由于缺乏邻区关联切换失败引起的掉话。LTE标准中，当一个用户从正在通信的eNB覆盖区域移动到另一个eNB覆盖区域时，ANR允许自动发现并建立邻区关联。邻区关系列表自配置过程如图6所示。

邻区关系列表自配置流程如下：

(1)用户终端(UE)根据系统的测量策略对周围基站信号的强度进行测量和上报。

(2)UE向服务小区发送测量报告，通过不同的物理ID来区分不同的E-UTRAN小区。

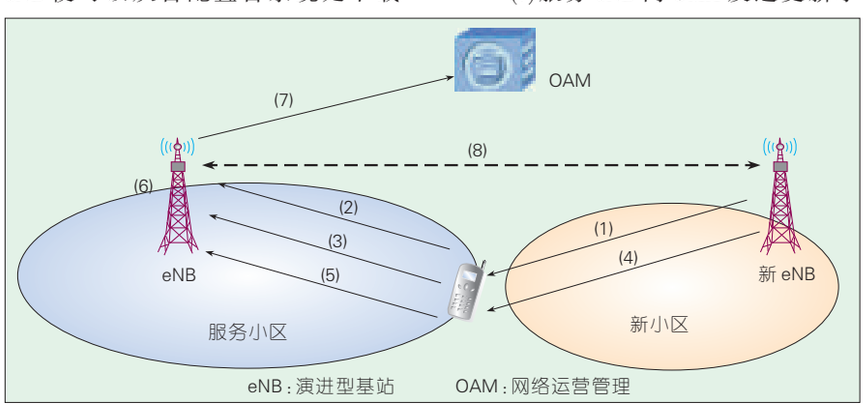
(3)eNB接收到报告并指令UE向新小区获取Global CID。

(4)对于检测到的小区，UE通过读取其广播控制信道(BCCH)来获得该小区Global CID。

(5)UE向服务小区报告检测到小区的Global CID。

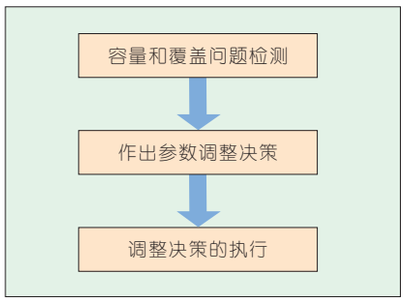
(6)服务eNB对相邻小区列表进行更新。

(7)服务eNB向OMA发送更新小



▲图6 邻区关系列表自配置过程

D:\MAG\2011-10-100/VOL17\F2.VFT——5PPS/P9



▲图7 容量和覆盖优化流程

区列表，并从 OMA 获取新检测到小区的 IP 地址。

(8)如果需要，服务 eNB 将与目标 eNB 建立一个新的 X2 接口以方便进行通信。

3.3 容量和覆盖优化

容量和覆盖优化(CCO)功能实体拥有自适应地调整参数来提高系统容量和网络覆盖的能力。当蜂窝边缘用户参考信号的接收功率(RSRP)高于保证实现覆盖所需的功率值门限时，网内小区为移动台提供了过多的有效覆盖或者非邻小区均为移动台提供了有效覆盖，产生过度覆盖，造成相邻小区交叠区域的干扰严重，出现无主导小区、主导小区信噪比过低等问题；当 RSRP 低于上述门限时，网内小区无法为移动台提供有效覆盖，产生无主导小区、覆盖有间隙、弱覆盖等问题，甚至会导致覆盖盲区的出现。无论用户是空闲模式还是激活模式，都应该保证用户处于网络的覆盖范围内。然而，容量和覆盖是一对折衷的问题。过大的覆盖范围导致接入移动台过多，移动台由于资源受限而得不到服务质量(QoS)保障，还可能对邻区造成干扰；过小的覆盖范围使小区边缘用户掉话率和切换失败率较高，小区资源得不到有效利用。进行容量和覆盖优化的功能实体能兼顾二者的性能。SON 的容量和覆盖优化的流程如图 7 所示。

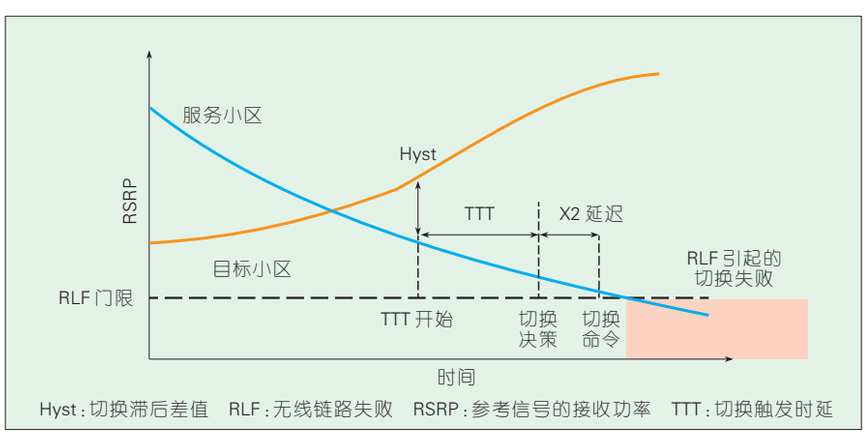
容量和覆盖问题检测主要是检测覆盖空洞和辨别系统是否容量受限。覆盖空洞可以通过对移动台的掉话率、小区搜索/重选失败率、无线链路失败(RLF)、切换失败率等统计，另外可以凭借全球定位系统(GPS)等定位技术得到覆盖空洞的位置信息；网络获取移动台的 PHR，当移动台的实际速率远大于需求速率或者移动台的 PHR 过于高时，可以认为小区处于容量受限。调整决策取决于不同的优化算法。调整决策的执行可通过两类参数的调整达到目的，其一是无线参数，如发射功率、小区重选优先级、小区单独偏置(CIO)参数等[8]；其二是机械和物理参数，如天线下倾角和天线方位角等。

3.4 移动健壮性优化

移动健壮性优化(MRO)通过动态地改进网络切换参数以调整切换边界，以保证用户体验[9-10]。而且它同时与其他 SON 功能如邻区关联和负载均衡进行交互，可以实现网络资源的有效利用。

3GPP 协议控制切换过程如图 8 所示。当处于相邻小区交叠区域的移动台接收到服务小区的 RSRP 小于服务小区设定的门限值时，移动台启动测量并将测量结果与服务小区的 RSRP 进行比较。移动台接收到相邻小区的 RSRP 持续超过服务小区值切换滞后差值，并且持续一段时间后，则会触发切换事件。完成切换移动台还需要经历一段 X2 接口的传输时延。如在切换完成之前发生 RLF 则会导致切换失败。衡量切换性能主要有 3 个参数：切换失败率、掉话率和切换乒乓率。为保证无缝连接，降低切换中断时间和数据损失，移动健壮性优化通常需要根据移动台上报的测量信息为小区基站优化切换参数，以避免过早/过晚切换、不必要切换、切换到错误目标小区等。

此外在异构网络中，高速移动台在经过覆盖面积较小的低功率节点(LPN)时需要频繁进行切换，浪费了系统资源，所以应避免高速用户接入 LPN。另一方面，一般 LPN 接入用户数目较少，接入用户可以分配到更多的无线资源，可以将低速用户优先接入 LPN 以有效利用频率资源。对此，可以考虑根据不同的节点类型和用户的移动速度调整切换参数，以避免不必要的切换和资源的有效利用。



▲图8 LTE 移动台切换过程

4 结束语

未来网络为了满足用户不断增长的业务需求，在组网方式、空中接口、网络功能、资源管理及配置方式、业务提供等方面呈现多样性的特点。同时也使得网络部署和运行维护变得复杂、效率低下、成本巨大。例如：对于运营商而言，通常基本建设费用为 17%，在系统工程安装、维护、管理、能耗等方面的维护费用却达到 24%。自组织网络技术能够使得无线网络自主地实现部分部署和

➡下转第 10 页

D:\MAG\2011-10-100/VOL17\F2.VFT——5PPS/P10

IMT-Advanced 协作多点传输技术——信道互异性校准

IMT-Advanced CoMP Technology: Channel Reciprocity Calibration

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 05-0005-06

顾浙骐/GU Zheqi
张忠培/ZHANG Zhongpei
（电子科技大学 抗干扰国家重点实验室，四川 成都 611731）
(National Key Laboratory of Science and Technology on Communications, UESTC, Chengdu 611731, China)

摘要： 文章以协作多点传输技术为背景，基于信道互异性模型，介绍了3类较为典型的校准算法：基于硬件检测的自校准方法、基于天线自检测反馈的自校准方法、基于校准天线检测反馈的互校准方法。以此为基础，文章分析和研究了各校准算法的特性，评估和仿真了各校准算法协作多点传输技术在各类联合预编码算法下的系统性能，同时预测了校准算法未来的研究进程及可能面临的挑战。

关键词： 信道互异性校准；协作多点传输；联合预编码

Abstract: This paper gives an overview of three typical digital calibration schemes used in collaborative multipoint transmission (CoMP) technology: hardware-based test calibration, antenna-based self-test calibration and cooperation feedback calibration. These schemes are based on a reciprocity module and calibration algorithm. This paper analyzes the properties of the calibration algorithm and the interference at the joint procoding (JP) in multipoint transmission technology. The process and challenges of the calibration algorithm are discussed.

Key words: channel reciprocity calibration; coordinated multipoint; joint precoding

随着国际电信联盟(ITU)启动4G的IMT-Advanced工作计划，3GPP开始着手LTE-Advanced标准制订。为提升小区边缘用户的性能，满足小区边缘频谱效率指标，LTE-A中引入了协作多点传输(CoMP)技术[1]。在基于CoMP的联合预编码(JP)相关算法中[2]，基站的发送端信道状态信息(CSIT)的精确性直接影响预编码算法的信道容量、误码率等性能[3-4]。而CSIT的获取分别来自于频分复用(FDD)系统的有限反馈和时分双工(TDD)系统的信道互异性。与FDD系统的有限反馈相比，TDD系统的信道互异性，更利于协作多点传输的实际应用，拥有系统复杂度低，系统开销少等优点。

协作多点传输系统如图1所示。协作多点传输的核心思想是通过多点协作构成虚拟多输入多输出(MIMO)，降低基站间的干扰，以提升小区边缘性能。基站间的干扰强弱通常由终端接收的信干噪比(SINR)来衡量。在CoMP的JP中，常用的基于SINR的算法有迫零算法(ZF)、块对角化算法(BD)和块对角化奇异值分解算法(BD+SVD)[5]。在ZF算法中，预编码矩阵为CoMP信道矩阵的伪逆矩阵，实现信道矩阵绝对的对角化。在低信道增益时，ZF会引起噪声增大，所以在BD算法中，块对角化只是消除各用户间的干扰，用户自身的信道矩阵并不进行对角化，从而保留其信

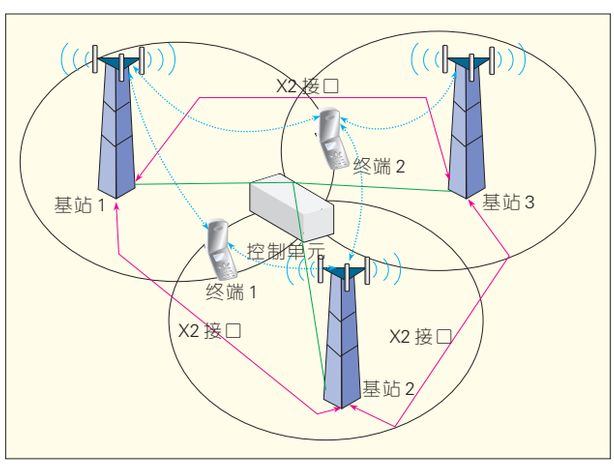
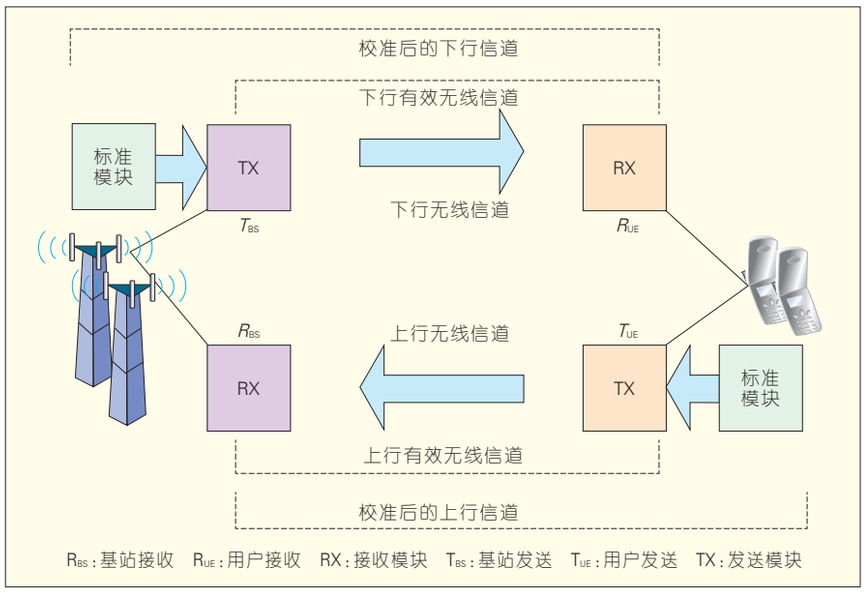


图1 协作多点传输

基金项目：国家重大专项(2009ZX03003003-02)

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P11



▲图 2 信道校准模型

道相关性。BD+SVD 算法，是在块对角化以后，对用户自身的信道进行波束赋型。

尽管 ZF、BD 等算法能将 CoMP 系统的信道矩阵转化为对角阵或者块对角阵，但这类算法存在天线维度的限制。为了得出最优化解，通常要求基站的总天线数大于终端的总天线，限制了 CoMP 的实际应用。因此通过对 SINR 的转化，我们得到了信泄噪比(SLNR)[6]。基于 SLNR 设计的 JP 算法克服了天线维度的限制，因此在某些条件下，同样能够获得较好的信道正交性。

1 无线信道互异性模型

尽管在理论上，TDD 系统的信道互异性能使发射端通过上行信道的信道估计获取准确的下行 CSIT。但在实际的系统中，理想的信道互异性通常是不可实现的。由于上下行信道的时变性[7]，上下行信道干扰的非对称性[8]，特别是上下行信道射频器件的非理想特性[9]，直接影响了 TDD 系统的信道互异性，降低了 TDD 系统优势。

射频器件的非对称性中较常见的一类为各天线对的射频器件的时延非对称。天线 j 到天线 i 的上下行射频模块时延误差为 α 秒，而天线 $j+1$ 到天线 i 的上下行射频模块时延误差为 β 秒，则称天线对 ji 与 $(j+1)i$ 之间的时间非对称为 $\beta-\alpha$。时延非对称会使信道在频域乘以相位旋转因子。即使很小的时延非对称，也会造成较大的相位旋转。以 WCDMA 为例，两天线射频链路之间的时延非对称需小于 65 ns。而如果整个系统带宽为 20 MHz，则两天线射频链路之间的相位旋转为 $360\times65\times10^{-9}\times20^{6}=470°$。在 CoMP 场景中，各天线对的频域信道乘以不同的相位旋转因子，会严重破坏了信道的互异性。

为了避免时延非对称对预编码的影响，最直接的方案为严格规定两天线射频链路之间的时延非对称需小于 5 ns，显然这是不现实的；其次通过硬件的检测，实现时延的校准，同样需要付出很大的代价。现阶段，对抗时延非对称性较为可行的方法为本文后续会涉及的天线反馈的互校准算法[10]。

射频器件的非对称性中较常见的另一类为各天线对的射频增益非对称。信道校准模型如图 2 所示。在实际的 TDD 系统中，实际的上行信道为 $H_U=R_{BS}\times H^T\times T_{UE}$，实际的下行信道为 $H_D=R_{UE}\times H\times T_{BS}$，其中 R_{BS}、T_{BS}、R_{UE}、T_{UE} 分别代表基站与终端的接收发射模块的复增益对角阵。各对角阵元素为 $r_{BSj}, t_{BSj}, r_{UEi}, t_{UEi}$ 均为时间、功率、温度的函数。

如果忽略非对称性对发射功率的改变，通过系统信道容量的推导[11]，终端和基站的射频器件的非对称性误差 E_{UE} 和 E_{BS}，分别以 $E_{UE}E_{UE}^H$ 和 $E_{BS}Q_{UL}E_{BS}$ 的形式对信道容量产生影响。其中 Q_{UL} 表示由上行信道得到的预编码矩阵的协方差矩阵。显然终端的射频器件的非对称性误差 E_{UE} 并不影响预编码矩阵的正交性，不会带来基站间干扰。而基站的射频器件的非对称性误差 E_{BS} 会直接影响预编码矩阵的正交性，带来基站间干扰，降低信道容量。

针对射频增益的非对称性，较为有效的措施是通过分别在基站与终端乘以校准对角阵 K_D、K_U，使得上下行无线信道满足 $H_D'=c\times H_U'$，$H_D'=H_D\times K_D$，$H_U'=H_U\times K_D$，其中 c 为复标量，称为互异性校准参数，近似实现信道互易，称为信道互异性校准。

2 无线信道互异性校准算法

现阶段，基于获取校准矩阵的方法不同，对天线互异性进行补偿的方法可分为基于硬件检测的自校准方法[12]、基于天线自检测反馈的自校准方法[13]、基于校准天线检测反馈的互校准方法[14]。由前文分析可知终端的非对称误差对预编码和波束成形的影响很小，因此本文中仅讨论基站的互异性校准算法。

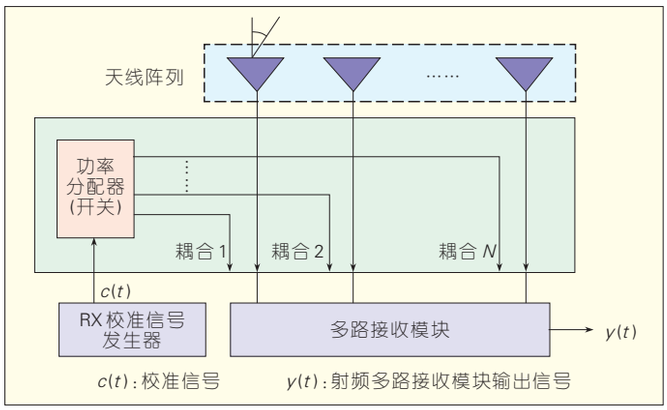
2.1 自校准算法

自校准算法实现单基站的多天线互异性校准，分为硬件自校准和反馈自校准。

2.1.1 硬件自校准算法

基站的硬件自校准是指在基站中配置专用的硬件校准电路实现硬

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P12



◀图 3 硬件自校准

件测量各天线的耦合参数和射频收发模块模拟参数，得到各天线和射频收发模块的校准矩阵，实现互异性校准。通常的硬件自校准算法将天线的校准和射频收发模块的校准分开进行。

由天线互耦合造成的天线的非对称性误差通常在基站运行过程中被视为常数。天线的校准采用离线校准，即为在基站正常工作之前进行校准。

由于射频收发模块模拟参数是时间、功率、温度的函数。所以其校准必须采用实时校准，即为在基站正常工作中不间断地进行校准。硬件自校准算法如图 3 所示。以射频接收模块模拟参数校准为例，校准信号在基站内部产生，并通过功率分配器插入到多路接收模块。检测多路接收模块输出信号，利用已知的校准信号和天线互耦合的非对称性误差参数，可估计出基站射频接收模块的复增益对角阵 R_{BS}。

$$R_{BS}=diag(a)^{-1}E\{y(t)c^{*}(t)\} \quad (1)$$

其中 $y(t)$ 为射频多路接收模块输出信号，$c(t)$ 为校准信号。$a(q_i)$ 为经天线校准后的理想天线耦合参数。$a=[a_1,a_2\cdots a_n]$ 为功率分配器到耦合器的校准信号链路响应系数。在基站系统运行前，a 通过检测获得，在此视为已知参数。

显然基站射频接收模块的校准矩阵为 R_{BS}^{-1}。同理基站射频发送模块的硬件自校准算法与上述类似，本文不再累述[15]。

2.1.2 反馈自校准算法

尽管硬件自校准算法能实现较为准确的天线射频模块校准，但也付出了相当的代价。不仅需要在射频电路中添加独立的硬件校准模块，同时还要较为精确控制校准信号的功率，避免其对接收信号的影响。

因此为了降低复杂度和成本，反馈自校准算法被提出。反馈自校准算法如图 4 所示，其中 eNB 为演进型基站。在基站端的反馈自校准算法中，选取本基站多根天线中的第 i 根天线作为校准天线，通过设置校准天线的射频收发开关，以实现与剩余基站天线的校准参考信号(CS)收发和信道检测。不同天线向校准天线发送的 CS 通常为正交校准参考序列。该基站同时获取基准天线到剩余天线的上行实际信道向量和剩余天线到校准天线的下行实际信道向量。

反馈自校准算法存在的问题在于它受到非线性功放和射频模块功率特性的限制。由于自校准信号的功率通常远远低于实际的信息传输功率。所以尽管经过了反馈自校准，但当基站在传输实际的信息时仍然会存在非对称误差[16]。

由于反馈自校准算法针对的是单基站，所以参考天线的非对称参数 e_m^{-1} 在单基站的系统中对信道的互异性不产生影响。但在 CoMP 系统中，由于多个协作基站的引入，不同基站的非对称参数 e_m^{-1} 仍会大幅度降低 CoMP 的 JP 的性能。

2.2 互校准算法

对单基站而言，互校准算法能克服功率对自校准的影响。在多基站协作的 CoMP 中，通过自校准过后，多基站的互异性校准参数 c_m 相互独立且不相同，仍然不能满足 JP 类算法对 CSIT 的要求，互校准算法为 CoMP 的实际应用提供了切实可行的技术方案。

2.2.1 互校准算法描述

基站端的互校准算法如图 5 所示，首先选取适当的校准参考天线。该校准参考天线通常为区域内某移动终端 q 的某根天线 i。校准参考天线根据各基站发射的校准参考信号(RS)进行实际下行信道向量的估计。其中 RS 需处于与上行的探测参考信号(SRS)相同的相关时间间隔。参考天线所在的终端在发送 SRS 的同时将下行信道向量的估计反馈给需校

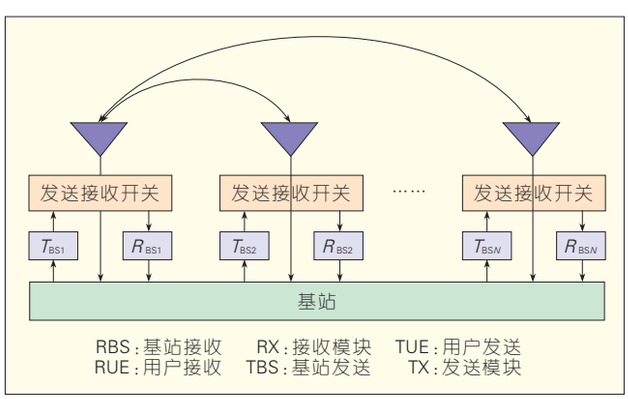
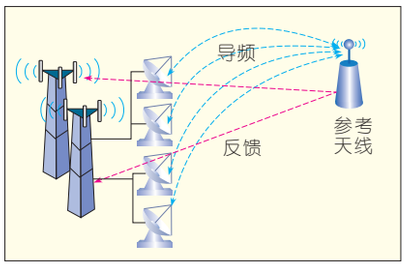


图 4▶ 反馈自校准

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P13



▲图5 互校准

准基站。同时各校准基站根据SRS信号进行上行信道向量的估计。

在互校准算法中，参考天线数通常会大于1，并且来自于不同的终端。所以为了摆脱参考天线自身的非对称参数的对基站校准矩阵的影响，基站的校准矩阵通常需对校准参数进行标准化，即：

$$k_{Dm}' = k_{Dm}(k_{Dmj})^{-1} \quad (2)$$

互校准算法的校准参考信号功率与实际的信息传输功率保持一致，因此克服了自校准算法对非线性功放和射频模块功率特性的缺陷。同时在CoMP系统中，尽管单个基站内的天线可通过自校准反馈算法进行校准，但基站间的天线仍处于非对称的状态。互校准算法可实现基站间天线的对称性校准。

尽管互校准算法克服了反馈自校准算法的缺点，但它受限于信道估计和参考天线端的反馈。通常信道估计采用最小均方误差估计(MMSE)，反馈通常采用6 bit I/Q量化或者8 bit幅度10 bit相位量化。显然量化反馈的误差和信道估计误差会对互校准算法带来影响。由于本文内容有限，不在此展开，该问题留作后续研究讨论。本文中假设信道估计和反馈均为理想条件。

2.2.2 校准参考天线选择

互校准算法需要校准基站与参考终端之间相互通信，所以校准基站与参考终端之间的信道条件成为影响反馈互校准算法的因素。

在单基站的系统中，参考终端的选择基于下行信道*SINR*的强度。只有当基站到某终端的*SINR*强度大于某门限Γ时，该终端才会成为候选的参考终端。通常反馈互校准算法的参考天线来自于区域内拥有$SINR_{max}$的终端。为了更为精确的获取校准矩阵，通常会选取多个不同的终端参考天线取平均。

在CoMP的系统中，参考终端的选择变得较为复杂。由于协作基站的位置不同，区域内终端的*SINR*通常无法满足各基站的门限$\Gamma(m)$。若达到门限要求，也很难同时达到各基站的最大信干噪比要求$SINR_{max}(m)$。选中的参考天线需满足以下条件：单个参考终端对应两个校准基站；满足$SINR_{m1} > \Gamma_{m1}$，$SINR_{m2} > \Gamma_{m1}$；maximize $\sum SINR_{mq}$。同时，在CoMP系统中，由于多校准终端天线的存在，及不同的互校准矩阵K_{Dm}带有不同的非对称参数e_{qi}，为实现基站间的统一校准，要消除不同的e_{qi}。整个信道互易性的影响，各基站与各参考终端对应关系需构成连通图[17]。

2.2.3 宽带互校准算法

LTE采用正交频分复用(OFDM)技术，支持的最大带宽为20 MHz，信道的非对称存在频率选择性。前文讨论的各类校准算法均基于窄带系统，对于实际系统的运用是远远不够的。在实际的系统中，在频点f的基站端第j根天线校准参数可表示为幅度和相位的函数。由前文无线信道校准模型所述，幅度为时间、功率、温度的函数，在互异性校准的时域间隔内和整个带宽的频域间隔内可看作常数。相位随频率做线性的相位偏转，旋转速度由上下行链路之间的时延非对称和频点决定。

为了获取基站m的第j天线整个带宽的校准参数$k_{Dmj}(f)$，须为天线j选择L个校准频点$(f_j^{(1)}, f_j^{(2)} \cdots f_j^{(L)})$，在每频点分别用互校准算法获取各频点的校准参数$k_{Dmj}(f_j^{(1)}), k_{Dmj}(f_j^{(2)}) \cdots k_{Dmj}(f_j^{(L)})$，最后用适合的插值算法来获取参数$k_{Dmj}(f)$[18]。

互校准算法，需校准终端将估计的下行信道反馈给校准基站。若选择8 bit幅度10 bit相位量化反馈，照上述的宽带互校准算法，设CoMP基站数为M=2，各基站的天线数N=4，单天线校准频点数L=22，则总的反馈数据为2×4×22×16=2 816 bit。假设反馈校准的间隔时间为100 s，则对高速的无线系统而言28 bit/s的负载显然是可以接受的。

3 互异性参数统计特性

由互异性校准算法可知，互异性校准参数由天线对之间的射频复增益决定，其中射频复增益包括基站端的收发射频增益RBS、TBS和终端的收发射频增益RUE、TUE。

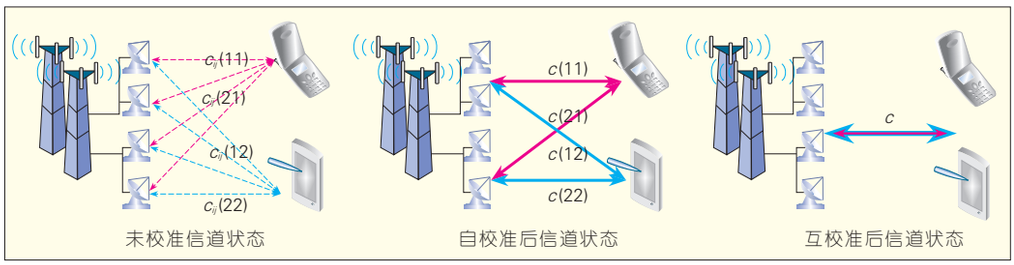
如图6所示，在基站与终端未校准时，基站与终端的各天线拥有不同的收发射频增益，各天线对的互异性参数各异。基站和终端进行自校准过后，如基站与终端上的天线拥有相同的收发射频增益，则某基站与某终端之间天线对的互异性参数相等，而不同基站与终端的天线对的互异性参数不同。在基站和终端进行互校准过后，所有基站和终端各天线拥有相同的收发射频增益，各天线对的互异性参数相等。

设计互异性参数的统计模型$c_{ij} = g_{ij} \times t_{ij}$，其中$g_{ij}$为复随机变量，表示基站和终端收发射频增益的物理统计特性，称为校准误差。幅度符合对数均匀分布，角度符合均匀分布；t_{ij}表示基站和终端收发射频增益的时变统计特性，称为时变误差。其幅度符合对数均匀分布，角度符合均匀分布。对数均匀分布和均匀分布的参数由具体设备特性与实际通信环境决定[19]。

4 仿真与分析

通过仿真实验，本文分析在CoMP系统中，信道互异性校准对各JP算法的影响，同时也给出了在不同的校准算法下，系统的性能指标。

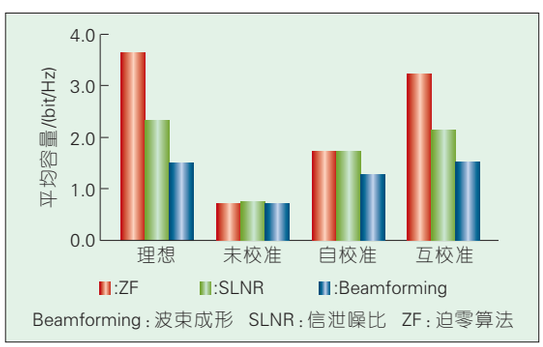
D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P14



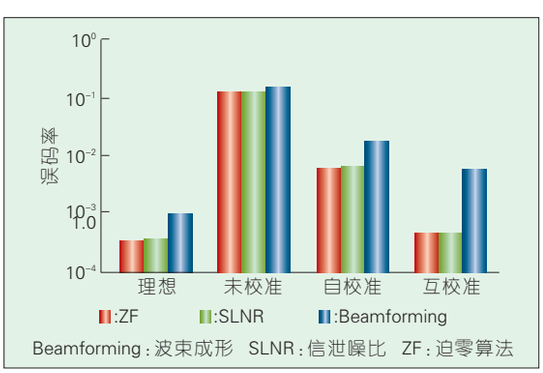
▲图6 天线校准后信道状态

仿真的场景设置为3基站3终端。基站和终端的天线数分别为4和2。基站之间的距离为500 m。终端在小区内随机分布，发射功率设为16 dB，噪声功率为9 dB。路径衰落$36.3+37.6\log_{10}(d)$ dB。信道元素为独立分布的标准复高斯随机变量。校准误差g_{ij}，幅度满足对数均匀分布，分布区间为[-3,3] dB；角度满足均匀分布，分布区间为[-180,180]度。时变误差t_{ij}，幅度满足对数均匀分布，分布区间为[-1,1] dB；角度满足均匀分布，分布区间为[-10,10]度。

不同条件下不同的JP算法对应的平均信道容量如图7所示。首先在理想的信道互异性条件下，CoMP的迫零算法(ZF)与基于SLNR的预编码算法均能获得比普通的波束成形(Beamforming)更好的平均信道容量。而如果不进行校准，由于信道的非对称性，ZF、SLNR和Beamforming的性能均大幅下降。在经过基站和终端自校准后，SLNR表现比ZF更加优异。而在经过基站和终端互校准后，信道满足广义互异性。尽管存在着时变误差，系统的性能与理想的系统性能接近。



▲图7 不同信道互易条件下各JP算法对应的平均信道容量



▲图8 不同信道互易条件下各JP算法对应的误码率

根据容量仿真的条件，进行误码率的仿真。设置单数据流，符号映射采用QPSK，无信道编码与信道均衡，接收端采用最大比合并(MRC)。由图8所示，当在理想的信道互异性条件下，CoMP的ZF与SLNR的预编码算法由于尽可能地消除了基站间的干扰，使系统拥有较低的误码率；在信道不校准和信道自校准条件下，由于射频模块的不对称，破坏了JP算法的正交性，使系统的误码率急剧的增加。当信道互校准后，JP算法重新恢复其正交性，接近理想的信道性能。

由本文第1节分析，终端的互异性非对称对基站的JP算法几乎没有影响。具有终端互异性差错的系统与理想系统的误码率接近，而具有基站互异性差错的系统将使系统的误码率急剧地增大。

5 结束语

解决小区的边缘性能问题，CoMP作为候选技术面临着信道估计的难题。而TDD的信道互异性恰好为此提供了可行的方案。

但信道的非理想对称，几乎完全破坏JP算法对信道的正交化处理，大幅度消除了JP算法带来的系统性能提升。可见信道校准算法是TDD CoMP急需进行研究的方向。

现阶段已有的信道校准算法，如本文介绍的各类自校准和互校准算法，均存在各自的优点和缺点。同时回馈类的校准算法均假设理想的信道估计和完美的回馈。在实际运用中，同步误差、估计误差与有限反馈对校准算法带来的影响是此类校准算法所面临的又一问题。

此外由于互校准算法实现的困难，可以寻求在自校准算法基础下的非理想信道的鲁棒JP算法，这也是解决CoMP中非理想对称问题的另一种研究途径。

6 参考文献

[1] 3GPP TR36.814 V0.4.1. Further advancements for E-UTRA physical layer aspects [S] 2009.
[2] CMCC .Downlink CoMP-MU-MIMO transmission Schemes [C]//3GPP TSG RAN WG1 #56 Meeting, Feb 9-13,2009, Athens, Greece. 2009: R1-090922.
[3] Nokia. Performance study on Tx/Rx mismatch in LTE TDD Dual-layer beamforming [C]// 3GPP TSG RAN WG1 #57 Meeting, May 4-8, 2009, San Francisco, CA, USA. 2009: R1-091752.
[4] HUANG Fan, GENG Jian, WANG Yafeng. Performance analysis of antenna calibration in coordinated multi-point transmission system [C]//Proceedings of the 71st Vehicular Technology Conference (VTC-Spring'10), May 16-19, 2010, Taipei, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010:5p.
[5] SPENCER Q H, SWINDLEHURST A L, HAARDT M. Zero-Forcing methods for downlink spatial multiplexing in multiuser MIMO channels [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52(2):461-471.
[6] SADEK M, TARIGHAT A, SAYED A H. A leakage-based precoding scheme for downlink multi-user MIMO channels [J].

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P15

IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(5):1711-1721.
[7] SANCHEZ-FERNANDEZ M, LOZANO A. Doppler sensitivity of link reciprocity in TDD MIMO systems [C]//Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '05): Vol 5, Nov 28-Dec2, 2005, St Louis, MO, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2005: 3073-3076.
[8] TOLLI A, CODREANU M, JUNTTI M. Compensation of non-reciprocal Interference in adaptive MIMO-OFDM cellular systems [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications. 2007, 6(2):545-555.
[9] LIU Jian, BOURDOUX A, CRANICKX J, et al. Impact of front-end effects on the performance of downlink OFDM-MIMO transmission [C]//Proceedings of the IEEE Radio and Wireless Conference (RAWCON'04), Sep 19-22, 2004, Atlanta, GA,USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE. 2004:159-162.
[10] Qualcomm Europe. Calibration procedures for TDD beamforming [C]//3GPP TSG RAN WG1 #51bis Meeting, Jan 14-18, 2008, Sevilla, Spain. 2008: R1-080494.
[11] Alcatel-Lucent. Channel Reciprocity Modeling and Performance Evaluation [C]// 3GPP TSG RAN WG1 #59bis Meeting, Jan 18-22, 2010, Valencia, Spain. 2010: R1-100426.
[12] LEE D H, PYO C S. RF performance and effect of calibration in smart antenna system [C]//Proceedings of the 59th Vehicular Technology Conference (VTC-Spring'04): Vol 1, May 17-19, 2004, Milan, Italy. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004:30-33.
[13] SADEK M, TARIGHAT A, SAYED A H. Active antenna selection in mutiuser MIMO communications [J]. IEEE Transacrtions on Signal Processing, 2007, 55(4):1498-1510.
[14] CATT. Discussion on antenna calibration in TDD [C]//3GPP TSG RAN WG1 #56 Meeting, Feb 9-13, 2009, Athens, Greece. 2009: R1-090563.
[15] KYEONG Mun Geon, PARK Hyung Geun, OH Hyun Seo. Array calibration for CDMA smart antenna systems [J]. ETRI Journal, 2004, 26(6):605-614.
[16] HUANG Fan, GENG Jian, WANG Yafeng. Performance analysis of antenna calibration in coordinated multi-point transmission system [C]//Proceedings of the 71st Vehicular Technology Conference (VTC-Spring'10), May 16-19, 2010, Taipei, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 5p.
[17] SHI Jing, LUO Qinglin, YOU Mingli. An efficient method for enhancing TDD over the air reciprocity calibration [C]// Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference(WCNC'11), Mar 28-31, 2011, Cancun, Mexico. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011:339-344.
[18] HARA Y, YANO Y, KUBO H. Antenna array calibration using frequency selection in OFDMA/TDD systems [C]//Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'08), Nov 30-Dec 4, 2008, New Orleans, LA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008:5p.
[19] HAN Shengqian, SU Liyan, YANG Chenyang, et al. Robust multiuser precoder for base station cooperative transmission with non-ideal channel [C]//Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'10), Dec 6-10, 2010, Miami, FL, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010:5p.

收稿日期：2011-07-15

作者简介

顾浙骐，电子科技大学抗干扰国家重点实验室在读博士；主要研究领域为无线通信、协作无线通信。

张忠培，电子科技大学教授、博士生导师；清华大学博士后，芬兰奥陆大学研究员；研究领域为高效编码调制、协同无线通信；已发表论文30篇，承担国家基金项目11项，申请发明专利10项。

⬅上接第4页

运行维护的功能，减少人工参与，降低成本，提高用户体验。本文介绍了自组织网络的一些关键技术，以期推进自组织网络技术走向成熟。目前业界和学术界对SON关键技术的研究仍处于初级阶段，针对IMT-Advanced系统复杂的网络环境，需要提出更有效和切实可行的自组织方案。随着未来移动通信的不断发展，自组织网络将得到进一步的研究与应用。

5 参考文献

[1] NGMN Recommendation on SON and O&M Requirements [S]. 2008.
[2] 陈鸥. LTE自组织管理网络(SON)[J]. 信息与电脑, 2009(9):41-42.
[3] FENG Sujuan, SEIDEL E. Self-Organizing Networks(SON) in 3GPP long term evolution [R]. Munich, Germany: Nomor Research GmbH, 2009.
[4] 3GPP TR36.300. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 [S]. 2010.
[5] 3GPP TS32.500. Telecommunication management; Self-Organizing Networks (SON); Concepts and requirements [S]. 2010.
[6] 3GPP TS36.902. Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-configuring and Self-Optimizing Network(SON) use cases and solutions [S]. 2010.
[7] 3GPP TS32.821. Telecommunication management; Study of Self-Organizing Networks (SON) related operation, administration and maintenance(OAM) for home nodeB(HNB) [S].2010.
[8] WU Ruixiao, WEN Zhigang, FAN Chunxiao, et al. Self-optimization of antenna configuration in LTE-advance networks for every saving [C]//Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Broadband Network and Multimedia Technology (IC-BNMT'10), Oct 26-28, 2010, Bejing, China. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2010,529-534.
[9] LEE Yejee, SHIN Bongjhin, LIM Jaechan, et al. Effects of time-to-trigger parameter on handover performance in SON-based LTE systems [C]//Proceedings of the 16th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC'10), 31 Oct 31-Nov 3, 2010, Auckland, New Zealand. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010:492-496.
[10] WEI Zhenzhen. Mobility robustness optimization based on UE mobility for LTE system [C]//Proceedings of the 2010 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing(WCSP'10), Oct 21-23, 2010, Suzhou, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010:5p.

收稿日期：2011-07-15

作者简介

张军，北京邮电大学信息与通信学院在读博士研究生；主要研究方向为下一代移动通信系统中的载波聚合和自组织网络技术。

张平，北京邮电大学教授、博士生导师；研究方向为宽带无线移动通信网理论及技术。

田辉，北京邮电大学教授、博士生导师；研究方向为宽带无线移动通信网理论及技术。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P16

IMT-Advanced 协作中继的网络编码技术

Network Coding of IMT-Advanced Cooperative Relay

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 05-0011-04

李颖/LI Ying
孙岳/SUN Yue
白宝明/BAI Baoming
（西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室，陕西 西安，710071）
(State Key Lab of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

摘要： 网络编码技术的本质是在中间节点上对多条输入链路的数据信息进行线性或非线性处理转发。网络编码技术应用于 IMT-Advanced 系统中时，不仅可用于提高中继转发效率，还可用于设计干扰利用传输策略，以节约小区内的时频资源。文章针对多址接入中继信道模型，讨论了几种可提高中继转发效率的网络编码传输策略，研究了基于网络编码的干扰利用传输策略，分析了网络编码标准化过程中所面临的各种问题，指出引入网络编码技术对中继传输协议、控制帧格式以及用户调度和资源管理算法等的影响。

关键词： 多址接入中继信道；网络编码；联合网络-信道编码；干扰利用

Abstract: The essence of network coding is that intermediate network nodes combine data from multi-input links by linear or non-linear operations and then forward. Therefore, network coding in an IMT-A system improves relay efficiency and can be used to design interference use schemes that save time-frequency resources in a cell. In this paper, several network coding transmission schemes for the multiple-access relay channel are discussed. Interference use schemes based on network coding are also discussed and some issues in network coding standardization are raised. The effect of network coding on relay transmission, control frame format, user scheduling, and resource management are discussed in conclusion.

Key words: multiple-access relay channel; network coding; joint network-channel coding; interference utilization

在IMT-Advanced(IMT-A)的标准化进程中，业界提出了Type1和Type2两种协作中继方式，用于提高网络容量，获得额外分集增益，改善小区边缘覆盖。但是，当多个用户同时接入一个中继节点时，若采用传统的中继转发模式(如放大转发、译码转发等)为每个用户逐一转发数据，会导致中继节点转发效率大幅度降低，成为影响系统传输效率的重要“瓶颈”之一。

为了解决上述问题，人们提出将网络编码技术引入到IMT-A系统中。事实上，在IMT-A系统中采用网络编码技术，一般在物理层上实现，可至少获得两方面的增益：一方面，由于网络编码技术的本质是在中间节点上对多条输入链路上的数据信息进行线性或非线性处理合并(编码)，因此可帮助多个用户同时转发数据，有效提高中继转发效率；另一方面，中继节点采用网络编码技术为多个用户转发数据时，只需保证网络编码结果是正确的，而不要求中继节点正确解出所有用户的数据，因此，可利用这一特点，与用户调度和资源管理策略相结合，设计基于网络编码的干扰利用传输策略，以降低资源消耗，提高小区可容纳的用户数量。

基金项目：国家科技重大专项(2010ZX03003-003-03)；国家自然科学基金项目(61072064)

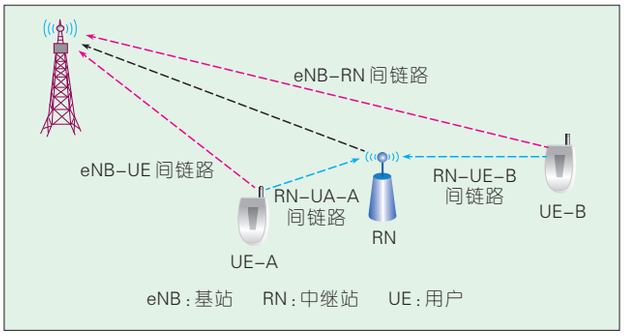
1 适用于多址接入中继的网络编码策略

多址接入中继信道(MARC)的模型如图1所示。在上行传输中，两个用户UE-A和UE-B在中继站RN的协作下与基站eNB进行通信。分两个时隙完成一次通信：第一个时隙，UE-A和UE-B向基站eNB和中继站RN广播发送信号；第二个时隙，中继站RN根据译码结果，采用相应的网络编码转发策略，帮助两个用户转发数据。目前，常用的网络编码策略有两类：一类是基于异或操作(XOR)的物理层网络编码策略，另一类是网络编码与信道编码的中继站协作下与基站eNB的联合设计策略。

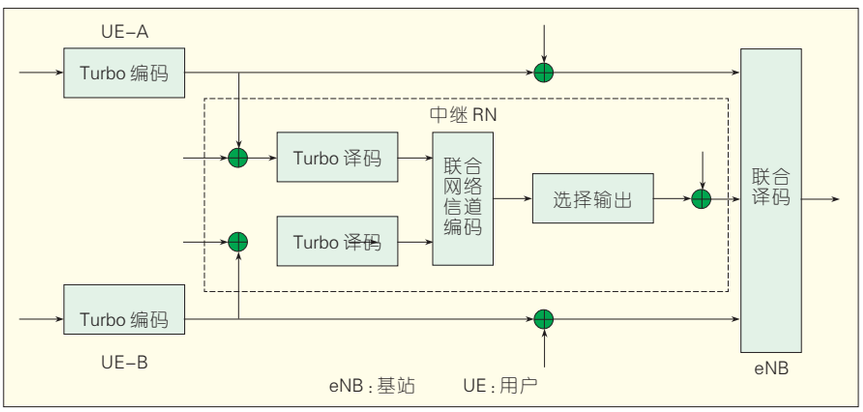
1.1 适用于MARC的物理层网络编码策略

文献[1-4]是早期针对LTE-A提

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P17



◀图 1
多址接入中继信道模型



▲图 2 基于 Turbo 码的联合网络-信道编码原理

出的物理层网络编码策略。

文献[1-2]分别讨论了在协作中继和组播重传中应用网络编码的可行性。

文献[3-4]则针对传统网络编码方法，即多址接入中继信道下采用异或操作网络编码，分析了各段链路损耗和应用场景，并进一步从不同角度出发，研究了相应的软合并网络解码算法。

文献[1-4]所述网络编码策略的重点是 RN 对译码数据直接进行 XOR 网络编码转发，具有实现简单的优点。但由于中继转发的数据帧长度与用户端发送的数据长度一致，导致中继转发效率也随之固定。为进一步提高中继转发效率，人们提出了一种联合网络-信道编码策略，其基本原理是中继站 RN 对译码数据进行联合网络-信道编码，并根据中继站 RN 的译码结果、UE 到 eNB 以及 RN 到 eNB 的链路质量，调整中继转发数据量，以实现中继转发效率和 eNB 接收性能的有效折衷。

1.2 适用于 MARC 的联合网络-信道编码策略

基于 Turbo 码的联合网络-信道编码原理如图 2 所示。在第一个时隙，两个 UE 向中继站 RN 和基站 eNB 广播信息；在第二个时隙，中继节点对译码得到的两个 UE 的估计数据序列进行加和网络编码，并选择部分数据转发至基站。基站则根据第一个时隙收到的两个 UE 的信号和第二个时隙收到的中继转发信号，进行联合译码，得到两个 UE 的估计数据信息。

根据 LTE-A 中的 Turbo 码标准规范，我们设计了一种加和网络 Turbo 码，其中 Turbo 码的交织器长度为 3 136，中继到目的节点的信噪比固定为 3 dB，两个 UE 到目的节点的信道相同，而且假设中继可以正确译出两个 UE 的原始数据。图 3 给出了中继 RN 采用不同中继传输策略时的性能比较。

由图 3 可以看出：中继节点转发的数据量对接收端的性能有直接影响，而转发数据类型对接收端性能的影响相对较小，且随着中继转发数据量的增加，接收端的性能也随之改善。当中继按照“$s+p_1+p_2$”的方式进行转发时，接收端的性能比不采用协作中继的情形有接近 5 dB 的编码增益，与之前不采用网络编码的 4 个数据帧相比，吞吐量提高了 25%；如果中继按照“p_1+p_2”的方式进行转发，接收端的性能比不采用协作中继的情形有超过 3 dB 的编码增益，且与不采用网络编码的 4 个数据帧相比，吞吐量提高了近 1/3。

因此，在实际系统中，可采用速率匹配的网络 Turbo 传输策略，即信道条件较好时，降低中继对用户转发

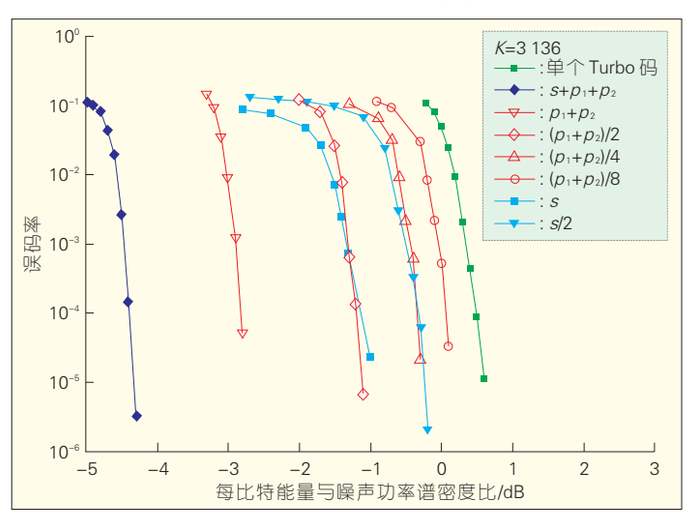
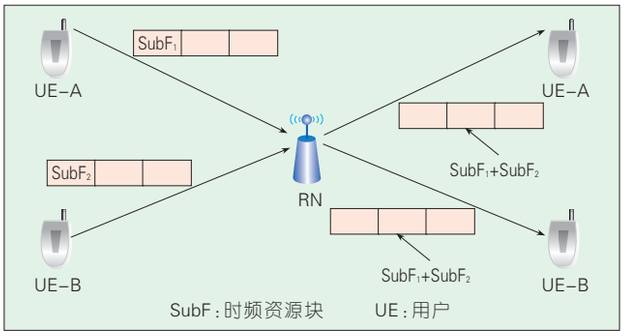


图 3▶
网络 Turbo 码仿真性能分析

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P18



◀图4
基于联合信道译码-网络编码的干扰利用策略

的数据量，以实现在一个数据帧中容纳更多用户；在信道条件较差时，增加中继转发的数据量，以保证接收端的性能，以通过调整中继节点的转发数据量获取接收端性能与转发效率之间的有效折衷。

2 基于网络编码的干扰利用策略

在网络编码传输策略下，中继节点转发的是多个用户的网络编码结果，只需保证网络编码的结果正确即可。因此，在IMT-A的某些特殊场景下，可利用上述特点设计基于网络编码的干扰利用传输策略，以节约时频资源，增加小区可容纳的用户数量。

2.1 基于联合信道译码-网络编码的干扰利用策略

对于两个UE需要通过eNB或者RN交换数据的场景，为避免干扰，通常做法是基站给UE-A和UE-B分配不同的时频资源块。但是，如果在IMT-A系统中采用网络编码技术，则可根据网络编码的特点，设计一种基于联合信道译码-网络编码的干扰利用策略，从而实现节约小区时频资源的目的。基于联合信道译码-网络编码的干扰利用策略如图4所示。

基于联合信道译码-网络编码的干扰利用策略包括了MAC层的用户调度及资源管理，以及物理层的联合信道译码-网络编码两部分，本质上是一种跨层传输方案。

MAC层的处理方法是：eNB根据UE-A和UE-B的通信请求，检测到他们需要交互各自的数据，则通过MAC层的调度和资源管理算法，给UE-A和UE-B分配相同的时频资源块。

物理层的传输过程中，由于UE-A和UE-B占用相同的时频资源块，因此他们发送的信号同时达到RN。RN根据收到的叠加信号，采用文献[5]给出的联合信道译码-网络编码策略，直接译码得到UE-A和UE-B的网络编码信息，并通过下行链路将该网络编码信息广播发送至UE-A和UE-B。两个用户根据各自的数据恢复出对方数据。

上述方案可带来两方面的优点：一是只需上下行两个时隙即可完成两个用户之间的通信，可有效提高传输效率；二是同一个小区内需要交换数据的两个用户占用同一个时频资源块，节约下来的时频资源块可以用来传输其他用户的数据，提高了小区可容纳的用户数量。

2.2 基于联合干扰对齐-网络编码的干扰利用策略

将上述场景进一步扩展，可得到如图5所示的MIMO-Y信道，即每个用户(如用户1)通过中继RN给另外两个用户(如用户2、用户3)发送信息。针对图5所示信道模型，利用干扰对齐、物理层网络编码调制解调映射和干扰预消除技术，文献[6]提出了一种新型的编码转发策略。

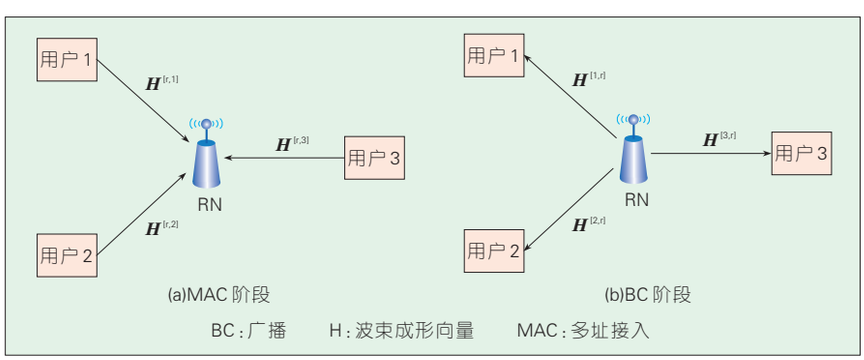
在多址接入阶段采用信号空间对齐策略，即通过波束成形向量的选择，使得相互交换的信息在中继节点对齐到同一信号维度上；在广播阶段采用干扰预消除策略，即中继节点通过检测直接得到互换信息的模2和结果，并通过对波束成形向量的选择来设计干扰预消除策略，消除用户端接收信号间的干扰。

文献[6]指出，在复高斯MIMO-Y信道中，若中继节点有N根天线，每个用户节点有M根天线，这时当$N \geqslant [3M/2]$时，各个用户节点的可达自由度为$d_{21}=d_{31}=d_{12}=d_{32}=d_{13}=d_{23}=M/2$，其中$d_{ij}$表示用户 向用户 发送信息的自由度。

类似于2.1节的情况，若给需要交互信息的3个用户分配相同的时频资源块，则可利用上述原理设计基于联合干扰对齐-网络编码的干扰利用传输策略，利用用户间的干扰获得最大的自由度，同时可以节约两个用户占用的时频资源。

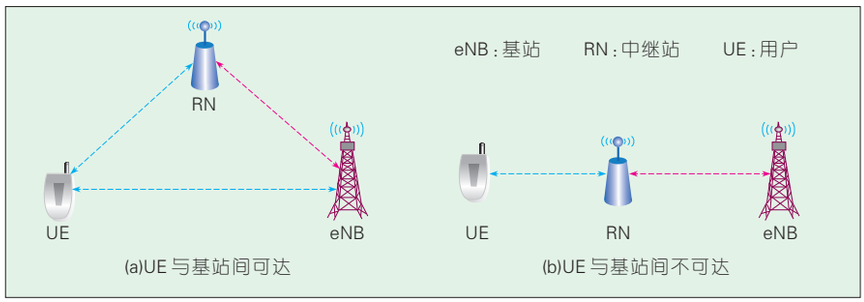
3 其他场景下的网络编码策略设计

前面讨论了多个用户需要中继协作转发时的网络编码策略。在实



▲图5 MIMO-Y信道模型

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P19



▲图6 单 eNB 单中继单 UE 的网络结构模型

际系统中，常常会出现仅有一个用户需要中继帮助转发信号的场景，如图6所示的 UE 与 eNB 可达及不可达的两种情形。

针对图6(a)所示的场景，一般处理方法是中继 RN 将当前时隙的接收数据与前一时隙的接收数据进行网络编码操作。此时，即可以采用1.1节介绍的物理层网络编码策略，也可以采用1.2节介绍的联合网络-信道编码传输策略。文献[7]提出了一种多组数据帧组合网络编码以实现多阶分集的传输策略，可以获得更好的性能增益，但也使得系统译码复杂度大幅度增加。

针对图6(b)所示 UE 与基站间不可达的场景，eNB 无法直接收到 UE 的信号，网络编码传输策略仅适用于数据重传的场景，即在 eNB 要求 RN 重传的情形下，中继节点将当前需重传的数据与前一时隙的数据进行网络编码传输，以便于基站端可以利用两个时隙的接收信号进行联合检测，改善译码性能。

4 基于网络编码的用户调度及资源管理

根据上述分析，将网络编码技术应用于 IMT-A 系统中，可有效提高中继转发效率，改善接收端的性能，同时也可利用网络编码特点设计相应的干扰利用传输策略，以节约系统资源。但是，在网络编码技术的标准化过程中，除算法本身之外，还需考虑引入网络编码之后对中继传输协议、控制帧格式以及用户调度等的变化。

(1)网络编码策略问题

目前，可用的网络编码传输策略多种多样，具体选用何种策略作为标准化的基础，在哪些场景和信道条件下采用网络编码传输策略更有效，如何选择参与网络编码的用户以及最多可支持几个用户参与网络编码等细节问题，还需要更深入的研究。

(2)与协作中继模式的融合问题

IMT-A 系统可以支持 Type1 和 Type2 两种协作中继方式，网络编码技术在哪一类协作中继方式下更有效，目前还没有公司或高校对此展开详细讨论。

(3)与 MAC 层协议的融合问题

引入网络编码技术之后，控制帧需要指示参与网络编码的用户标示、网络编码方法等一些基本信息，如何将基于网络编码的传输协议与现有协作中继传输协议有效结合，在 MAC 层上实现融合，目前也没有得到有效解决。

5 结束语

基于协作中继的网络编码技术，有望改善小区边缘覆盖、提高中继转发效率、实现单小区资源复用等问题，并可在一定程度上抑制中继节点处各用户之间的干扰、改善 IMT-A 系统的性能。但是，引入网路编码所带来的性能增益与接收端检测复杂度之间的平衡，以及对中继传输协议、控制帧格式以及用户调度和资源管理等方面的影响，目前还没有一个深入系统的研究结论，需进一步深入研究，讨论相应的解决方案，以加快 IMT-A 中网络编码的标准化进程。

6 参考文献

[1] Alcatel-Lucent Shanghai Bell, Alcatel-Lucent. Applications of network coding in LTE-A [C]//3GPP TSG RAN WG1 55 Meeting, Nov 10-14, 2008, Prague, Czech. 2008: R1-084130.
[2] Alcatel-Lucent Shanghai Bell, Alcatel-Lucent. Joint analog network coding and relay [C]//3GPP TSG RAN WG1 55 Meeting, Nov 10-14, 2008, Prague, Czech. 2008: R1-084133.
[3] Alcatel-Lucent Shanghai Bell, Alcatel-Lucent. Network coded relay and its Chase combining [C]//3GPP TSG RAN WG1 58 Meeting, Aug 24-28, 2009, Shenzhen, China. 2009: R1-093356,
[4] 基于多用户上行中继的网络编码方案研究 [C]//LTE+标准子组第21次会议, 2010年4月, 北京. 2010: IMT-A_LTE+_10120.
[5] 联合Turbo译码-网络编码算法 [C]//LTE+子工作组第19次会议, 2009年10月, 北京. 2009: IMT-A_LTE+_09531.
[6] LEE Namyoon, LIM Jong Bu, CHUN Hoohwan. Degree of freedom of the MIMO Y channel: Signal space alignment for network coding [J]. IEEE Transactions on Informating Theory, 2011, 56(7):3332-3342.
[7] 一种可获得多阶分集的网络编码方案研究 [C]//LTE+子工作组第28次会议, 2011年4月, 武汉. 2011:IMT-A_LTE+_11142.

收稿日期：2011-07-05

作者简介

李颖，西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室教授、博士生导师；主要研究领域为信道编码及无线网络编码；已主持和参加国家基金项目10项，发表论文30篇(其中被 SCI/EI 检索20篇)。

孙岳，西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室副教授、博士；主要研究领域为无线通信与网络编码，已参加国家基金项目3项，发表学术论文10篇。

白宝明，西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室教授、博士生导师；主要研究领域为无线通信及信道编码；已主持和参加国家基金项目10项，发表论文40篇(其中被 SCI/EI 检索20篇)。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P20

LTE-Advanced 系统中继技术进展

Recent Advances in Relay Technologies for LTE-Advanced Systems

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 05-0015-05

曾媛/ZENG Yuan
徐景/XU Jing
杨馨/YANG Xin
（上海无线通信研究中心，上海 200050）
(Shanghai Wireless Communication Research Center, Shanghai 200050, China)

摘要： 中继技术以其能增加覆盖、提升容量、减小发射功率并且灵活快速部署的特点在无线通信领域得到重视。将中继技术引入传统的蜂窝结构形成"基站-中继点-用户终端"的系统结构，能有效地利用整个系统的时间、频率、空间资源，因而成为 LTE-Advanced 的关键候选技术之一。文章从应用场景、接口与协议架构、物理层技术以及高层协议 4 个方面总结并归纳了 LTE-Advance 系统中继技术的最新标准化进展。

关键词： 中继；LTE-advanced 系统；无线通信

Abstract: Relay technology in wireless networks has attracted interest because of its outstanding ability to improve coverage and capacity and reduce transmission power. It can also be easily deployed. With relay technologies, a traditional cell network can be configured as base-relay-UE system that uses time, frequency, and spatial resources effectively. The relay is one of the key technologies in an LTE-Advanced system. This paper gives an overview of recent advances in relay technologies for LTE-Advanced system. Application scenarios, interface, protocol structure, physical technologies, and high layer protocol are discussed.

Keywords: relay; LTE-Advanced; wireless communication

近年来，随着无线移动通信市场的发展，移动用户数量飞速增加，业务种类和带宽的需求相应也不断增加，现有的通信系统已远远不能满足未来用户需求。以宽带、高效、全移动和全业务为特征的新一代宽带无线移动通信网的研究迫在眉睫。因此，3GPP 启动了第四代移动通信系统 LTE-Advanced(简称 LTE-A)的技术征集。

LTE-A 是在 LTE 版本 8/版本 9 (R8/R9-Release 8/Release 9) 基础上的进一步演进和增强。LTE-A 系统将能够支持全业务数据传输速率，即在高速移动环境下支持高达 100 Mb/s 峰值速率的移动接入，以及在游牧/本地无线接入等低速移动环境下支持 1 Gb/s 的峰值速率。除了更高的系统性能需求，LTE-A 还要求考虑后向兼容性，以降低运营商网络升级的成本。中继增强蜂窝网作为高速率、高覆盖要求下的一种有效通信方式，成为 LTE-A 系统的关键新技术之一。与传统蜂窝网相比，中继技术不仅可以扩展小区的覆盖范围，消除或减少通信盲点，同时还可以根据实际网络环境的负载分布进行负载平衡，转移热点地区的业务，提高系统的频谱利用效率；引入中继技术可以增加终端接入选择自由度，节省终端的发射功率，从而延长电池寿命；中继站还具有架设布网方便、运营维护成本低的优点。

基金项目：国家重大专项 (2009ZX03003-004)

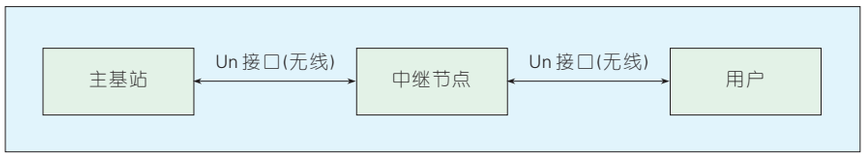
1 中继技术的应用场景

中继的应用场景最初主要有如表 1 所示的几种。考虑应用场景的优先级，R10 中主要关注固定的以及两跳的中继，因此，R10 版本中研究移动中继和多跳中继优先级较低，对移动中继和多跳中继技术以及相应的应用场景讨论较少。但 LTE-A 中继的后续进展中不排除其余应用场

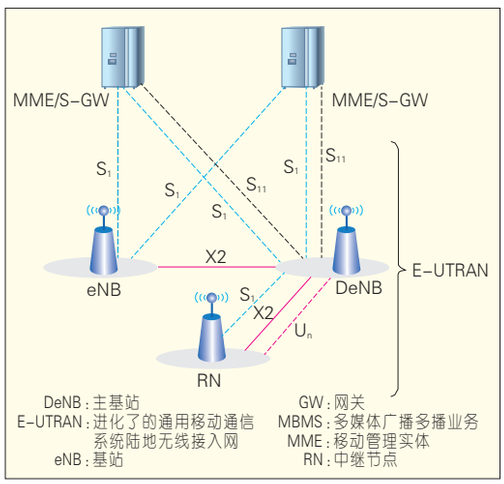
▼表 1 中继节点应用场景

优先级	应用场景	移动性	跳数	目的
1	城市热点区域	固定和移动	两跳	覆盖和吞吐量
2	盲点区域	固定	两跳或多跳	吞吐量
3	室内热点区域	固定和移动	两跳	吞吐量
4	农村区域	固定	两跳	覆盖和吞吐量
5	紧急或临时覆盖区域	移动	两跳或多跳	覆盖和吞吐量
6	仅用于无线回程链路	固定	两跳或多跳	覆盖或吞吐量
7	群移动	移动	两跳	吞吐量

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P21



▲图1 中继系统接口



▲图2 支持RN部署的E-UTRAN架构

景的研究，因此在R10中选择中继的协议架构以及研究中继的物理层技术和高层技术时需要考虑对中继移动性的支持。

2 中继节点接口与协议架构的确定

网络中加入中继节点后，网络接口如图1所示。主基站是与中继节点建立无线连接的基站(eNB)，中继节点是处于用户(UE)和主基站之间的节点。在中继系统中需要考虑兼容R8的用户。一个中继节点包含两个物理层实体。一个实体用于和其下属用户通信；另一个实体具有用户功能，用于和主基站通信。对部署中继的接入网，将中继和主基站之间的空口命名为Un接口，用户和中继之间的接口仍为Uu接口。每个主基站支持中继的数目确定为30～40个。

关于中继的协议架构，早期共有4种备选的方案[1]：方案1完备层3功能中继，其对主基站透明；方案2代理S1/X2接口；方案3在主基站处终止中继节点的承载；方案4在主基站处终止S1接口。

经过对4种架构进行多次分析和比较，从设备复杂度、对现有网络节点的影响、部署的灵活性、对标准化的影响和复杂度、数据包的头部开销、UE移动性的支持以及服务质量(QoS)的保障、S1/X2接口的维护等方面考虑，中继系统最终确定方案2为中继节点的协议架构。主基站将代理中继的所有S1和X2接口，主基站增加中继节点后进化了的通用移动通信系统陆地无线接入网(E-UTRAN)的架构如图2[2]所示。

中继节点选取方案2架构后，其用户面和控制面的协议栈分别如图3和图4所示。

3 中继节点物理层技术

LTE-Advanced支持两种类型的中继节点，分别是“类型1”中继和“类型1a”中继。“类型1”中继是带内中继，其特征如下：

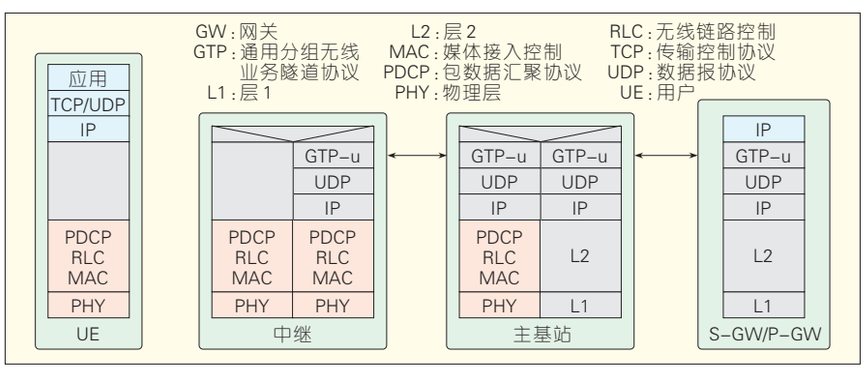
(1)控制一个或者多个小区，每个小区对UE来说是一个不同于主基站(DeNB)小区的独立小区。

(2)小区有自己的物理小区号，中继节点发送独立的同步信号、参考信号等信号。

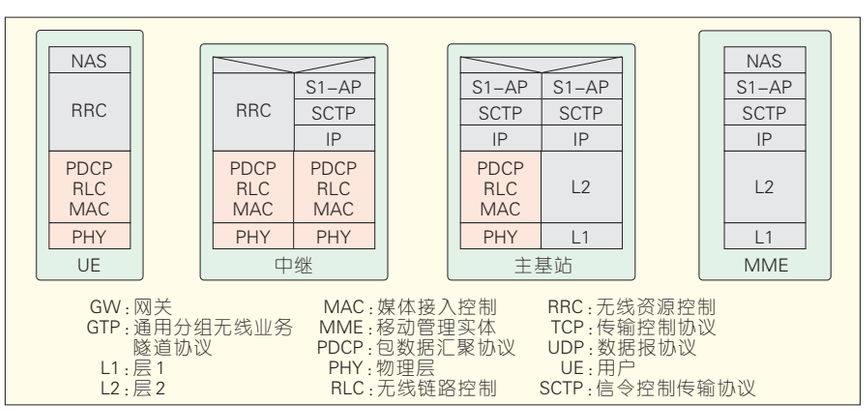
(3)在每个小区操作中，UE从中继节点接收调度信息和上行数据包的确认反馈，并发送探测信号、信道质量信息、数据包确认收到等信息给中继节点。

(4)为保证后向兼容性，对于Rel-8 UE来说，中继节点就像一个Rel-8的eNB。

(5)对于LTE-A UE，中继节点有



▲图3 用户平面协议栈



▲图4 控制平面协议栈

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P22

可能显示出不同于 Rel-8 eNB 的特性，以增强性能。

“类型 1a”中继拥有“类型 1”中继的以上所列特点，唯一不同的是“类型 1a”中继是带外中继，对层 1 的标准化影响很小，因而 3GPP 的中继技术讨论主要针对“类型 1”中继展开研究。

3.1 资源分配和复用

由于中继的发射机会对自身的接收机产生干扰，同时在同频段中继要实现对 DeNB 的接收和对下属 UE 的发送是不可能的，类似地，中继也不可能同时在同频段完成对下属 UE 的上行接收和对 DeNB 的上行发送。

一个可能的解决方案是在中继对下属 UE 的通信中制造一段“空隙”，在该“空隙”中，中继不需要与下属 UE 进行通信，而是与 DeNB 进行通信。当然，这个“空隙”的设置需要 Rel-8 UE 能识别。下行的“空隙”可以通过中继将某个下行子帧设置为 MBSFN 子帧来实现，上行的“空隙”可以通过中继调度其下属 UE 不在某个上行子帧发送来实现。

由上述描述可见，中继与 DeNB 的通信以及中继与下属 UE 的通信之间的资源分配采用的是时分复用方式，而中继与 DeNB 通信采用的具体子帧号由高层配置。

DeNB 与中继的下行通信占用下行子帧位置，DeNB 与中继的上行通信占用上行子帧位置。当中继需要在某个下行子帧与 DeNB 进行下行通信时，中继必须事先向本小区用户告知该子帧设置为多播单频网络(MBSFN)子帧。

对于频分双工(FDD)系统，DeNB 到中继以及中继到下属 UE 的通信发生在下行频段，中继到 DeNB 以及 UE 到中继的通信发生在上行频段。具体地，对于 FDD 系统，一个子帧只要能用于 MBSFN 的子帧就可以被设置为用于 DeNB 到中继的下行通信。对于时分双工(TDD)系统，目前只有上/下行配置为#1、#2、#3、#4 和#6 的子帧结构支持 DeNB 到中继的上/下行通信。上/下行配置为#0 和#5 的子帧结构无法支持 DeNB 到中继的上/下行通信。

3.2 同步技术

由于中继从 DeNB 接收数据有一定的信号传输时延，并且中继在接收完 DeNB 的数据后再对下属 UE 发送也需要一定的收发转换时延，因而导致了中继小区下行帧与 DeNB 小区下行帧之间的同步问题。

具体地，3GPP 要求中继的下行发送帧要保证中继能够从 DeNB 接收到最后一个发送的正交频分复用(OFDM)符号。当然，DeNB 可以使中继下行发送的 OFDM 符号数被限制在一个时隙里的一些 OFDM 符号子集内。第 1 时隙中，DeNB 对中继下行发送的起始位置可以是第 1、第 2、第 3 个 OFDM 符号位置，结束位置都在第 6 个 OFDM 符号位置。第 2 个时隙中，DeNB 对中继下行发送的起始位置都是第 0 个 OFDM 符号，结束位置可以是第 5 个或者第 6 个 OFDM 符号位置。如果 DeNB 小区与中继小区采用的下行帧能够保证每个子帧的定时界线是完全对齐的，则 DeNB 对中继下行发送的第 2 个时隙的结束 OFDM 符号位置为第 5 个 OFDM 符号，否则，DeNB 对中继下行发送的第 2 个时隙的结束 OFDM 符号位置为第 6 个 OFDM 符号。

3.3 物理下行控制信道设计

DeNB-中继链路的物理下行控制信道(R-PDCCH)设计是中继技术中一项关键技术，还需要考虑该段链路的控制信道与数据信道如何复用。

在中继物理下行控制信道中，下行资源指示信令与上行资源授予信令的放置位置，采用的方式如下：

(1)下行资源指示信令总在子帧的第一时隙内发送。

(2)如果一个下行资源指示信令在某对物理资源块的第一个时隙内发送，则上行资源授予信令可能会在该对物理资源块的第二个时隙之内发送。

(3)在专用解调参考信号的情况下，一对物理资源块内的下行资源指示信令和上行资源授予信令只能用于同一个中继。

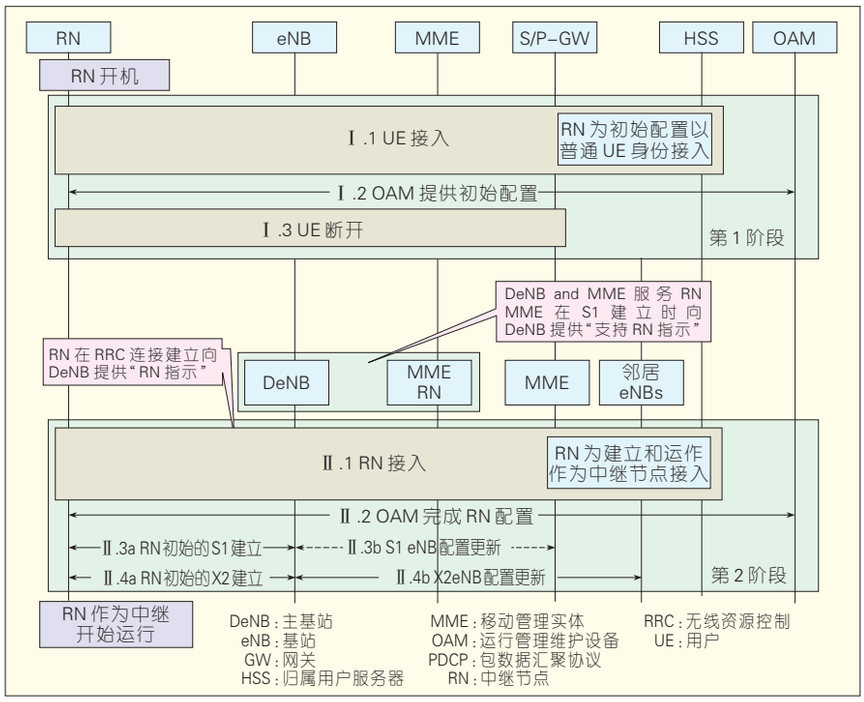
(4)在公共参考信号情况下，一对物理资源块里的下行资源指示信令和上行资源授予信令可用于同一个中继或者是多个不同的中继。

中继物理下行控制信道的放置方法有两种：一种是频域集中式的放置，另一种是频域分散式的放置。多个中继的物理下行控制信道可以相互交织地放置在一个或者多个物理资源块内，也可以不相互交织地放置在一个或者多个物理资源块内。

当多个中继的物理下行控制信道不交织时，物理资源块上只有用于发送参考信号的资源粒子(RE)不能用于物理下行控制信道。

当多个中继的物理下行控制信道相互交织时，这些物理下行控制信道的信号基本上按照 Rel-8 标准的物理下行控制信道采用的方式进行复用、加扰、调制、预编码、映射到天线各层及相应的资源粒子 RE 上。与 Rel-8 系统的物理下行控制信道映射方式的不同之处在于：首先，UE 特有的参考信号不会映射到用于发送互交织物理下行控制信道的物理资源块对上；其次，中继物理下行控制信道的一个资源粒子组(REG)由一个物理资源块内的一个 OFDM 符号中以升序子载波排列的 4 个连续可获得的资源粒子组成。如果某个资源粒子已经用于发送天线端口 0 上的小区公共参考信号，那么天线端口 1 上发送小区公共参考信号的那些资源粒子就不能用于映射中继的物理下行控制信道。如果还需要发送信道状态信息的参考信号，则天线端口 15 到天线端口 22 上发送信道状态信息参考信号的那些资源粒子也不能用

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P23



▲图 5 中继节点启动过程

于映射中继的物理下行控制信道。

4 中继节点高层技术

4.1 启动过程以及配置

中继的启动过程分为两个阶段，如图 5 所示[3]。第 1 阶段为中继的预配置接入，中继节点开机的时候作为用户的身份接入 E-UTRAN/EPC，下载初始的配置参数(譬如从中继的运行管理维护设备(OAM)中下载主基站参数)，这个过程完成后，中继将从网络中以用户的身份断开，然后触发第 2 个阶段；第 2 阶段为中继的运行接入，中继将从第 1 阶段中获取的主基站列表中选择一个主基站建立连接。移动管理实体(MME)将向主基站表明中继被授权作为中继节点接入。在主基站建立 S1/X2 的承载之后，中继会开始建立与主基站之间的 S1 和 X2 连接。

中继启动过程中主基站和移动管理实体需要确认节点是中继，因此在下行的 S1 信令中利用新的信息元素指示中继的身份。中继的关口选择是基于主基站告知的，至今为止中继的初始启动过程已标准化。

4.2 中继系统切换的考虑

加入中继节点后用户发起切换时会碰到如图 6 所示的问题：左图表示用户从基站切换到中继节点时，基站发起的切换请求中不确定中继归属于哪一个主基站，为解决此问题中继系统确定中继节点的身份号与其归属的主基站身份号相同；右图表示用户从中继切换到基站的简图，由于中继不能确定主基站和基站之间是否存在 X2 接口，另外中继不确定主基站和基站是否属于同一片移动管理实体区，因此，中继不能确定采用哪种类型的切换(S1 或 X2 切换)。中继系统确定中继需要知道其归属的主基站与目标基站是否有 X2 接口，此消息通过中继接入时 X2 基站配置更新程序而获知。

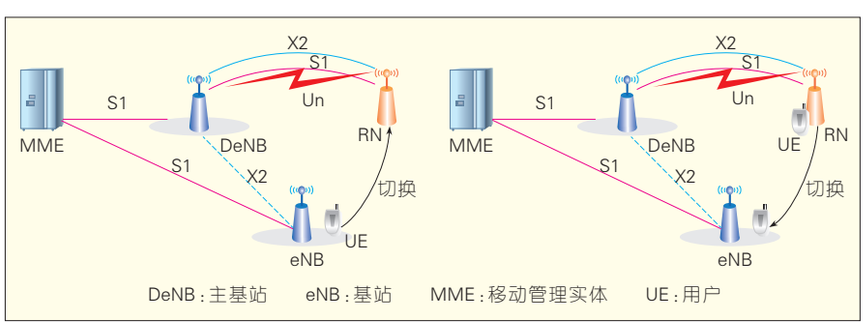
中继系统中用户的切换不仅会出现上述问题，还会出现数据的来回传输，既浪费会成回程链路资源，也导致切换时延加大，因此，中继系统确定当主基站接收到中继下属用户的切换请求时立即终止数据到中继节点的传输。

4.3 Un 接口无线链路失败的考虑

运营商通常会选择 Un 接口中链路稳定的位置部署中继，但不能保证 Un 接口无线链路失败存在的可能性。如果 Un 接口无线链路失败，其归属的用户将受到影响，因此，中继系统需要解决当 Un 接口发生无线链路失败后如何恢复的问题。当 Un 接口无线链路失败后，为了避免影响中继下属用户的通话，中继将执行正常的基于竞争的无线接入控制信道过程重新与网络连接。当中继与主基站的无线资源控制连接重建成功后，其连接的重配置和 Un 子帧的重配置过程与中继初始启动过程一致。如果中继与主基站连接重建失败，中继将进入空闲状态，然后尝试恢复。

4.4 回程链路子帧配置和系统信息的传输

针对中继和主基站之间回程链路子帧的配置最初有两种方案：



▲图 6 切换过程中碰到的问题

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P24

(1)运行管理维护设备配置回程链路子帧，中继从OAM处获取。

(2)主基站通过无线资源控制信令配置回程链路子帧。

从运行管理维护设备中下载Un接口子帧配置方法是一种静态简单的方案，但Un接口所用的时频资源块由主基站控制，即使中继初始从运行管理维护设备处获取Un接口的配置方式，主基站也会根据Un接口实际情况重新进行配置。因此中继系统中确定初始的Un接口子帧配置和重配置都由主基站发送无线资源控制信令配置。中继一旦收到子帧重配置的信息就开始在Un接口使用更新的配置，此时，Un接口的子帧配置和中继小区的子帧配置短时间内不会同步，Un接口会先于Uu接口采用新配置。

网络加入中继节点后影响了系统信息的传输，主要因为一些重要的系统信息(如主信息块和系统信息1)是基站固定在一些子帧(如子帧0, 5等)中发送，而这些子帧不能作为中继和主基站之间的回程链路子帧，因此，中继无法收到更新的系统信息。为解决这类问题，中继系统中确定主基站通过发送专用的无线资源控制信令通知中继更新的系统信息。

5 结束语

中继不但可以为蜂窝网络带来容量提升、覆盖扩展等性能增强，更可以提供灵活、快速的部署，弥补回传链路缺失的问题，以满足网络快速部署的需求。因此，LTE-A把中继作为关键技术开展研究并进行标准化技术征集。本文分别从中继的物理层和高层两方面入手，概要的描述了中继在LTE-A R10中关键技术点的进展以及最新标准化情况。今后将继续开展中继技术的研究，重点研究移动中继以及多跳中继技术。

6 参考文献

[1] 3GPP TR36.806 V9.0.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Relay architectures for E-UTRA(LTE-Advanced) [S]. 2010.
[2] 3GPP TS36.300. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description [S]. 2011.
[3] 张晨璐, 杨馨, 徐景. 包括中继站的通信系统的上下行链路帧同步通信办法: 中国. 201010129910.1 [P].2010.10.12.

收稿日期：2011-07-25

作者简介

曾媛，中科院上海微系统与信息技术研究所博士毕业；上海无线通信研究中心助理研究员；主要研究领域为混合网络干扰协调与控制技术、无线通信领域高层通信协议等；已发表论文6篇，申请专利6件。

徐景，上海无线通信研究中心第二研发部部长、博士、副研究员；研究领域为物理层传输、跨层优化、中继、B3G/4G通信系统网络架构设计及资源管理、系统性能分析和相关技术的标准化；已发表论文20篇，申请发明专利24个(其中9个为国际发明专利)。

杨馨，东南大学移动通信国家重点实验室博士毕业；上海无线通信研究中心副研究员；研究领域为未来无线通信系统中无线资源分配与管理、干扰协调与控制等技术、物理层基本传输技术及跨层技术；已发表论文10篇。

综合信息

中兴通讯与美国CPES研发中心建立战略合作

【本刊讯】中兴通讯宣布作为高级会员加入美国电力电子系统研究中心(CPES)发起的电源管理联通联盟(PMC)，双方正式建立战略合作伙伴关系。中兴通讯高级副总裁陈杰与动力产品总经理李广勇拜访了美国CPES研究中心，中心负责人Dr. Fred Lee对中兴通讯的加入表示热烈欢迎。双方就战略合作的方式和课题进行了深入交流，对电源领域的多项发展及技术应用探讨达成共识。

CPES作为全球电力电子技术领域中的领军研究机构，联合了美国5所大学、100多家公司，是美国最著名的国家科学基金工程研究中心之一。该中心依托超过15年的研发成果，在电力电子技术领域拥有海量专利，培养了大量高端技术研究人才。该中心发起的电源管理联盟联合，吸纳业内最具竞争力的企业，给所有成员提供共享最新研究成果的平台，共推行业向前发展。

中兴通讯动力市场产品总经理李广勇表示："感谢CPES给予中兴通讯一个与全球最前沿电子电力领域信息互动的平台，中兴通讯将积极共享多年的研究成果和科研实践，与所有成员达到双赢，共推电源领域向前发展。"

中兴通讯一直致力于新技术的研究和开发，迄今为止已取得150余项动力、电力、电子类的国家专利，牵头和参与了10余项国家和行业标准的制订、修订。凭借雄厚的研发实力和积极的市场拓展，中兴通讯稳居市场第一阵营。

据Frost&Sullivan《2009年中国通信电源市场白皮书》研究显示，中兴通讯以30.5%的占有率排列中国通信电源市场第一。2010年，中兴通讯在电信集采取得第一的好成绩，并在国际通信电源市场上的表现也越来越抢眼。截止2010年，已经有66万多套设备在全球136个国家的385个运营商中广泛使用。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P25

IMT-Advanced 跨层优化技术

IMT-Advanced Cross-Layer Optimization Technologies

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 05-0020-04

王德胜/WANG Desheng
朱光喜/ZHU Guangxi
（华中科技大学/武汉光电国家实验室（筹），湖北 武汉 430074）
(Huazhong Univ. of Sci.&Tech./Wuhan National Lab. For OptoElectronics, Wuhan 430074, China)

摘要： 适用于有线网络的传统独立分层协议阻碍和限制了未来 IMT-Advanced 无线网络性能进一步提升，无线网络的发展需要新的优化技术与之相适应。高效跨层、跨模块的资源优化技术，通过发掘各层次、各模块之间的冗余信息，或压缩，或利用，能够明显地改善无线系统性能。跨层优化技术在结合认知科学技术、人工智能技术、凸优化等数学手段的基础上，能对各模块资源合理优化分配，最大程度地提高无线系统的资源利用效率，为网络内无线节点提供更好的业务服务质量(QoS)保障以及用户体验。

关键词： 跨层优化；无线通信；链路协议；服务质量；认知无线网络

Abstract: To develop IMT-Advanced wireless networks, new optimization technology is required. The traditional independent layer protocol limits performance and will hamper the improvement of future IMT wireless networks. Efficient cross-layer cross-module optimization technology significantly improves wireless system performance by compressing or using the redundant information across all levels and modules. Cross-layer optimization combines cognitive science, artificial intelligence, and convex optimization to efficiently allocate and use resources, and to optimize each module. QoS and user experience is also guaranteed.

Key words: cross-layer optimization; wireless communication; link protocol; quality of service; cognitive radio network

未来的 IMT-Advanced 无线网络将是一个以多节点、异构性为特点的扁平化混和网络，为提升无线资源管理效率，需要从通信系统整体的角度，对多个层次，如节点之间、协议层次之间进行优化。其中，衍生于传统通道独立、带宽丰富的有线网络的通信协议，在泛在的通道共享、信道多变的无线网络环境中，面临着越来越突出的问题。

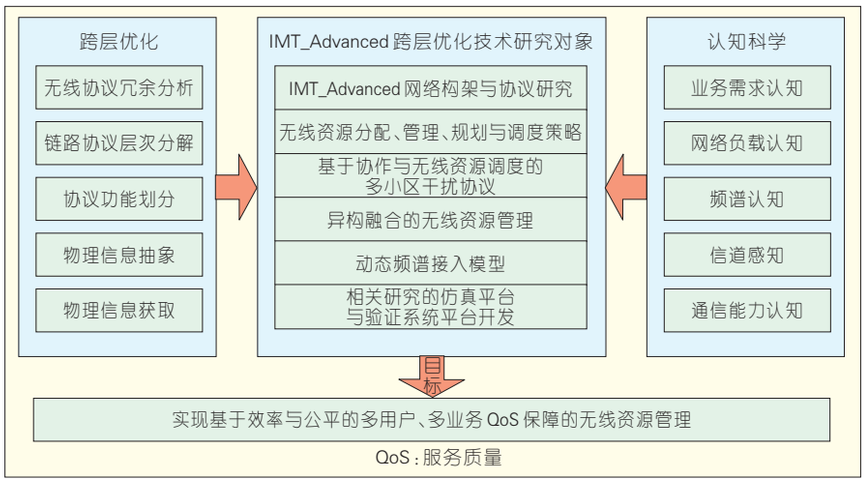
如何在带宽、功率等资源受限约束条件下，通过科学的调度与管理，有效地提高移动通信系统的资源利用率和传输效率，为多用户、多业务提供服务质量(QoS)保障，是目前科研工作者亟待解决的核心问题之一。目前系统中所采用的传统的优化方法与目标，是在功率、带宽等资源受限条件下，克服时变无线信道时变选择性衰落与频域选择性衰落，均衡网络系统话务量分布负载，防止网络拥塞和保持尽可能小的系统信令开销，为网络内无线用户终端提供简单的区分业务质量保障。其无线资源管理，包括接入允许控制、切换、负载均衡、分组调度、功率控制、信道分配等都根据相关模块协议，自成一体，独立进行。这种适用于业务单一、用户数不多的模块化方法在原有网络系统中简单易行。但通过实践观察与理论分析发现，由于各子层之间为维护自身的独立性与完整性而存在的大量信息冗余，不仅过多消耗了带宽与功率等紧缺资源，而且直接制约了系统性能充分发挥。于是，高效跨层的、跨模块的资源优化方法逐步成为业界关注的一项重要课题。

本文将结合认知科学技术、人工智能技术、凸优化等数学手段，描述一种新的，支持跨层优化的，联合无线资源管理策略。在研究中将网络资源进行两个维度的分解：(1)对接入节点与用户节点资源进行水平分解；(2)对节点内部各层次模块进行垂直分解。在兼顾业务公平与容量最大化同时，为网络内无线用户终端提供区分业务质量保障，最大程度地提高无线系统的频率效率与功率效率，实现无线资源的优化使用。

面向 IMT-Advanced 跨层设计模型围绕 IMT-Advanced 无线资源管理、支持跨层优化设计这一核心，对资源认知进行参数化提取，优化协议层次

基金项目：国家重大专项(2010ZX03003-001-02)

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P26



▲图 1 IMT-Advanced 跨层优化技术研究内容

关系，充分发掘无线网络节点多维协作潜力。跨层优化技术结合网络节点对无线信道、业务负载、频谱等认知特性，所涉及内容相当丰富，涵盖新型蜂窝网络中的无线资源规划及调度策略、异构融合网络的无线资源管理、主动式小区间干扰协调技术等，如图 1 所示。

1 跨层涵盖研究

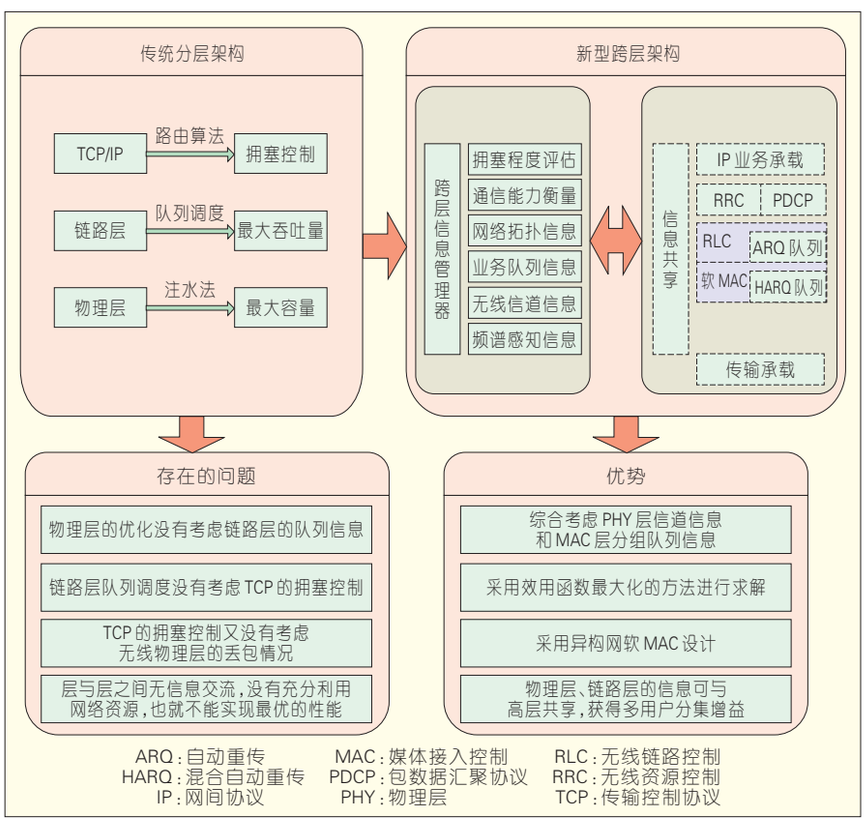
1.1 无线链路协议的跨层设计

研究表明，适用于有线网的分层架构并不适用于无线网络[1]。分层设计中，每个协议层都只处理一类专门任务，并对上层提供透明服务，如开放系统互连(OSI)的 7 层参考模型等。分层架构可以在灵活地更新其中某一个层中的实现技术同时，又不对整个系统带来显著的影响。但这种严格层次的架构在资源受限的无线网络中面临着诸多考验[2]。例如，物理层的优化不考虑链路层的队列信息，链路层队列调度不考虑传输控制协议(TCP)层的拥塞控制，TCP 的拥塞控制又不考虑无线物理层的丢包情况等。这些问题都严重影响无线通信系统对频谱和功率等资源的利用效率以及业务 QoS 保障能力。

Srivastava 于 2005 年提出了一个宽泛的相对于分层架构的跨层设计定义，其基本思想是突破分层的参考通信架构的协议设计，重新定义层间接口与层的边界，允许多层联合调整参数，各层协同实现同一目标，从而获得更高的资源利用效率、更好的业务 QoS 保障以及用户体验。传统分层架构与新型跨层架构如图 2 所示。

在对待如何跨层上，尤其是层间协作与融合的紧密程度上，存在两种截然不同方法：(1)将具有同一目标相关的层进行紧耦合；(2)松耦合在系统中设置一个跨层次的实体，其能够获取各个层的相关信息，但各个层次依然彼此独立，通过一次或若干次交互，进行分布式跨层运算，使得整网性能中某一目标最优[3]。

无论采用何种方法都存在：哪些测度代表未来系统的主要性能？如何综合优化这些测度？如何对这些测度进行优先权排序等复杂的设计问题。而且，协议栈各层一般都工作在不同的时间尺度上。因此，如何在进行协议栈设计时，将协议栈各层不同的时间尺度综合起来进行统一考虑是一个值得注意的问题；另一方面，所需要考虑的是系统网络架构的整体优化，而不是局部简单的跨层暗示。因此跨层设计的难度与复杂度在实用跨层优化策略必须考虑的重



▲图 2 传统分层架构与新型跨层架构

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P27

要问题。

1.2 适合于IMT-Advanced要求的新型网络架构及协议

由于未来IMT-Advanced移动通信网络是一个分布式泛在、异构扁平、全IP化的网络，针对无线网络特点与未来多用户多任务的需求，需要设计适合于分布式、异构、协同无线网络组网构架和相应的协议栈，为无线资源管理提供框架协议。

分层架构在逻辑上，划分了控制平面、传输网络控制以及用户平面。分层分平面的架构非常有利于规程化的信令流程的实现。但是，现有的分层分平面协议栈架构比较封闭，无法适应未来物理层技术的多样性和灵活性。基于以上分析，未来无线网络协议栈架构设计包括以下问题：

(1)寻求合适复杂度的高效协议栈框架。跨层的目标意在最大利用资源，因此复杂度不可避免地比分层架构要高。因此，合理高效的协议栈结构将是跨层设计必须面对的基础性问题。

(2)协议栈对必须提供多样化物理层的支持。在未来全IP互联互通的网络环境中，异构网络具体体现在通信物理承载的不同。由此协议栈，尤其是链路层协议栈媒体接入控制(MAC)子层，将在物理层“异构”与IP层“同构”之间起到关键的协议转化与适配作用。因此，在分布式协作网络中如何确定空口通用MAC与物理层的耦合形式，是解决协议栈对多样化物理层支持的关键。

1.3 IMT—Advanced新型蜂窝网络无线资源管理跨层优化

在IMT-Advanced新型蜂窝网络环境里，用户对于数据的传输速率、业务类型和服务质量有了更高的要求，因此需要采用实时的动态资源分配来保证用户和网络的性能。在网络业务量分布不均、信道特性变化多样和各小区各系统间干扰日益复杂的情况下，为IMT-Advanced新型蜂窝网络提供一种高效率、高性能的无线资源管理的相关问题研究是一个具有挑战性的课题，它们也是下一代移动通信网络的核心技术。另外，由于业务的多样性与复杂性和移动用户位置的不确定性，在新型蜂窝网络中需要进行集中式、分布式或者介于两者之间的动态资源分配，并且算法需要具有一定的快速性、鲁棒性[4-5]。

为了满足LTE-Advanced新型蜂窝网络下的多用户多业务需求，考虑把跨层设计、资源调度和资源预测进行联合优化，重点研究跨层信息传递方式、基于连接级和基于协议数据单元(PDU)级的QoS控制机制，提供能够同时保证用户和网络QoS的资源管理方案。作为无线资源管理的重要部分，接纳控制算法主要解决的是新呼叫或者切换呼叫接入系统后的稳定问题。对无线链路负载进行准确的估算和预测，保障多种业务的多项QoS指标需求，成为了接纳控制的研究重点。

1.4 跨层协作调度

一般而言，仅在物理层进行主动干扰抑制会因为基带信号处理复杂度过高而不具实用性。建立针对不同用户，不同服务指标的多业务模型进行的主动干扰抑制，需要良好的跨层协作调度策略。因此本文拟以现有跨层优化技术为基础，实现多小区间物理层和链路层协作信息优化与共享，以增加小区间冗余协同信息，提高基站协同控制效率，全面优化基站间的资源分配。

1.4.1 多点多小区跨层协同控制技术

传统的跨层优化设计是以提高单个通信实体内的处理效率为核心[6]。本文研究的环境是一种多用户、多小区分布式协同通信网络。该网络将相邻多小区、多用户映射为是一个广义多输入多输出(MIMO)阵列。实现这一MIMO阵列协同传输，需要反馈所有信道的状态信息。为了减少这种协同工作所导致的额外开销，需要良好的多小区基站间跨层协同信息共享与控制研究。

1.4.2 多小区跨层协同资源分配技术

目前的动态资源分配技术能够根据信道和干扰情况的变化自适应分配无线资源[7]。本文中资源分配需要考虑多用户、多小区间的协同信道的时变性与独立的非同分布统计特性。因此，现有的单小区跨层资源分配方式不能满足协同网络动态干扰协调要求。这种情况下的资源分配是一个信道、干扰、协同信息联合变化下的分布式多基站动态跨层资源优化问题。这类问题往往是较复杂的非线性优化问题，面临着全局搜索最优解所带来的计算量庞大的问题。因此进一步研究，需要建立一个有限复杂度的合理次优的多小区跨层协同资源分配技术。

1.5 无层通信是跨层技术的进一步延伸

无层通信是个具有挑战性的概念，它促进了对通信基础设施架构全局性的规划[8]——设计、系统、隐式和基本业务。传统的分层架构的一个本质特征就是具有严格的层次协议栈使得各层次之间有很强的独立性。与严格分层架构完全对立的概念就是无层次协议栈，所有的层次都融合为单一的平面层。在不分层网络架构通信中，协议栈间的分层独立性不再成立，相反，一个特定层次应该与其他几个层次的技术联合设计，来实现最优的性能。分层的协议栈会逐渐缩减成一个透明层的通信，使得无线网络的机会通信成为可能。在无层通信系统中，协议不再像分层网络中那样组织起来，相反，协议之间将会没有明确定义的界限。这就允许在设计和运行时，协议块间进行丰富的交互，具有极大的灵活性。

无层网络的主要优势在于，由于

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P28

▼表1 PSMA 跨层系统性能

通信系统	多用户分组统计复用跨层系统	一般通信系统
误码率容错能力	$\leqslant 10^{-4} \sim 10^{-6}$	$\leqslant 10^{-6} \sim 10^{-7}$
误帧率要求	≤20% ~ 30%	≤1% ~ 10%
抗突发误帧能力	强	弱
传输1 Mb/s 数据量的反馈开销	≤1 kb/s	> 1 kb/s

不同层次共存，两层或者跨层优化处理的信令开销可以达到最小。所有参数构成一个单一的数学组合，联合处理实现最优化。由于各层间复杂的相互依存性，参数的持续更新也会降低。

尽管低功率、少资源的新设备发展以及其多样性，使得无层通信的概念极具吸引力，但无层通信存在相当的挑战：

- 由于需要穷尽搜索所有可能的策略和参数，使其组成一个复合的、具有最优性能的架构，那么这种无层方法的复杂度将会非常巨大。
- 由于改变了现有的协议方式，需要完成新的系统级的实施实验。
- 无层通信中，由于相互操作的引入，需要新的控制平台。

鉴于整个地区的传统基础设施规模庞大和通信技术的多样性，一步转变成完全无层的构造是很有挑战性的。一般的方法是将两个相邻的层合并成一个层，逐渐地，最终实现完全无层的架构。

2 跨层设计性能优势分析

在前期研究过程中，作者所在课题组提出一种多用户分组统计复用(PSMA)系统，首次利用跨层技术，抛弃了传统无线通信技术中用物理信道区分用户的多址技术，建立了一种多用户统计复用无线传输信道资源的多址技术。在此基础上，进一步对数据链路层与网络层之间关联进行分析，针对无线通信衰落带来的丢包特性，提出一种利用无线链路控制(RLC)实体校验信息，代理生成传输控制协议(TCP)确认信息，极大降低了恶劣信道环境下，无线网络信道开销，明显改善了系统性能。性能比较参照表1。

3 结束语

作为3G/IMT-A_LTE+后续的技术发展方向，基于跨层优化的无线资源管理技术是一种提高网络资源利用率的突破性技术。它能够高效的为用户发送业务数据，促进各运营商之间加强合作，同时也将为运营商通过更经济的资源分配为更多数目的用户提供更高速率和质量的服务方式来获得更高的收益。理论与实践都表明，采用跨层优化的无线资源管理技术能极大提高用户接收性能。本文所讨论的无线资源管理的关键技术，使得新应用场景的出现有了可能。用户将真正体验到前所未有高速率和高质量的无线传输业务，同时为运营商创造新的业务增长点。另一方面，跨层优化的相关研究成果可以很自然地应用到协作中继和多媒体多播等多个研究方向中，从而促进相关领域的研究进展。

面向IMT-Advanced跨层优化技术是IMT-Advanced研发和产业化项目的重要组成部分。本文通过跨层优化技术、认知科学理论，发掘节点间资源分配与节点内部各层次间的潜在信息，对无线资源管理、规划与调度策略进行系统的描述。目前，无线通信标准化IMT-Advanced/LTE+组织已着手讨论跨层优化相关技术，对国内外通信企业与科研单位来讲，都是一个契机。中国已有众多单位积极提交相关标准提案，并争取接收成为无线通信标准，使得具有自主知识产权的方案在国际标准中占有一席之地，增强中国在IMT-Advanced领域的竞争力和创新能力。

4 参考文献

[1] SRIVASTAVA V, MOTANI M. Cross-layer design: A survey and the road ahead [J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(12): 112-119.
[2] BRANDENBURGER A M, NALEBUFF B J. Co-opetition: A revolution mindset that combines competition and cooperation [M]. New York, NY, USA: Doubleday, 1998.
[3] GUAN Zhangyu, YUAN Dongfeng, ZHANG Haixia. Co-opetition strategy for collaborative multiuser multimedia resource allocation [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications(ICC'09), Jun 14-18, 2009, Dresden, Germany. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009:5p.
[4] WU D, NEGI R. Effective capacity: A wireless link model for support of quality of service [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2003, 2(4): 630-643.
[5] KUMWILAISAK W, HOU Y, ZHANG Q, et al. A cross-layer quality of service mapping architecture for video delivery in wireless networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2003, 21(10):1685-1698.
[6] LIU Q, WANG X, GIANNAKIS G B. A cross-layer scheduling algorithm with QoS support in wireless networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2006, 55(3): 839-847.
[7] LIU Q, ZHOU S, GIANNAKIS G B. Cross-layer combining of adaptive modulation and coding with truncated ARQ over wireless links [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2004, 3(5): 1746-1755.
[8] SAARNIO J, AGUIAR R L, KUMAR V. Layereless communications: From dream to reality [J]. Wireless Personal Communications, 2007, 44(1):51-55.

收稿日期：2011-07-06

作者简介

王德胜，华中科技大学副教授；研究领域为无线传输跨层优化、协同无线通信、资源分配等；已发表论文20篇，承担国家基金项目7项，申请专利10项。

朱光喜，华中科技大学教授、博士生导师，信息产业部、科技部通信技术专家组成员；研究领域为下一代新型无线电通信技术和宽带多媒体通信等；已发表论文100篇，承担国家基金20项，申请发明专利30项。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P29

IMT-Advanced 增强多媒体多播技术

Evolved MBMS Technologies for IMT-Advanced Systems

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 05-0024-05

关娜/GUAN Na
周一青/ZHOU Yiqing
石晶林/SHI Jinglin
（中国科学院计算技术研究所 无线通信技术研究中心，北京 100190）
(Wireless Center, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

摘要： 多媒体多播(MBMS)通过点到多点方式实现由一个数据源向多个用户发送数据，能有效节省网络资源，是下一代宽带移动通信系统关注的重点技术。文章基于MBMS技术的发展历程、最新标准进展、前沿研究热点、演进过程，剖析了第3代移动通信系统(UMTS)R6 MBMS和第3.9代移动通信系统(LTE)R10增强多媒体多播(E-MBMS)的逻辑架构；阐述了LTE R10中E-MBMS的协议设计，包括关键术语、区域配置、逻辑信道映射和复用、控制消息流程及计数过程；给出了IMT-Advanced中E-MBMS技术发展，包括多基站协作、分层编码、喷泉码传输和终端协作传输的新趋势。

关键词： 多媒体多播；单频网；分层编码；喷泉码；终端协作

Abstract: Multimedia multicast and broadcast service (MBMS) uses point-to-multipoint transmission to deliver the same data to a large number of users. MBMS greatly saves network resources and has become a key technology in IMT-Advanced systems. This paper provides an overview of the development of MBMS, recent progress in standardization, and frontier research topics. The evolution MBMS standardization is introduced, and the logical architecture of MBMS in UMTS R6 and E-MBMS in LTE R10 is highlighted. The protocol design of E-MBMS in R10 is then presented, and the technical terminologies, MBSFN area configurations, channel mapping, control information procedure, and counting function are discussed. Promising frontier research topics on E-MBMS in IMT-Advanced are discussed in conclusion. These research topics include multi-base-station cooperation, layer coding, fountain coding, and terminal cooperation.

Keywords: multimedia multicast and broadcast service (MBMS); single frequency network (SFN); layer coding; fountain coding; terminal cooperation

随着科技的高速发展和人们生活水平的快速提高，移动通信技术取得了突飞猛进的发展。最开始的第一、二代移动蜂窝通信系统(1G、2G)提供了方便的随时随地的无线语音服务。20世纪90年代，随着互联网的出现，人们对无线数据通信的需求日益增强，因此第三代(3G)系统开始引入包括数据通信在内的移动多媒体服务。然而人们已经不满足于速率上限为2 Mb/s的3G，为此发展了LTE系统，可提供高达300 Mb/s的传输速率。进一步地，未来的第4代移动通信系统(IMT-Advanced)的目标是提供可与有线通信系统可比拟的，高达1 Gb/s的高速通信。发展宽带无线通信技术对提高国家科技水平，促进经济发展，提高人民生活水平具有重要的意义。中国从3G开始，积极推动移动通信技术的发展与标准化，提出了具有自主知识产权的国际标准TD-SCDMA，并进一步发展为国际标准TDD-LTE，而当前正在进行标准化的IMT-Advanced系统更成为中国未来10年重点发展的科技项目。

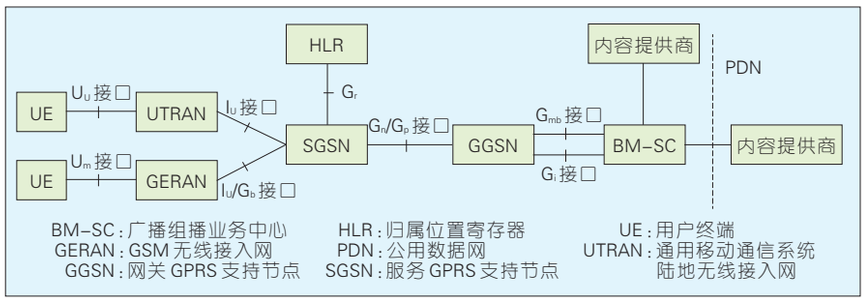
基金项目：国家重大科技专项(2010ZX03003-004)

从目前全球3G网络运营情况看，高速数据业务已成为发展最为迅速的增值业务。流媒体、手机网络游戏、在线音乐、大容量下载等高速数据业务是3G业务的发展趋势。与高速数据业务发展相适应，移动终端装置的影音多媒体能力越来越强，用户对于在移动终端上使用多媒体或移动电视等服务的兴趣也越来越浓厚。多媒体广播多播业务(MBMS)是国际标准化组织3GPP在第3代移动通信系统(UMTS)的R6版本中引入的重要特性。利用广播多播业务自身的特性，MBMS通过点到多点的传输方式(PTM)可以实现一份资源同时为多个用户传送数据的目的，较之传统的点到点(PTP)传输方式能够极大地节省资源，能够在有限的频谱资源下，为用户提供丰富的多媒体业务。因此，近年来MBMS技术受到学术界和产业界的高度关注。

1 MBMS技术演进

传统的移动蜂窝通信系统主要

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P30



▲图 1 UMTS R6 MBMS 网络架构

是为单个用户服务，而广播网络，如无线电台和电视广播，主要用于大范围覆盖，而不是用于为单个用户传输数据。在 UMTS R6 中引入的 MBMS 技术支持在蜂窝系统中传输广播多播业务，从而实现在单个网络中同时有效提供多播和单播业务。从 MBMS 技术提出至今，其标准已从 R6 演进到 R10，R11 目前还正在讨论制订中。在演进过程中，MBMS 技术的特性和网络部署都经历了很大的变化。

1.1 UMTS R6/R7

在 UMTS R6/R7 中，MBMS 功能是通过对 3G 网络的改进而实现的，因此 MBMS 架构要依附于已有的 3G 网络架构[1]。UMTS R6 MBMS 网络架构如图 1 所示。网络架构主要的改进包括两方面：一方面是增加了新的功能实体广播组播业务中心(BM-SC)来提供与管理 MBMS 业务；另一方面是在已有的功能实体上(包括 GGSN、SGSN、BSC/RNC 和 UE)增加对 MBMS 业务的支持。

BM-SC 是 MBMS 的核心功能实体，负责提供和管理 MBMS 业务。对于内容提供方，它是 MBMS 业务内容的入口；对于承载网络，它负责授权和发起 MBMS 业务，以及调度和传输 MBMS 业务数据。BM-SC 通过 Gmb 接口与网关 GPRS 支持节点(GGSN)进行信令交互，实现对 MBMS 业务的控制，并通过数据面接口 Gi 传送 MBMS 业务数据。

GGSN、服务 GPRS 支持节点(SGSN)按照 BM-SC 提供的业务要求建立或者释放 MBMS 承载，同时负责通过所建立的承载将来自 BM-SC 的业务数据下发到下游。在 GGSN、SGSN 中需要保存必要的业务信息，并保存相关的用户信息。通用移动通信系统陆地无线接入网/GSM 无线接入网(UTRAN/GERAN)会按照 BM-SC 的信令要求向用户终端(UE)发送来自上游的业务数据，并且在多播的模式下根据用户的数目来选择合适的无线传输方式。UE 是业务的接收端，对于多播，UE 需要通过发起激活/去激活 MBMS 承载过程来加入/离开 MBMS 业务。

UMTS R6 支持单小区的 MBMS 传输。不同小区的 MBMS 使用不同的扰码加扰传输。如果相邻小区传输同一个 MBMS 业务，接收端可以通过先进的信号处理合并不同小区的信号以增加接收增益。R7 进一步增强了对 MBMS 的支持，允许多个小区以同步方式使用相同的扰码传输相同的 MBMS 业务。这样，UE 接收机就可以进行多小区传输的联合均衡。这种机制某种程度上类似于 LTE R8 E-MBMS 传输采用的单频网方式[2]，只不过 R7 的空中接口采用码分多址(WCDMA)技术[3-4]，而 R8 则采用了正交频分复用(OFDM)技术[5]。

1.2 LTE R8/R9/R10

LTE R8 的一个重要新特性是引入了单频网技术。该技术允许多个互相同步的小区在同一频率上发送相同的 MBMS 信号，被称为多媒体广播单频网(MBSFN)传输。利用多小区“单频网”操作可以从根本上提高 MBMS 业务的传输效率和改善覆盖，又称为增强多媒体多播技术(E-MBMS)。单频网传输 MBMS 模式如图 2 所示。在单频网传输方式下，多个基站发出的信号均是有用信号。为了避免 OFDM 的符号间干扰，循环前缀(CP)需要覆盖多个小区信号的时延扩展，因此，需要对单小区下的 CP 长度进行适当的扩展。这样，在用户端看来，从多个小区接收到的信号如同从一个小区发送过来的多径信号，就可以按照单播信号的接收方法去接收来自多小区的 MBMS 信

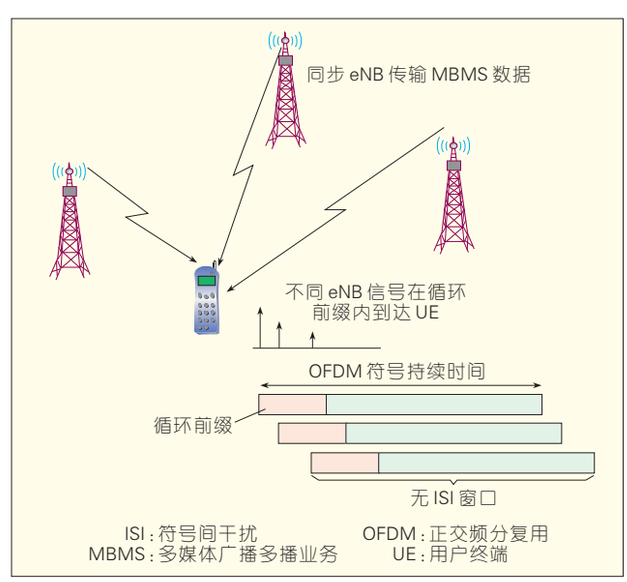
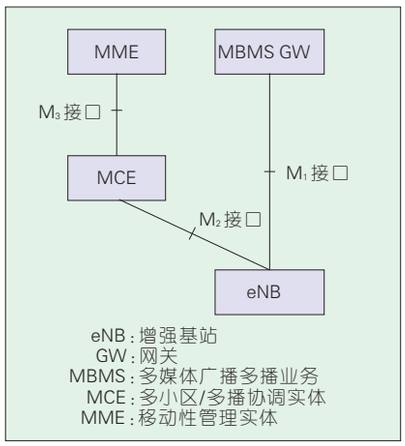


图 2▶ LTE R8 中单频网传输 MBMS 模式

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P31



▲图3 LTE E-MBMS逻辑架构

号，无需增加任何额外复杂度。

为了加速商业部署，在LTE R8中只定义了E-MBMS的基本特性，尚未完成整体的标准化。直到LTE R9标准才真正支持了E-MBMS技术。R9不仅详细定义了E-MBMS涉及到的每个实体的功能，还制订了接口之间的消息交互过程。而最新的R10版本是在R9的基础上增加了额外的计数功能。R9支持的E-MBMS逻辑架构如图3所示。图3中MME是移动性管理实体，MCE是多小区/多播协调实体，MBMS GW代表MBMS网关，M_3和M_2是控制平面接口，M_1是数据平面接口。

2 LTE R10中E-MBMS协议设计

本节介绍最新的LTE R10标准中E-MBMS的协议设计，包括关键术语的定义，标准支持的MBSFN区域配置，逻辑信道映射和复用，控制信息流程和计数功能。E-MBMS关键术语[6]有：

- MBMS服务区域。传输MBMS的网络地理区域。
- MBSFN同步区域。所有eNB可以同步进行MBSFN传输的网络区域。一个MBSFN同步区域可以包含多个MBSFN区域。在给定的一个频率上，一个eNB只能属于一个MBSFN同步区域。MBSFN同步区域独立于MBMS服务区域。
- MBSFN区域。在MBSFN同步区域中协调实现MBSFN传输的一组小区。MBSFN同步区域中的一个小区可以属于多个MBSFN区域，其中每个MBSFN区域有不同的业务及小区集。

2.1 MBSFN区域配置

MBSFN区域的配置有3种情况：静态配置、半静态配置及动态配置。

- 静态配置是在MBSFN服务建立时进行的配置。在该配置中，MBSFN业务、区域和小区的映射关系是固定的，不会随着业务的开始和结束发生改变。
- 半静态配置是通过RRC信令实现的，为运营商管理MBSFN区域提供了灵活性。MBSFN区域的分配通常在会话开始和结束时修改，在业务声明周期内可能有很小的变化。
- 动态配置的特点是根据MBMS业务的需要，可随时进行MBSFN区域的配置的更改。尽管动态配置允许无线资源有效支持特定小区的用户数，但实际上频繁重配置带来的频谱增益是非常有限的，因为它本身需要通过MBSFN区域的计数程序对MBSFN区域内接收MBMS业务的用户信息进行收集统计，以决定哪些小区MBSFN传输应该关或开或是否触发额外的邻小区。这些信令交互占据了一定的频谱资源，限制了动态配置带来的增益。此外，动态配置需要对目前网络资源管理机制进行比较大的改动。

在目前标准R9/R10中，只采用利用无线资源控制(RRC)信令实现的半静态MBSFN区域配置方式。这种方式存在的一个问题是不支持MBMS业务的连续性。因此，MBMS服务连续性是目前R11中讨论的一个热点，是否通过动态配置实现MBMS服务连续性保障还有待进一步研究。

2.2 E-MBMS逻辑信道映射和复用

E-MBMS的逻辑信道包括多播业务信道(MTCH)和多播控制信道(MCCH)，传输信道对应的是多播信道(MCH)。其中MTCH是从网络到UE传输数据业务的点对多点下行链路信道；MCCH是针对一个或多个MTCH，从网络到UE传输MBMS控制信息的点对多点下行链路信息。MCCH和MTCH都被映射到MBSFN模式的MCH传输信道上。MBMS逻辑信道、传输信道及物理信道映射关系如图4所示。

2.3 E-MBMS控制信息流程

目前LTE R10系统对于E-MBMS的控制信息流程如图5所示，分别包含了广播控制信道(BCCH)、MCCH以及MCH调度信息(MSI)。其中BCCH通过系统信息块13(SIB13)，最终映射到物理下行共享信道(PDSCH)来传

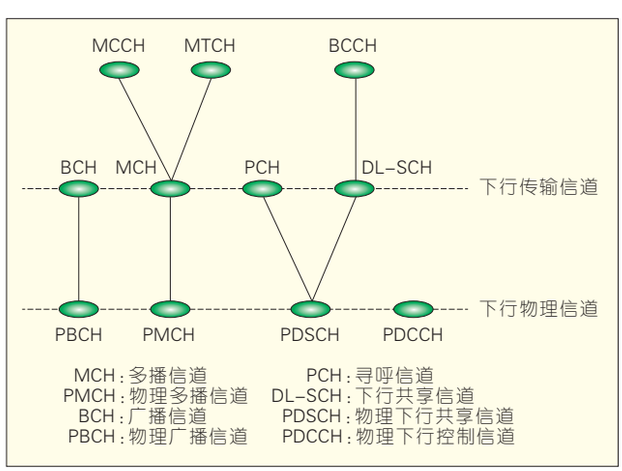
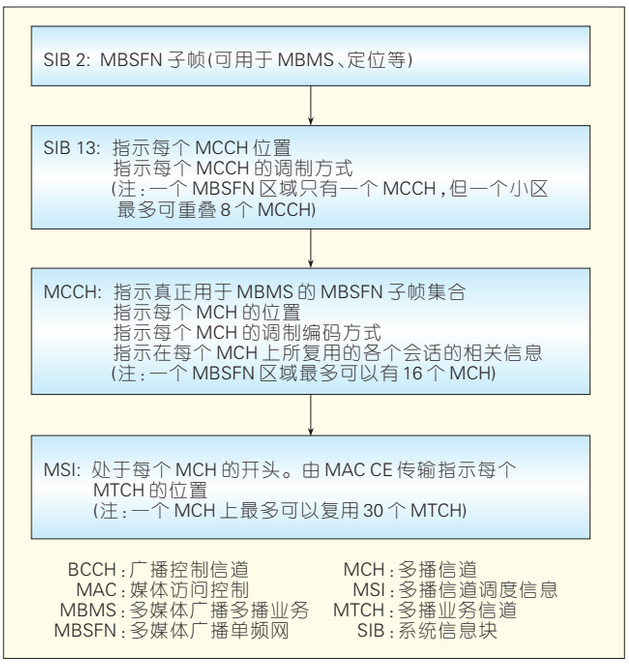


图4▶ MBMS逻辑信道、传输信道及物理信道映射关系

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P32



◀图 5 MBSFN 子帧配置、MCCH、MTCH、MCH 及 MSI 的逻辑关系

输;而 MSI 信息是 MAC 控制元素,可与 MCCH 或 MTCH 一起映射到 MCH 上,并经由 MBSFN 子帧来传输[7]。希望接收广播多播业务的用户,可以通过系统信息块 2(SIB2)获知相应的 MBSFN 子帧配置信息,然后通过 SIB13 获知 MCCH 出现的位置信息。MCCH 中包含接收 MCH 所需要的参数及物理层所采用的调制编码方式、通用子帧分配模式(CSA)等。

2.4 R10 E-MBMS 计数

LTE R10 中 E-MBMS 计数只针对连接状态的 UE 进行,是用来统计对接收某一个业务感兴趣的 UE 的个数。运营商可以根据计数结果决定是否采用 MBSFN 方式传输该业务。计数过程由网络发起。首先会让 MBSFN 区域内的 eNB 发送一个计数请求(包含在直接扩展的 MCCH 消息中),该消息包含需要 UE 反馈的临时移动组标识(TMGI)列表。然后连接模式下的 UE 会通过 RRC 计数响应消息反馈它正在接收或在列表中感兴趣的业务,该消息包含短的 MBMS 业务标识(在 MBSFN 区域内是唯一的),也可能选择性地包含标识 MBSFN 区域的信息(如 MBSFN 区域重叠时)。

计数过程满足的基本原则:

- 网络可以控制 UE 是否对每个业务计数。
- UE 通过单个计数响应消息可以报告多个 MBMS 业务。
- 当 UE 在同一个 MBSFN 区域内移动时,不用重传计数结果。
- 网络从一个 UE 相应的一个计数请求消息只获得一个响应,该计数请求消息是在一个修改周期广播的
- UE 不能主动告诉网络它接收 MBMS 业务兴趣的改变。
- 网络对 UE 感兴趣的每个业务进行计数。

3 E-MBMS 的发展趋势

在 LTE 中引入了单频网 MBSFN 传输方式,使得多媒体业务传输的频谱效率从 R6 的 0.02~0.2 bps/Hz 提升到 1 bps/Hz[8]。然而,IMT-Advanced 系统要求达到更高的多媒体业务频谱效率。如何实现该要求,是未来 E-MBMS 需要解决的关键问题。

3.1 多基站协作传输

考虑到系统的后向兼容性,在 LTE 中的 MBSFN 传输方式仍然会沿用到 IMT-Advanced 系统中。MBSFN 传输方式实质上就是一种多基站的协作方式。由于数据是通过 IP 多播的方式从 MBMS 网关发送的,不支持基站之间的相互通信,因此,在 MBSFN 方式下很难使用协作多输入多输出方式。所以,通过改进 MBSFN 再进一步提升频谱效率的可能性比较小。

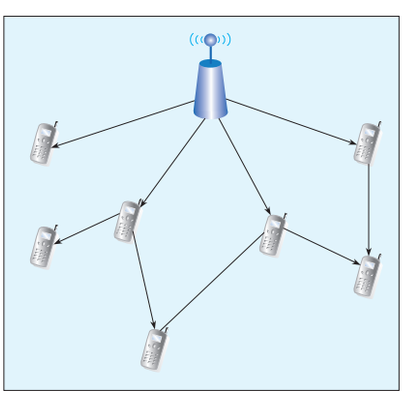
3.2 终端协作多播方式

除了基站之间的协作,也可以考虑利用移动终端之间的协作来改善多播传输的性能。

由于同一多播组内的用户接收的是相同的业务,无论是合作伙伴的选取还是数据安全方面的问题,都很容易解决。如图 6 所示,在终端协作传输中,将终端用作多播传输的中继,可以获得较大的路径增益,能够有效克服由于路径损耗造成的边缘用户性能损失。

进一步地研究表明[9],将终端协作和 MBSFN 传输方式结合,可将多播系统容量提升到原来的两倍。虽然现有研究[10-12]证明了终端协作用于多播传输的有效性,但这些方法主要是针对一些特殊的场景设计的,做了较多理想的假设。

未来的研究应结合实际系统的特点设计终端协作传输机制,考虑符合真实系统需求的无线资源管理,并针对终端的移动特性等进行深入的



▲图 6 单小区终端协作多播方式

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P33

探讨。

3.3 基于分层编码的多播传输技术

在现有的MBMS系统中，发射机的发射功率以及调制编码方式的设定需要为覆盖区域内的传输条件较差的用户考虑，这样才能保证大部分用户都能享受到所提供的多媒体服务。但实际上对于距离发射机较近的用户，其信道质量完全可以支撑更好的服务，因此在现有的MBMS系统中。信道条件差的用户成为系统性能提升的“瓶颈”。

最新的基于多媒体业务的多描述信源编码以及分级信源编码的基本理论，为解决这个问题带来了可能。以分级信源编码为例，其基本原理是将原始的视频信息编码分为基本数据流和增强流数据[13]。基本流考虑的是覆盖内的所有用户，可以保证用户得到最基本的视频观赏效果；而增强流面向信道状况较好的用户，只有那些信道较好的用户才能正确解调，从而可以得到更高质量的视频享受。这样就实现了对不同用户的不同服务等级，对信道状况较好的用户提供更好的服务，充分地利用了信道资源。

3.4 基于喷泉码的多播传输技术

多媒体广播和多播业务具有数据量大、延时敏感、用户规模动态变化等特点。当传输数据量很大，接收者大量增加时，如果采用自动反馈重传(ARQ)技术来处理丢失包，将造成网络的反馈拥塞，严重时还会造成网络瘫痪。

为了确保多播业务的服务质量，同时也避免采用ARQ技术带来的严重问题，数字喷泉编码[14-15]被引入到多播传输中。利用喷泉码，在编码的发送端可以由k个信源包生成任意数量的喷泉编码序列。接收端只要收到其中任意$k(1+\varepsilon)$个编码分组，即可通过译码以高概率成功恢复全部k个信源包，然后向发送端传送表示正确接收的ACK消息。发送端收到所有用户的ACK消息后，再发送新的一帧。可见，喷泉码的设计可以降低反馈造成的严重开销，使得多播数据能够在网络中健壮地传输。由于数字喷泉码在多播业务中能够提高数据吞吐能力、降低反馈开销和网络时延，3GPP已经将数字喷泉码作为MBMS多媒体数据传输的标准。

4 结束语

作为IMT-Advanced的关键技术，E-MBMS受到了产业界和学术界的极大关注，在3GPP组织的推动下获得快速的发展，有巨大的市场应用前景。本文深入剖析了MBMS技术发展的历程和最新的标准动向。虽然MBMS已得到了广泛的研究，但目前的技术还远远不能满足IMT-Advanced的性能要求，必须在协作通信、分层编码、喷泉码等前沿方向加强研究。

5 参考文献

[1] 3GPP TS25.346. Introduction of the Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN); Stage 2 [S]. 2011.
[2] 3GPP TS36.300. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 [S]. 2011.
[3] WANG J, MILSTEIN L B. CDMA overlay situations for microcellular mobile communications [J]. IEEE Transactions on Communications, 1995,43(2/3/4):603-614.
[4] WANG J, CHEN J. Performance of wideband CDMA systems with complex spreading and imperfect channel estimation [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2001, 19(1): 152-163.
[5] ZHOU Y Q, WANG J, SAWAHASHI M. Downlink transmission of broadband OFCDM systems – Part I: hybrid detection [J]. IEEE Transactions on Communications, 2005, 53(4): 718-729.
[6] SESIA S, TOUFIK I, BAKER M. LTE——UMTS长期演进理论与实践 [M]. 马霓, 邬钢,张晓博, 等译. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
[7] 3GPP TS36.331. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC) protocol specification [S]. 2010.
[8] 沈嘉, 索士强, 全海洋, 等. 3GPP长期演进(LTE)技术原理与系统设计 [M]. 北京:人民邮电出版社, 2008.
[9] CHEN Y, CHAO H. Cooperative broadcasting schemes for LTE-A [C]//Proceedings of the 20th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'09), Sep 13-16, 2009, Tokyo, Japan. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009:1487-1491.
[10] HOU F, CAI L X, HO P H, et al. A cooperative multicast scheduling scheme for multimedia services in IEEE 802.16 networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(3): 1508-1519.
[11] NIU B, HAI J, ZHAO H. A cooperative multicast strategy in wireless networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(7): 3136-3143.
[12] ZHAO H, SU W. Cooperative wireless multicast: Performance analysis and power/location optimization [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2010, 9(6): 2088-2100.
[13] BISWAS M, FRATER M, ARNOLD J. Multiple description video coding with 3D-SPIHT employing a new tree structure [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'07): Vol 3, Sep 16-19, 2007, San Antonio, TX, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: 389-392.
[14] MACKAY D J C. Fountain codes [J]. IEE Proceedings: Communications, 2005, 152(6): 1062-1068.
[15] 罗涛, 郝建军, 乐光新. 多用户协同通信与感知技术 [J]. 中兴通讯技术, 2009, 15(1): 57-61.

收稿日期：2011-07-05

作者简介

关娜，中国科学院计算技术研究所无线通信技术研究中心在读博士研究生；主要研究方向为无线资源管理、多播协作通信。

周一青，中国科学院计算技术研究所无线通信技术研究中心研究员、博导、IEEE高级会员；主要研究领域为宽带无线通信系统；已主持和参加国家基金项目10项，发表学术论文40篇(其中IEEE期刊论文10篇)，出版专著1部。

石晶林，中国科学院计算技术研究所无线通信技术研究中心研究员，北京邮电大学教授、博导，澳大利亚悉尼大学电子信息学院客座教授；主要研究领域为宽带移动通信与网络架构技术、通信基带芯片SOC实现技术等；已主持和承担国家基金项目30项，获国家发明专利30项，发表学术论文100篇。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P34

LTE-Advanced 中的载波聚合技术研究

Carrier Aggregation in LTE-Advanced Systems

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 05-0029-05

夏树强/XIA Shuqiang
戴博/DAI Bo
梁春丽/LIANG Chunli
（中兴通讯股份有限公司，广东 深圳 518004）
(ZTE Corporation, Shenzhen 518004, China)

摘要： 随着移动通信技术的发展，用户对数据速率的要求越来越高，与此同时频谱资源紧缺的问题日益严重。为了满足LTE-A系统对带宽的需求而提出了频谱聚合技术。与LTE系统相比，LTE-A系统需要在上下行控制信道设计、功率控制、TDD特定场景等多方面做相应的改变以支持频谱聚合的功能。

关键词： 频谱聚合；控制信道；功率控制；分量载波

Abstract: With the development of mobile communications, the requirements on data rate are increasing sharply. The shortage of spectrum is also becoming more serious. To deal with these problems, carrier aggregation, in which two or more component carriers are aggregated to support wider transmission bandwidths, is introduced into LTE-Advanced. Compared to LTE, the design of uplink/downlink control channel and power control, as well as some special scenarios in TDD need to be reconsidered for carrier aggregation in LTE-Advanced systems.

Keywords: carrier aggregation; control channel; power control; component carrier

为了提供更高的数据速率，支持更多的用户业务和新的服务类型，3GPP LTE-Advanced在LTE基础上又提出了新的需求[1]。其中，如何满足更大带宽需求成为LTE向LTE-Advanced演进的最重要考虑因素之一。这是因为：受限于通信发展历史及无线频谱资源紧缺等因素，很多运营商拥有的频谱资源往往都是非连续的，每个单一频段都难以满足LTE-Advanced对带宽的需求。因此，3GPP组织提出了载波聚合(CA)[2]，CA技术的核心思路是：将多个连续或离散载波聚合在一起，形成一个更宽频谱。这种技术的应用既满足了LTE-Advanced在带宽方面的需求，又可以提高频谱碎片的利用率。

基金项目：国家重大专项(2009ZX03003-002-02)

1 LTE-Advanced 中载波聚合技术的设计原则

在LTE-Advanced(LTE Release-10)系统关于载波聚合的设计过程中，主要遵循了如下原则：

(1)聚合的每个分量载波(也称为服务小区，为表述一致方便，这里统一用分量载波)所采用的帧结构参数与LTE(LTE Release-8)中的相同。

(2)具有载波聚合能力的LTE-Advanced终端最多可以同时发送/接收5个分量载波(每个分量载波最多支持100个资源块)。

(3)允许把所有载波配置成与LTE标准兼容的载波，即使若干载波被某些具有载波聚合能力的LTE-Advanced终端聚合使用，LTE终端仍可以在其中一个载波上发送/接收数据。

(4)连续和离散载波聚合这两种聚合形式都支持，从物理层标准的角度来看，这两种载波聚合方式将采用相同的解决方案。

(5)具有载波聚合能力的LTE-Advanced终端可以支持非对称载波聚合，即下行链路和上行链路聚合的分量载波数目可以不同。

采用上述设计原则，不仅能满足LTE-Advanced系统在聚合带宽上的需求，而且可以很好地保持对LTE系统的后向兼容性，便于支持各种带宽能力的终端，非常有利于LTE系统到LTE-Advanced系统的平滑过渡。

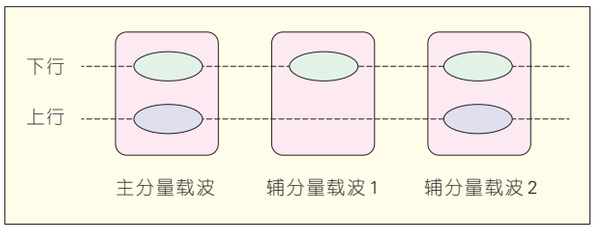
目前，LTE终端带宽能力通常是20 MHz，LTE-A通过聚合多个对LTE后向兼容的载波可以支持到最大100 MHz带宽。

2 LTE-Advanced 中载波聚合关键技术

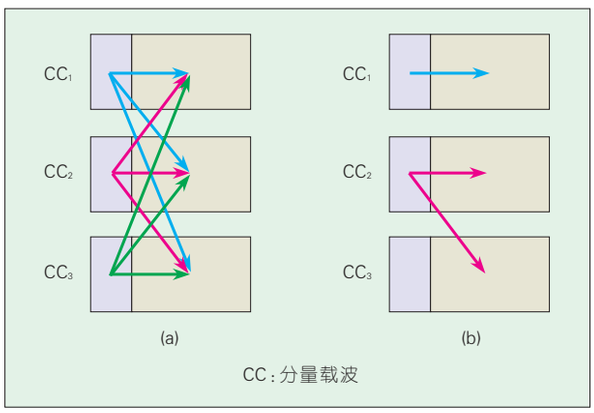
2.1 主从分量载波机制

在终端聚合的多个分量载波中，

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P35



◀图 1
主/辅分量载波



◀图 2
LTE-Advanced 的跨载波调度

高层会配置其中一对上行/下行分量载波为主上行/下行分量载波，其他分量载波称为辅分量载波。与主分量载波必须同时配置上下行分量载波不同，辅分量载波可以只有一个下行分量载波。图 1 给出了主/辅分量载波的示意图。

主分量载波除了要求同时配置有上行/下行分量载波外，还具有一些辅分量载波所不具有的一些性质，比如：

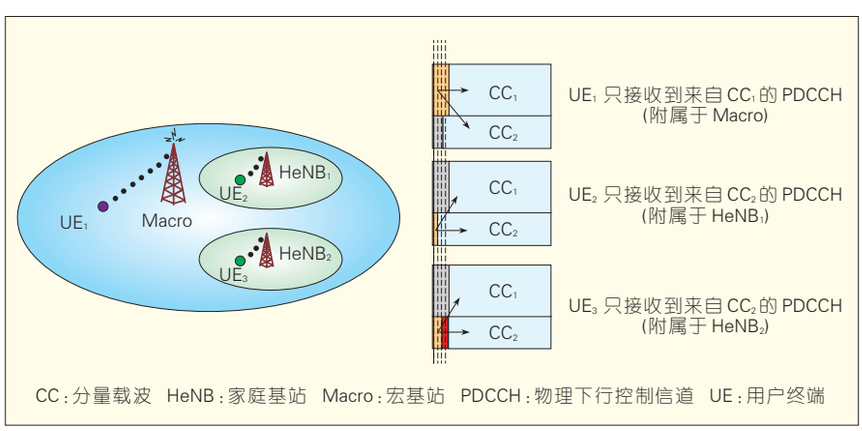
- 一些非接入层的移动性信息、安全参数等等只会在主分量载波上发送。
- 终端只会在主分量载波上发起随机接入过程。
- 主分量载波始终处于激活状态，而辅分量载波则可以通过信令来激活或去激活。

在 LTE-Advanced 载波聚合技术中，这种主从分量载波机制得到了充分应用，在下面章节的讨论中，主/辅分量载波的应用还会多次出现。

2.2 下行控制信道设计

LTE-Advanced 下行控制信道设计的一个重要目的是支持跨载波调度。在进行载波聚合时，系统支持半静态地配置是否进行跨载波调度。当未配置跨载波调度时，每个分量载波上拥有独立的下行控制信道，各信道工作方式与 LTE 系统中类似。当配置跨载波调度时，在下行控制信息(DCI)中新增载波指示位(CIF)来指示物理下行控制信道(PDCCH)与分量载波之间的对应关系。CIF 长度固定，其位置在不同格式的 DCI 中也是固定的。需要说明的是：在 LTE 中，终端通过盲检测来确定增强基站(eNB)发给自己的 PDCCH。如果允许任意的跨载波调度，这虽然增强了 eNB 调度的灵活性，但是盲检测搜索空间的个数将随跨载波调度的分量载波数量的增加而增加，将导致终端检测 PDCCH 的复杂度呈指数增加。为了解决这个问题，LTE-Advanced 标准规定：在确定某个分量载波上是否有自己的物理下行共享信道(PDSCH)/物理上行共享信道(PUSCH)时，终端只会在一个分量载波上检测与此相关的 PDCCH。为便于理解，图 2 给出了 LTE-Advanced 的跨载波调度示意图。LTE-Advanced 不支持图 2(a)所示的跨载波调度，但是支持图 2(b)所示的跨载波调度。在 LTE 中，终端需要在小区公有搜索空间和终端专有搜索空间两个搜索空间检测是否有自己的 PDCCH。在引入载波聚合后，为了进一步降低 PDCCH 盲检测复杂度，终端仅在主分量载波上检测小区公有搜索空间。

在异构网络中，不同分量载波的干扰情况是不同的。在这样的情况下，如何有效地进行干扰规避或干扰管理非常重要。而上述的跨载波调度则提供了一个高效的控制信道干扰规避机制。跨载波调度在异构网络中的应用如图 3 所示[3]。图 3 中 UE_1、UE_2、UE_3 都是具有载波聚合能力的终端，UE_1 附属于宏基站 Macro，UE_2、UE_3 则分别附属于家庭基站 $HeNB_1$ 和 $HeNB_2$，Macro 通过分量载波 1(CC_1)的 PDCCH 来调度 CC_1 和 CC_2；而 $HeNB_1$ 和 $HeNB_2$ 则通过 CC_2 的 PDCCH



▲图 3 跨载波调度在异构网络中的应用

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P36

来调度 CC_1 和 CC_2。由于频率差异，Macro 小区和 HeNB 的控制信道干扰通过跨载波调度的方式得到了有效规避。

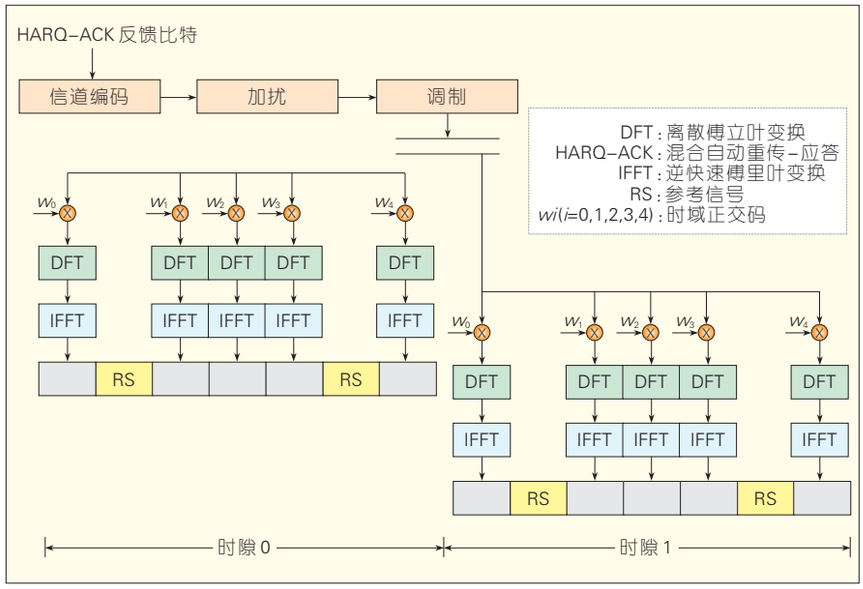
如前所述，跨载波调度可以有效地避免相邻小区下行控制信道之间的相互干扰。但与此同时，支持跨载波调度将对现有 LTE 系统的自动重传指示信道(PHICH)、物理控制格式指示信道(PCFICH)也造成一定影响。下面对它们分别予以阐述：

(1)在 LTE 系统中，为了节省信令开销，终端的 PHICH 资源是通过 eNB 分配的 PUSCH 资源隐含指示的，引入跨载波调度后会造成 PHICH 资源模糊和冲突问题。为了解决这个问题，LTE-Advanced 提出了根据分配的 PUSCH 资源和上行授权联合指示 PHICH 资源的方案，eNB 进而可以通过调度的方式解决该问题。

(2)在 LTE 中，终端如果 PCFICH 检测错误，那么就会导致后续的 PDCCH 检测失败，二者具有一致性。但是在引入跨载波调度后，就有可能出现分量载波 1 上调度分量载波 2 的 PDCCH 检测正确，分量载波 2 的 PCFICH 检测错误的情况，这进而会导致 PDSCH 检测错误，即使多次重传也不能正确解码，造成混合自动重传请求(HARQ)缓冲器损坏的严重问题。LTE-Advanced 通过设计新的高层信令，明确指示被跨载波调度的分量载波的 PDSCH 位置，从而避免上述问题的发生。

2.3 上行控制信道设计

在引入载波聚合后，上行控制信道设计面临的一个首要问题是：是否支持多个物理上行控制信道(PUCCH)同时传输？考虑到上行峰均比(PAPR)和功率控制限制，LTE-Advanced 规定终端只会在主分量载波上发送 PUCCH，并且在该分量载波上，终端同时只会发送一个 PUCCH。在此基础上，上行控制信道还面临如下 3 个关键问题：



▲图 4 PUCCH 格式 3 结构

(1)当终端聚合了多个下行分量载波时，终端如何反馈更多 HARQ-ACK 比特？以 FDD 为例，LTE 终端一次最多需要反馈 2 个 HARQ-ACK 比特，而 LTE-Advanced 终端一次则最多需要反馈 10 个 HARQ-ACK 比特。

(2)当 PUSCH 和 PUCCH 同时发送时，上行控制信息该如何发送？之所以出现这个问题是因为在 LTE 中，为了保证终端发送信号的低 PAPR 特性，终端不会同时发送 PUSCH 和 PUCCH。当然，这种规定也一定程度上牺牲了上行频谱效率。

(3)当终端聚合了多个下行分量载波时，终端如何反馈这些分量载波的信道状态信息(CSI)？

对于问题 1，LTE-Advanced 提出如下两个解决方案[4]：

方案 1 基于 PUCCH 格式 1b 的信道选择，借鉴 LTE 中 TDD 系统 HARQ-ACK 比特反馈的思想，对资源分配、信息映射进行优化。该方案最多可以反馈 4 个 HARQ-ACK 比特。

方案 2 提出一种新的 PUCCH 格式(PUCCH 格式 3)。PUCCH 格式 3 采用基于离散傅立叶变换-时域扩展-正交频分复用(DFT-s-OFDM)的信道结构。该信道结构最多可以支持 5 个终端复用在相同的时频位置上，具体结构如图 4 所示。当信道编码采用单里德-穆勒(RM)编码时，该方案最多可以反馈 11 比特(10 比特 HARQ-ACK 信号和 1 比特调度请求信息)，足以满足 FDD 系统最多支持 5 个载波聚合的场景。

为了提高 PUCCH 格式 3 的资源利用效率，LTE-Advanced 采用了一种高层半静态配置和物理层信令动态指示的资源分配方式。分配方式具体为：eNB 通过高层预先配置多个 PUCCH 格式 3 资源，这些 PUCCH 格式 3 资源可以为多个用户共享。当某终端需要 PUCCH 格式 3 资源时，eNB 可以利用 DCI 中的 PUCCH 资源指示信息指示终端应该使用前述高层配置的那些 PUCCH 格式 3 资源中哪些 PUCCH 资源。另外，对于基于 PUCCH 格式 1b 的信道选择的方法，LTE-Advanced 也引入了类似机制来提高 PUCCH 资源利用效率。

对于问题 2，LTE-Advanced 给出如下两个解决方案：

方案 1，当上行控制信息只有 HARQ-ACK 或者周期 CSI 时，HARQ-ACK 或者周期 CSI 在 PUCCH

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P37

上发送，PUSCH只传送用户数据；当上行控制信息既有HARQ-ACK也有周期CSI时，HARQ-ACK在PUCCH上发送，周期CSI在PUSCH上发送。

方案2，当有多个PUSCH可以发送上行控制信息时，若多个PUSCH所在的上行分量载波包含主上行分量载波时，选择在主上行分量载波上的PUSCH发送上行控制信息，否则选择上行分量载波索引最小的PUSCH发送上行控制信息。

对于问题3，LTE-Advanced将需要反馈的信息区分为周期CSI和非周期CSI。对于周期CSI，每个下行分量载波的反馈周期独立配置，当有多个下行分量载波的周期CSI需要同时反馈时，UE只反馈某一个分量载波上具有最高优先级的周期CSI(对于具有相同优先级的多个下行分量载波的周期CSI，反馈下行分量载波索引最小的分量载波的周期CSI)。而对于非周期CSI，LTE-Advanced对LTE中利用DCI触发非周期CSI的思路进行了扩展，将DCI中用于触发非周期CSI的“CSI请求”控制域由原来的1比特增加到2比特，同时，高层配置了两个分量载波集合，eNB可以根据调度需要，利用这两个比特可以触发终端发送某个分量载波集合甚至某个特定分量载波的非周期CSI。

2.4 功率控制

在LTE中，由于分量载波只有一个，所以eNB根据终端上报的功率上升空间报告(PHR)来确定终端剩余可用的功率。而在LTE-Advanced中，eNB的上行调度是以分量载波为单位的，不同分量载波之间传输的带宽以及MCS等参数都很有可能是不一样的。因此，其功控也是基于分量载波的，终端为每个分量载波都上报一个PHR。

为了支持PUSCH和PUCCH同时发送，LTE-Advanced还在LTE PHR基础上，针对PUSCH和PUCCH同时发送重新定义了一种新的PHR。另外，在LTE中，由于分量载波只有一个，当eNB分配资源所使用的功率超过终端最大发射功率时，终端功率消减为终端最大发射功率就可以了，而当LTE-Advanced聚合多个上行分量载波后，如果多个分量载波的发射功率之和超过终端最大发射功率时，需要规定终端如何对多个分量载波的发射功率进行消减，以使得多个分量载波的发射功率之和不超过终端最大发射功率。因此，LTE-Advanced采用了根据信道类型以及所传输信息进行分级功率削减的方案。方案具体如下：

- 当多个PUSCH同时发送且发射功率超过终端配置的最大发射功率时，通过对多个PUSCH的发射功率乘以同样的功率削减因子的方法来等比例的降低多个PUSCH的发射功率，确保上行发射功率不会超过终端配置的最大发射功率。
- 当同时发送的多个PUSCH中有某一个携带有上行控制信息时，先确保携带有上行控制信息的PUSCH的发射功率，然后通过对多个没有携带上行控制信息的PUSCH的发射功率乘以同样的功率削减因子的方法来等比例的降低多个没有携带上行控制信息的PUSCH的发射功率，确保上行发射功率不会超过终端配置的最大发射功率。
- 当多个PUSCH与PUCCH同时发送且发射功率超过终端配置的最大发射功率时，先确保PUCCH的发射功率，然后通过对多个PUSCH的发射功率乘以同样的功率削减因子的方法来等比例的降低多个PUSCH的发射功率，确保上行发射功率不会超过终端配置的最大发射功率。
- LTE-A系统支持多个测量导频信号(SRS)同时传输。当多个SRS同时发送且发射功率超过终端配置的最大发射功率时，通过对多个SRS的发射功率乘以同样的功率削减因子的方法来等比例的降低多个SRS的发射功率，确保上行发射功率不会超过UE配置的最大发射功率。

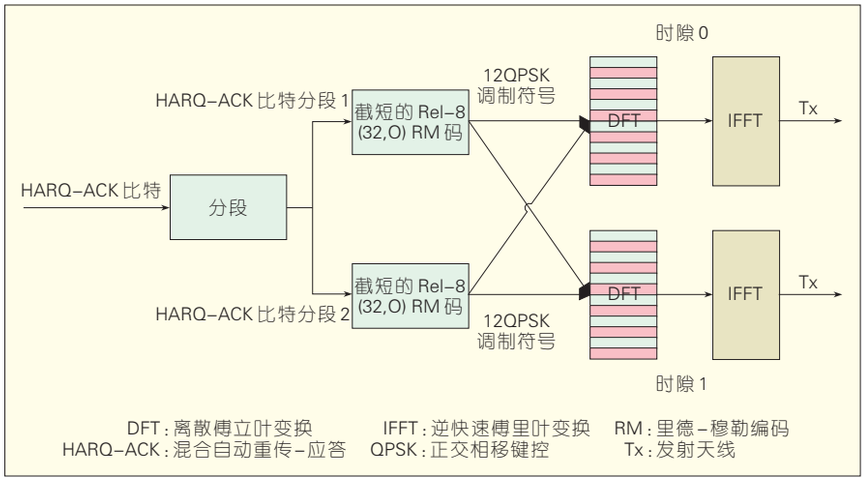
2.5 TD-LTE系统的特殊考虑

与FDD系统相比，引入载波聚合后，TD-LTE系统的终端一次需要反馈的HARQ-ACK比特更多。假设一个无线帧中上下行子帧比例为1:4，一个上行子帧上要反馈4个下行子帧的HARQ-ACK比特，如果聚合5个分量载波，每个分量载波的下行传输模式又支持两码字流传输，则UE需要反馈40个HARQ-ACK比特，而前述基于单RM码的PUCCH格式3结构，其支持的最大反馈比特数目不超过11。为支持超过11比特的HARQ-ACK反馈，LTE-Advanced对前述的PUCCH格式3结构进行了增强，采用了基于双RM码结构的PUCCH格式3结构[5]，具体结构如图5所示。在该结构复用容量保持不变(最多可达5个用户)的前提下，终端利用PUCCH格式双RM码结构一次可以反馈20个HARQ-ACK比特。

当终端配置为采用PUCCH格式3来反馈其HARQ-ACK比特时，遵循如下规定：

- 终端根据配置的分量载波数目、配置的上下行比例关系以及配置的下行分量载波的传输模式确定需要反馈的HARQ-ACK比特总数目。
- 当终端反馈的HARQ-ACK比特数超过20比特时，终端对所有配置的分量载波下的所有下行子帧进行空间逻辑与操作，从而保证最终发送的HARQ-ACK比特数目不超过20这一数目。
- 当终端反馈的HARQ-ACK比特数(包含经过了空间逻辑与操作后的HARQ-ACK比特数)不超过11比特时，终端采用基于单RM码结构的PUCCH格式3结构，否则，采用基于双RM码结构的PUCCH格式3结构。
- 为了最大优化反馈性能，提高下行吞吐量，对于TD-LTE系统，即使只配置一个分量载波，终端可以使用PUCCH格式3结构反馈HARQ-ACK

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P38



▲图 5 PUCCH 格式 3 双 RM 码结构

比特。

• 对于上下行子帧比例为 1:9 场景，为了减少反馈的 HARQ-ACK 比特数量，限制此场景仅能聚合两个分量载波。

3 下一步研究与发展方向

载波聚合技术作为 LTE-Advanced 系统的关键技术之一，通过将多个连续或离散的窄带频谱聚合使用，支持高速率的业务需求，具有广大的应用前景。结合其技术特征与 3GPP 相关标准化进展，在下一步的研究中，人们还需重点考虑以下问题：

(1)在上行载波聚合多个定时提前(MTA)支持

目前 LTE-Advanced 中所支持的载波聚合方案中，终端发送各个分量载波所用的定时提前都必须是相同的。这个要求限制了载波聚合技术在一些典型场景的应用，比如对于宏基站提供覆盖、RRH 提供热点容量增强的场景，终端要想上行聚合多个分量载波，同时向宏基站和 RRH 发送数据，其上行发送到宏基站和 RRH 所采用的分量载波采用不同的定时提前是非常必要的。其他场景如部署有频率选择性中继以扩展宏基站覆盖的网络，终端在发送多个分量载波时也需要针对不同分量采用不同的定时提前。考虑到上述场景应用非常广泛，上行载波聚合多定时提前技术将是未来载波聚合技术研究的一个热点[6]。

(2)新增载波类型

目前 LTE-Advanced 中所支持的载波类型都是兼容 LTE 的载波。在 LTE-Advanced 载波聚合技术标准化过程中，曾对非后向兼容 LTE 的载波类型，如扩展载波、分片载波等载波类型进行了一些初步研究。后来由于时间关系，这些载波类型没有得到充分讨论。但是，考虑到非后向兼容载波在频谱效率提高、异构网络下的干扰抑制、能量节省等方面的独特优势，关于非后向兼容载波的新应用场景及详细设计方案将在 LTE-Advanced Release-11 阶段得到进一步研究。

(3)TDD 系统载波聚合技术增强

对于支持载波聚合的 LTE-TDD 系统，目前要求每个分量载波的上下行子帧配置是完全相同的。这种限制虽然简化了系统设计，但是却非常不利 TDD 系统发挥其特殊优势，例如在宏基站提供基本覆盖、RRH 提供热点容量增强的场景。对于宏基站，其上下行业务比较比较均衡，相应地，分量载波的上下行子帧配置为 1:1 比较合适；而对于 RRH，其下行业务通常远大于上行业务，分量载波的上下行子帧配置为 3:1 可能要远比 1:1 效率高。可以预见，不同上下行子帧配置的载波聚合，特别是跨频段的不同上下行子帧配置的载波聚合将会是未来 LTE-TDD 系统载波聚合技术研究的一个重要方向。

4 参考文献

[1] 3GPP TR36.913. Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E UTRAN) [S]. 2011.
[2] 3GPP TR36.814. Further advancements for E-UTRA physical layer aspects [S]. 2011.
[3] Motorola. PCFICH in carrier aggregation [C]// 3GPP TDocs (written contributions) at Meeting: R1-60, Feb 22-26, 2010, San Francisco, CA,USA. 2010:R1-101111.
[4] 3GPP TS 36.213. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures [S]. 2011.
[5] CMCC, CATT, CATR, et al. WF on supporting ACK/NAK payload larger than 11 bits in Rel-10 TDD [C]//3GPP TDocs (written contributions) at Meeting: R1-62b, Oct 11-15, 2010, Xi'an, China. 2010: R1-105776.
[6] Nokia, Siemens. LTE carrier aggregation enhancements [C]//3GPP TSG RAN WG4 #59 Meeting, Jun 26-Jul 1,2011, Barcelona, Spain. 2011:RP-110451.

收稿日期：2011-07-04

作者简介

夏树强，南京理工大学硕士毕业；中兴通讯股份有限公司资深技术预研工程师、项目经理；主要研究领域包括载波聚合、MIMO、网络节能、高级接收机设计等；已申请专利 230 件，向 IEEE、3GPP 等国际通信组织输出提案 70 篇。

戴博，哈尔滨工业大学硕士毕业；中兴通讯股份有限公司高级技术预研工程师；主要研究领域包括帧结构、HARQ 过程、功率控制、多天线、载波聚合等；已申请专利 150 件，向 3GPP 输出 LTE 提案 50 篇。

梁春丽，厦门大学硕士毕业；中兴通讯股份有限公司高级技术预研工程师；主要研究领域包括帧结构、下行同步，上行控制信道、载波聚合等；已申请专利 50 件，向 3GPP 输出 LTE 提案 50 篇。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P39

LTE多媒体广播多播业务关键技术研究

Key Technologies in LTE MBMS

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 05-0034-05

马子江/MA Zijiang
许辉/XU Hui
王斌/WANG Bin
（中兴通讯股份有限公司，广东 深圳 518004）
(ZTE Corporation, Shenzhen 518004, China)

摘要： 多播技术从一个数据源向多个目标用户设备传送数据，实现网络资源的共享，提高网络资源（尤其是空中接口资源）的利用率。增强多播技术是IMT-Advanced的重要组成部分，3GPP LTE-Advanced是国际电信联盟无线通信部门(ITU-R)确认可以满足IMT-Advanced需求的4G技术。多媒体广播多播业务(MBMS)是3GPP LTE/LTE-A的一个重要特性，文章对长期演进LTE/LTE-A MBMS在3GPP标准中的关键技术及进展情况进行分析后，给出了相应问题的解决方案。

关键词： 第三代合作伙伴计划；长期演进；多媒体广播多播业务；多媒体广播多播单频网

Abstract: Multicast technology can be used to simultaneously transfer data from one source to many targets. This enables network resource sharing and improves efficiency in the air interface. In this paper, enhanced multicast technology is proposed as the key component of IMT-Advanced. The ITU-R has confirmed that, as a 4G technology, LTE-A can meet the requirements of IMT-Advanced. Key technologies and progress of LTE/LTE-A MBMS in 3GPP are also discussed and some corresponding solutions are proposed.

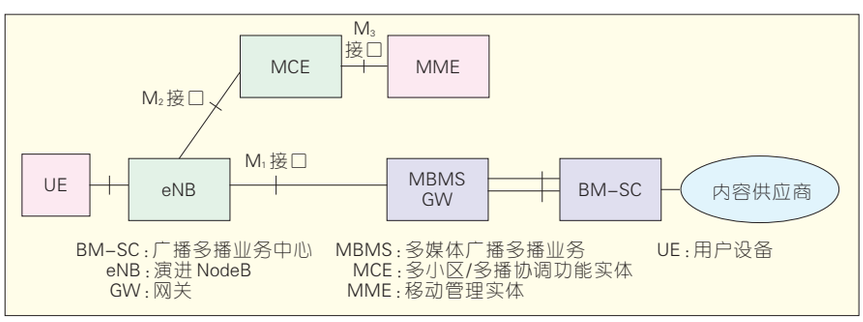
Key words: 3GPP; LTE; multimedia broadcast multicast service; multicast broadcast single frequency network

随着互联网的迅速发展和大屏幕多功能用户设备的普及，出现了大量移动数据多媒体业务和各种高带宽多媒体业务，如视频会议、电视广播、视频点播、广告、网上教育、互动游戏等，这些业务既满足了移动用户多业务的需求，也为移动运营商带来了新的业务增长点。这些移动数据多媒体业务要求多个用户能够同时接收相同数据，与一般的数据业务相比，具有数据量大、持续时间长、时延不敏感等特点。

为了有效利用移动网络资源，第三代合作伙伴计划(3GPP)提出了多媒体广播多播业务(MBMS)。该业务是一种从一个数据源向多个目标用户设备传送数据的技术，实现了网络(包括核心网和接入网)资源的共享，提高了网络资源(尤其是空中接口资源)的利用率。3GPP定义的MBMS业务不仅能够实现纯文本低速率的消息类多播和广播，而且还能够实现高速多媒体业务的广播和多播，提供多种丰富的视频、音频和多媒体业务，这无疑顺应了未来移动数据发展的趋势，为移动宽带通信的发展提供了更好的业务前景。在长期演进(LTE)系统中研究的MBMS技术，称为演进的多媒体广播多播业务(E-MBMS)，在本文中统称为MBMS。

1 LTE中的MBMS体系结构

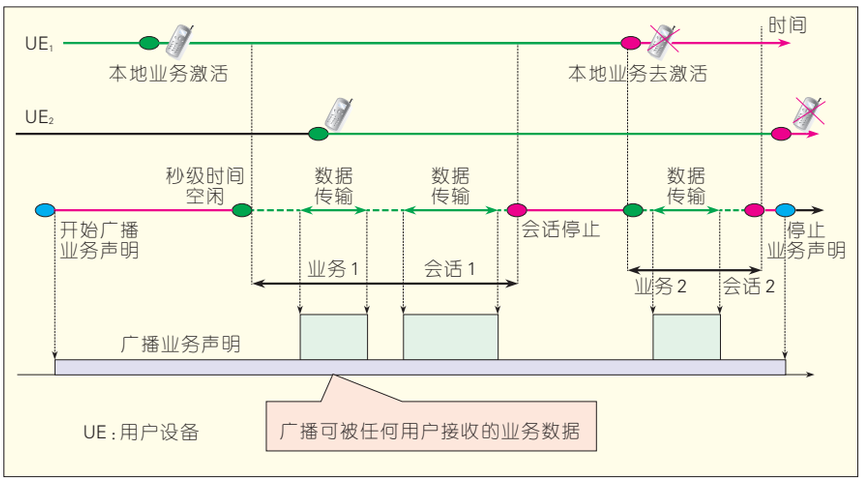
LTE/系统架构演进(SAE)下的MBMS框架[1]如图1所示。MBMS框架包括以下网元：广播多播业务中心



▲图1 LTE MBMS逻辑架构

基金项目：国家重大专项(2010ZX03003-004)

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P40



▲图2 MBMS 广播业务流程

(BM-SC)、MBMS 网关(MBMS-GW)、多小区/多播协调功能实体(MCE)、演进的 NodeB。其中，BM-SC 属于业务层网元，是内容提供者的入口，提供业务的汇聚和发送、用户的授权(密钥的产生和发送)、MBMS 业务承载的建立和发起、会话控制的发起等，同时还可以实现 BM-SC 与 eNB 之间的同步。MBMS-GW 作为 BM-SC 和 eNB 之间的一个节点，是网络的接入网关，负责处理用户数据相关的报文和会话相关的信令。

对于单个 MBMS 业务，MCE 主要用于业务的调度，即选择合适的资源(包括频率、时间等参数)，进行多媒体广播多播单频网(MBSFN)传输；对于多个 MBMS 业务，MCE 需要协调其相应的多个 MBSFN 传输，包括 MBSFN 区域的大小，无线资源的使用等等，以便能够合理地、高效地使用资源。

MBMS 包括多播模式和广播模式。由于多播和广播模式业务需求不同，导致其业务流程也不同。

在 MBMS 广播模式下，由于广播业务向无线网络中的所有用户发送信息，因此，各网络节点不需要执行 MBMS 注册过程。当准备好发送数据时 BM-SC 触发 MBMS 会话开始过程；会话开始过程激活网络中用于传输 MBMS 数据的所有需要的承载资源。通过这个过程，BM-SC 将该 MBMS 承载业务的终端移动组标识(TMGI)、服务质量(QoS)、MBMS 业务域、估计会话长度参数等会话属性提供给相关网络节点。下游节点完成相应工作后，BM-SC 开始广播数据传输。各个节点通过会话开始过程中建立的承载传输广播数据到 UE。

MBMS 广播模式和多播模式的主要业务流程比较相似，都需要依次进行业务声明、会话开始、MBMS 通知、数据传送和会话结束的处理。二者的区别在于，多播模式还需要用户签约相应多播组，进行业务激活，并依据用户加入和用户退出的时刻产生相应的计费信息。MBMS 广播业务流程示意图如图 2 所示[2]。

在 LTE/LTE-A 中，MBMS 只有广播承载模式，没有多播承载模式。

LTE 系统中，用户设备(UE)可以有两种工作模式：无线资源控制空闲(RRC Idle，简称空闲)模式或无线资源控制连接(RRC Connected，简称连接)模式，两种模式下的 UE 都可以接收 MBMS 业务。

2 多播传输中的关键技术

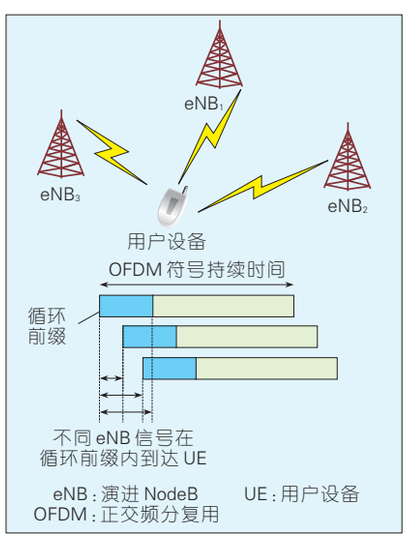
在 LTE 系统的版本 9(R9，Release 9)中引入了 MBMS 技术，并在版本 10(R10，Release 10)中进行增强。在 R9 中，MBMS 业务的控制信令与用户数据分开传输，分别称为控制面(CP)和用户面(UP)。控制面通过控制业务的开始、更新和结束，来控制用户面数据的发送，实现基本的 MBMS 业务的发送。MBMS 业务在固定大小(可以静态或半静态配置)的 MBSFN 区域中发送。在 R10 版本中，为了提高 MBMS 系统的资源利用率，方便运营商管理，对 MBMS 技术进行了增强，主要包括：计数和基于优先级的抢占(ARP)机制。R11 MBMS[3]将要重点讨论业务连续性，位置相关的 MBMS 业务，以及载波聚合(CA)和中继下的 MBMS 部署。

下面将对多播传输中的关键技术进行具体分析。

2.1 多播无线传输技术

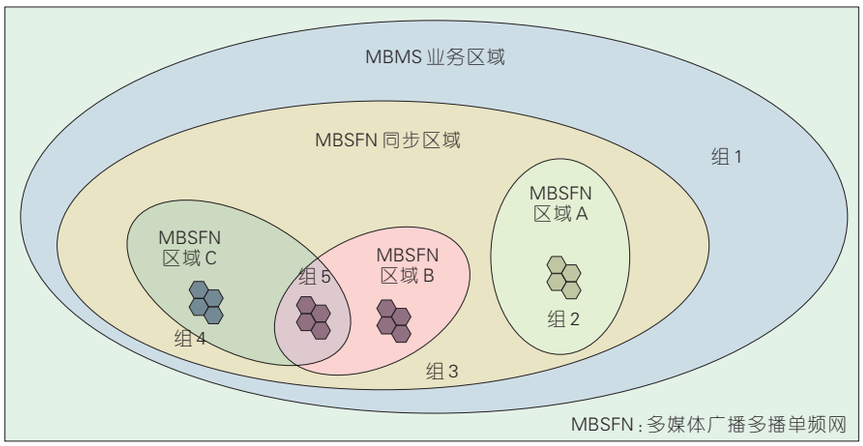
LTE 的一个重要特性是基于同步单频网，采用正交频分复用(OFDM)无线接口传输 MBMS 数据，这称为 MBSFN 操作。

MBSFN 传输的示意图如图 3 所示。在 MBSFN 传输中，MBMS 数据通过时间同步的多个小区在空中接口同时传输。UE 接收到有多个小区传输的具有不同传输时延的 MBMS 信号。如果来自多个小区的信号在符号起始处的循环前缀内到达 UE，就没有符号间干扰(ISI)，UE 可以将来自



▲图3 MBSFN 传输示意

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P41



▲图 4 MBMS 中的不同区域概念

多个小区的 MBSFN 传输看作一个大的小区传输。UE 接收机采用与处理单小区传输的多径合并来处理多小区传输，不会导致额外的复杂性。

MBSFN 传输可以使频谱效率大大提高，这对小区边缘用户的接收特别有用，同时可能将构成小区间干扰的邻小区传输转换成为有用的信号能量，因此接收信号功率大大增加。

为了实现多小区传输信号合并，MBSFN 传输的物理多播信道(PMCH)子帧结构使用扩展循环前缀(CP)。因为多小区传播时延的差别通常比单小区时延扩展要大得多，较长的 CP 有助于确保接收信号落在 UE 接收机的 CP 内从而减少了 ISI 的可能性。这就避免了 UE 接收机上均衡器的复杂性，但由于较长的 CP 的额外开销也导致了峰值数据率的一些损失。

2.2 专用载波和混合载波

可以设计支持专用载波上的 MBMS，利用载波上所有的子帧传输 MBMS 数据，或者在混合载波上共享 MBMS 和单播业务。对于混合载波部署，用不同的子帧实现 MBMS 和单播业务的时分复用。不允许使用某些子帧进行 MBSFN 传输：为了避免干扰同步信号、寻呼以及重要的系统信息的发送，频分双工(FDD)系统中每个无线帧的子帧 0、4、5、9 或时分双工(TDD)系统中子帧 0、1、5、6 被保留作为单播传输，以保证解码广播系统信息有足够可用的公共参考信号(CRS)。

专用 MBMS 载波只对下行链路传输，不支持上行链路连接(因为没有携带上行链路授权信令的物理下行链路控制信道(PDCCH))

2.3 同步技术

MBSFN 传输要求来自多个小区的传输必须遵守严格的时间同步，精度为几微秒，在 CP 内实现符号级对齐。在 MBMS 中定义了 MBMS 业务区域、MBSFN 同步区域、MBSFN 区域，上述区域的概念如图 4 所示。

为了保证无线帧的同步传输，MBMS 在 eNB 和 BM-SC 之间使用了同步(SYNC)协议[4]，如图 5 所示。BM-SC 在进行数据传输时会携带 SYNC 信息。eNB 会根据这些 SYNC 信息来发送无线帧。为了保证同步传输，还需要 eNB 具有一定的缓存能力。

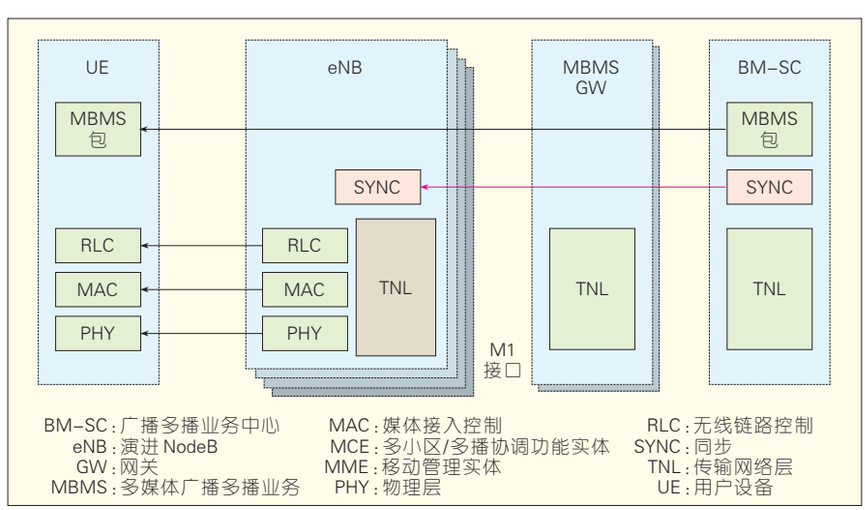
在 MBSFN 同步区域内，所有 eNB 的 SYNC 信息是统一的，并且在进行 MBSFN 传输之前，由 MCE 为所有的 eNB 配置相同的无线链路控制/媒体接入控制/物理层(RLC/MAC/PHY)。对于特定的 MBMS 业务传输，BM-SC 向相关的 eNB 发送 MBMS 业务数据，BM-SC 不需要知道准确的无线资源分配信息，只需要在 MBMS 业务数据中携带 SYNC 信息即可。

2.4 MBMS 计数过程

在 MBMS 传输中，为了统计特定区域中参与接收 MBMS 业务的用户设备数量，并根据用户设备数量确定无线传输方式，如 MBSFN 传输或单播传输，可以采用计数过程。计数过程的原理示意图如图 6 所示。

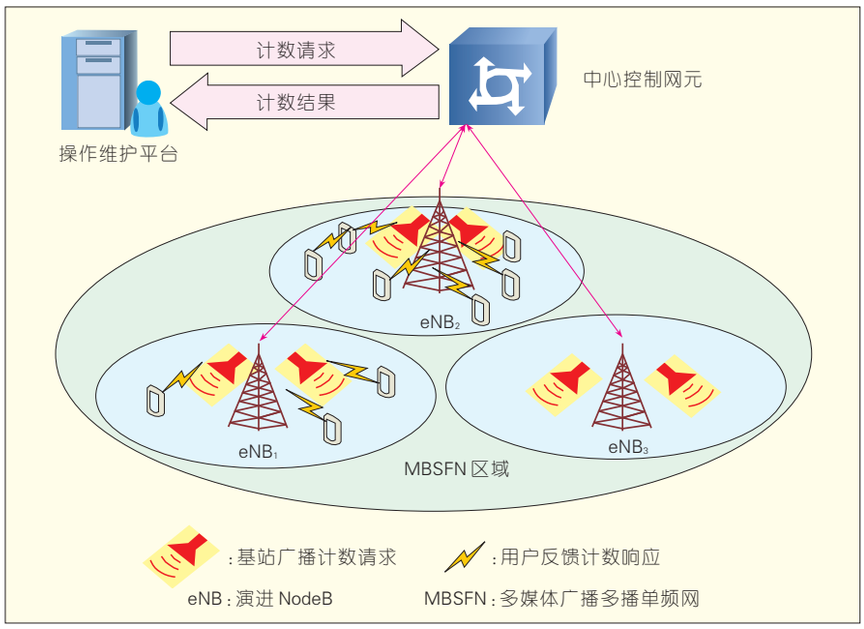
在 3GPP LTE R10 中，提出了根据 UE 接收状态实现激活或去激活给定 MBMS 业务的 MBSFN 传输的需求。为了使网络侧能够得到 MBSFN 区域内有 MBMS 业务需求的用户数，MBMS 系统引入了计数过程[1,5]。

MBMS 计数过程的开始和终结都由 MCE 负责，如图 7 所示。针对

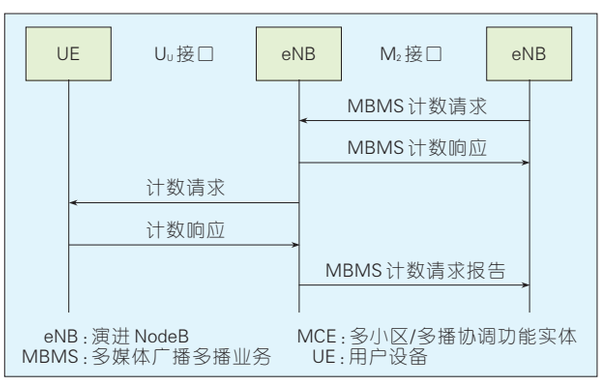


▲图 5 包含 MBMS 内容同步的 SYNC 协议用户面结构

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P42



▲图 6 计数过程过程



▲图 7 MBMS 计数过程

MBMS 计数，目前 R10 的结论如下[5-6]：

(1) 只针对连接模式(RRC Connected)UE 进行计数。

(2)MCE 一次最多对 16 个 MBMS 业务计数。

(3)一个计数过程在一个多播控制信道(MCCH)修改周期(MP)内完成。

空闲模式 UE 和连接模式 UE 都可以接收 MBMS 业务，R10 规范中只统计连接模式的 UE，因此计数结果是不准确的。在 LTE-A R11 中可能需要进一步的研究针对空闲模式 UE 的计数过程，空闲模式 UE 的计数的难点在于：为了发送反馈信息，UE 与网络侧建立 RRC 连接，UE 需要发起随机接入过程。当 MBSFN 区域中接收 MBMS 业务的空闲模式 UE 数量较多时，上行反馈时可能造成上行链路拥塞，因此需要采取拥塞避免方案。可能的解决方案包括：采用概率因子，或者后退机制，或者采用专用的随即接入前导等。

2.5 载波聚合中的 MBMS 技术

LTE 系统中，小区只有一个上行载波和下行载波。在长期演进-高级(LTE-A)阶段，为了提高上下行的传输速率，一个 LTE-A 小区的上/下行可以配置有多个分量载波(CC)，多个 CC 汇聚在一起形成最大 100 MHz 的传输带宽。UE 可以在一个或多个 CC 上进行数据收发(取决于 UE 自身的能力)，这称为载波聚合(CA)。

LTE-A 多载波部署如图 8 所示。MBMS 业务可以部署在一个分量载波或者全部分量载波的子集上。

在多载波环境中传输 MBMS 业务存在以下问题：对于空闲态 UE 和没有 CA 能力的 UE 只能驻留在一个 CC 上，如果 MBMS 部署在另外的 CC 上，则 UE 可能无法接收 MBMS 业务；对于 CA 能力受限的 UE，如果 MBMS 部署在 UE 所汇聚 CC 之外的 CC 上，UE 同样无法接收 MBMS 业务。可能的解决方案是：网络侧指示 MBMS 所在的载频信息，在所有 CC 上发送 MBMS 配置信息，另外的问题包括：不同的 CC 是否可以采用不同的 MBSFN 子帧分配模式？对于空闲 UE 只能驻留在一个 CC 上，如何充分利用 CA 提供的更大带宽？驻留在不同 CC 上的 UE 是否可以响应一个 CC 上的计数请求？这些问题都有待于我们进行进一步的研究。

2.6 中继支持的 MBMS 技术

LTE-Advanced 对于 LTE 的演进保留了 LTE 的核心，并在此基础上采用一系列技术对频域、空域进行扩充，以达到提高频谱利用率、增加系统容量等目的。无线中继技术旨在扩展小区的覆盖范围、减少通信中的盲点地区、提高频谱效率、平衡负载、转移热点地区的业务、节省 UE 的发射功

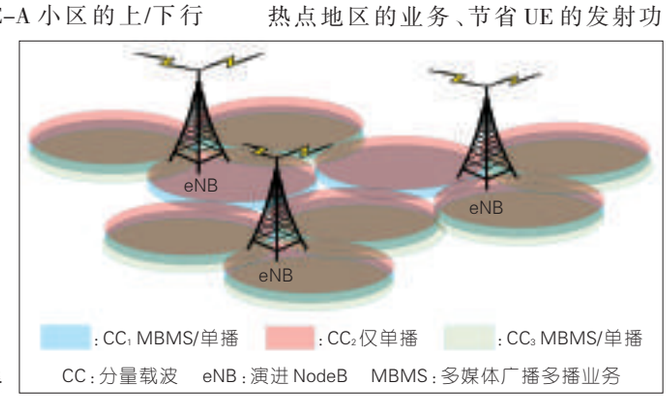
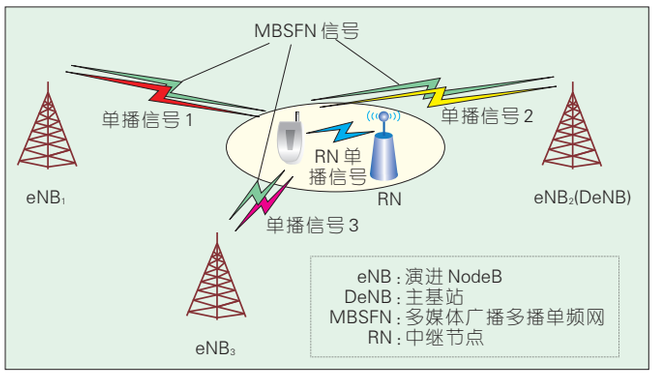


图 8▶ LTE-A 多载波部署

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P43



◀图 9
RN 中的干扰信号

率等。

在 3GPP LTE R10 中，规定中继节点(RN)不支持 MBMS 业务，即 RN 不参与 MBSFN 传输。

如果 MBSFN 区域中的施主基站(DeNB)参与 MBSFN 传输 MBMS 业务，RN 不参与 MBSFN 传输，RN 发送单播业务，DeNB 和 RN 的覆盖存在重叠区域(如图 9 所示)，则 DeNB 发送的 MBMS 业务与 RN 发送的单播业务存在相互干扰，可能导致 UE 不能正常接收所需业务[7]。

有两种方案解决上述问题。方案 1：在 RN 中支持 MBMS 业务；方案 2：RN 不支持 MBMS，但是采取一些措施避免干扰。对于方案 1，目前在 3GPP LTE-A R11 版本的 MBMS 研究目标(WI)中还没有描述，可能作为后续版本的增强功能，下面仅对方案 2 进行讨论。为了避免干扰，首先需要 DeNB 向 RN 发送 MBMS 的资源配置信息，具体为 MBSFN 子帧配置信息。RN 收到 MBMS 子帧配置信息后再做处理，可能的处理方法包括：

- RN 将相应的 MBMS 子帧设置为空的 MBSFN 子帧，即只发送 MBSFN 子帧中的单播域的控制信息。
- RN 在相应的 MBMS 子帧上不发送单播数据；此时 MBMS 子帧作为单播子帧，由于存在重叠区域，公共参考信号(CRS)和 MBMS 业务可能产生相互干扰。

2.7 用户设备的 MBMS 接收性能

未来，MBSFN 数据的接收可能是一个 UE 能力的可选项，其他可选能力包括对专用 MBMS 载波 7.5 kHz 子载波间隔的支持，以及当在专用 MBMS 载波上接收 MBMS 时可同时接收单播业务。

在混合 MBMS/单播载波上，UE 可用单个无线接收机支持对单播业务和 MBMS 业务的同时接收，且没有 MBMS 业务中断。这是混合载波部署的主要优点。

在专用 MBMS 载波上，同时接收单播业务(如语音或视频或数据业务)和 MBMS 业务的能力是可选的，因为在专用载波上同时接收业务只有双接收才能做到。为了检查寻呼信息，不支持同时接收的 UE 可能必须中断 MBMS 业务的接收，这可能导致用户体验的恶化。

3 结束语

面向 IMT-Advanced 的增强多媒体多播技术作为 IMT-Advanced 研发和产业化项目中重要的子项目，对 IMT-Advanced 产品研发和产业化过程都非常重要，直接影响 IMT-Advanced 系统和产品的性能以及用户感受。3GPP LTE-Advanced 是国际电信联盟无线通信部门(ITU-R)已经确定可以满足 IMT-Advanced 需求的 4G 技术。MBMS 技术作为 3GPP LTE/LTE-A 的一个重要特性，在 3GPP R9/R10/R11 进行了深入研究，形成了相应的稳定技术规范。本文对 LTE/LTE-A 中的 MBMS 关键技术进行了分析，同时说明了 MBMS 在 3GPP 标准研究中的现状。

4 参考文献

[1] 3GPP TS36.300 V10.3.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 [S]. 2011.
[2] 3GPP TS23.246 v10.0.0. Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description [S]. 2011.
[3] WI: Service continuity improvements/location info for MBMS [C]//3GPP TSG RAN WG2 #73bis Meeting. Apr 11-15, 2011, Shanghai, China. 2011:RP-110452.
[4] 3GPP TS25.446 V9.1.0: MBMS synchronization protocol (SYNC) [S]. 2011.
[5] 3GPP TS36.331 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC) protocol specification [S]. 2010.
[6] 3GPP TS36.443 V10.1.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); M2 Application Protocol (M2AP) [S]. 2011.
[7] CMCC, CATR, ZTE. Considerations on deployment of both relay and MBMS [C]// 3GPP TSG RAN WG2 #71 Meeting, Aug 23-27, 2010, Madrid, Spain. 2010: R2-104553.

收稿日期：2011-06-28

作者简介

马子江，中兴通讯股份有限公司高级标准预研工程师；主要研究领域包括 MBMS、MDT、SON 等无线宽带技术；已申请 LTE 技术相关发明专利 20 件，在 3GPP 输出 LTE 提案 30 篇。

许辉，电子科技大学博士毕业；中兴通讯股份有限公司高级技术预研工程师；主要研究领域包括无线网络拥塞控制技术、无线多播传输技术等；已申请 LTE 技术相关发明专利 30 件，发表论文 10 篇，在 3GPP 输出 LTE 提案 20 篇。

王斌，西安交通大学硕士毕业；中兴通讯股份有限公司高级技术预研工程师；主要研究领域包括 MBMS、Relay、感知无线电技术等；已申请 LTE 技术相关发明专利 30 件，在 3GPP 输出 LTE 提案 20 篇。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P44

分布式多天线技术研究

A Survey of Distributed Antenna Systems

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 05-0039-03

李子荣/LI Zirong
朱登魁/ZHU Dengkui
鲁照华/LU Zhaohua
（中兴通讯股份有限公司，广东 深圳 518004）
(ZTE Corporation, Shenzhen 518004, China)

摘要： 在基于多输入多输出-正交频分复用(MIMO-OFDM)技术的下一代宽频无线通信系统中，为了提高频谱利用率，一般采用同频组网，这就在小区边缘引入了同频干扰，影响了系统覆盖范围、容量以及边缘用户的切换体验。分布式多天线系统可以有效地解决上述问题，它通过拉远天线的距离，充分利用多输入多输出(MIMO)技术的空间分集和宏分集优势，通过集中式的预编码、用户调度、功率控制等策略较好地控制基站内不同小区间的干扰，尤其适合于增强数据热点地区的覆盖，减少用户的切换次数，提升小区边缘用户的服务质量。

关键词： 多输入多输出；正交频分复用；分布式多天线系统；预编码

Abstract: Multiple-input multiple-output orthogonal frequency division multiplexing (MIMO-OFDM) is the key technology for next-generation wireless communication systems. To improve spectral efficiency, base stations use the same frequency band, which causes co-channel interference, reduces coverage area and system throughput, and weakens handover performance for cell-edge users. To overcome these problems, distributed antenna system (DAS) is employed. DAS can make full use of the space diversity and macro diversity of MIMO technology by dividing antennas into several independent sets and locating them in different geographic positions. Moreover, mutual interference between neighbor cells can be controlled by centralized precoding, joint scheduling, power control, and other advanced technologies. DAS is especially useful for enhancing the coverage of hotspots, decreasing unnecessary handover, and increasing QoS for cell-edge users.

Keywords: multiple-input multiple-output; OFDM; DAS; precoding;

由于在对抗多径衰落、克服快衰影响等方面有着其他技术无法比拟的优势，多输入多输出-正交频分复用(MIMO-OFDM)技术在WiMAX、LTE、Wi-Fi等无线通信标准中已经被广泛应用。在实际组网中，出于提升频谱利用率的考虑，一般采用同频组网，这就引入了同频干扰。部分频率复用(FFR)技术可以在一定程度上克服这个问题，但是它给调度带来了限制，使得正交频分复用(OFDM)系统的频率选择性调度增益减小。LTE R11标准中引入的协作多点传输(CoMP)技术(IEEE 802.16m中称为Multi-BS MIMO)是下一代无线通信标准中的热点技术，对于解决小区边缘干扰有较好的效果，同时又不影响小区中心用户的服务质量。

根据协作程度，CoMP可以分为协同调度/协同波束赋形(CS/CB)和联合传输/联合处理技术(JT/JP)两种。CS/CB技术不涉及不同小区(或基站)间用户发送数据的交换，JT/JP则需要数据的交换。JT/JP有两种架构，一种是分布式数据处理架构，另一种是集中式数据处理架构。在LTE R10中，使用分布式数据处理方式，基站间数据交换通过X2接口进行；在IEEE 802.16m中没有明确定义基站间的数据接口。但无论是LTE R10还是IEEE 802.16m，如果使用分布式数据处理，均存在数据交换延时过大的问题。在LTE R11中，引入了分布式多天线系统[1]。分布式多天线系统使用集中式(基带)数据处理，从宏观上看，无线接入部分是由位置相对集中的基带池(集中控制单元(CU))和分布式布置的射频、天线组成。拉远的分布式多天线和射频部分称为远端单元(RU)。RU的使用增加了天线间的物理距离，可以充分利用空间分集。

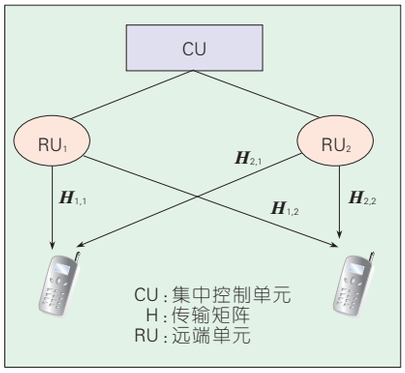
1 分布式多天线系统原理

1.1 基本概念

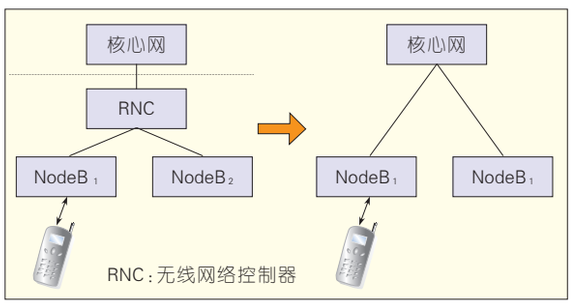
分布式多天线系统如图1所示。图1中两个远端单元(RU)同时为两个终端服务，其中集中控制单元(CU)是中央控制单元。CU一般包含基带处理单元，用于处理所有用户的基带信号，H是信道传输矩阵。对于系统中的某个用户，可以把整个系统看作一个大的多输入多输出(MIMO)系统考虑。由于RU地理上分布比较分散，所以大尺度衰落是影响分布式多天

基金项目：国家重大专项(2010ZX03003-002)

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P45



▲图1 分布式多天线系统



▲图2 WCDMA与LTE接入网

线系统的一个重要因素。正是因为大尺度衰落的影响，分布式多天线系统多在小区边缘有比较好的性能表现。详细分析可参见文献[2]。

1.2 网络架构

LTE接入网使用更加扁平的网络架构，取消了无线网络控制器(RNC)。WCDMA与LTE接入网示意图如图2所示。不同NodeB间通过X2接口交换数据。RNC的主要作用是无线资源管理和移动性管理。RNC取消后，这些功能被集成到NodeB中，并称为eNodeB。

在文献[1,3]中，定义了4种常用的CoMP系统配置方式：

(1)同一个基站内的不同小区组成分布式多天线系统，该方式也被称为区域内协作多点传输(Intra-site CoMP)，因为是同属一个基站，数据的交换是最便捷的，也是对现有网络结构改动最少的配置方式。

(2)在现有基站的基础上，用光纤把邻近的基站直接连接起来，做成分布式多天线系统，每个基站使用相同的高功率发送数据。

(3)以一个高功率基站为中心，用光纤连接邻近的小功率基站(超微型(picocell)或家用型(femtocell))。小功率基站使用全向天线。

(4)以一个高功率基站为中心，用光纤连接射频拉远单元，各射频单元使用全向天线。

方式(2)、(3)中的各个基站均有基带处理功能。对比LTE R11以前的方案，上述4种配置方式都舍弃了X2接口，而光纤数据传输的延时相对X2接口要小得多，虽然不一定需要采用集中式数据处理，但从这个角度来看，方式(2)、(3)、(4)都可以称为分布式多天线系统。每个RU或者独立的基站拥有单个或者多个天线。

从网络架构来看，分布式多天线与GSM/WCDMA系统中的宏分集概念类似，尤其是WCDMA系统中，软/更软切换下的NodeB合作场景，与分布式多天线系统基本对等。从基带处理的角度看，方式(4)是一个射频单元进行了拉远的基站。从这里也可以看出，分布式多天线系统并不限于某一通信标准。为了增加覆盖，充分利用现有站址和网络基础设施，分布式多天线的中央处理单元也可支持多种通信标准之间的垂直切换，例如LTE和Wi-Fi间的切换，从而集合不同通信标准的优点。

2 分布式多天线系统关键技术

2.1 光载无线电/预失真技术

从舍弃使用X2接口的CoMP技术可知，因为无线信道快变的原因，数据交换尤其在信道反馈信息方面的获取，延时要尽量缩短，因此不同的基站或者RU如何连接是分布式多天线系统设计的重点。考虑到无线宽带系统的数据量和成本，光纤连接是一个较优的方案。光纤可以传送模拟信号或者数字信号。根据文献[4]，一个100 MHz带宽的系统，如果使用公共通用无线接口(CPRI)/开放式基站架构(OBSAI)接口规范，一个射频信道需要传输的数据为6 144 Mb/s，4路信号的话则需要24 Gb/s。由于需要使用40G的以太网，加上数字复接器等设备，成本较高。相对数字传输方案，模拟传输方案需要的带宽低得多，而且不需要高速的数字复接器，成本低廉。模拟传输容易引入失真，并且以非线性失真为主，纠正这些失真需要增加额外的资源。但考虑到宽带系统的功放也需要纠正非线性失真(一般称为预失真)，这些资源可以重用。

预失真的原理如图3所示。图3中预失真模块和功放/光电器件的联合输出为输入信号的线性函数。

预失真技术包括数字预失真(DPD)和模拟预失真两种。模拟预失

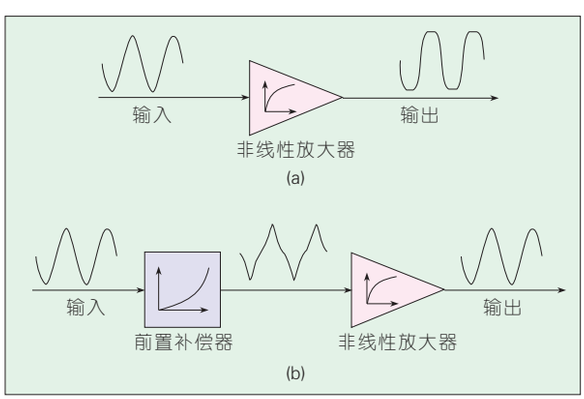
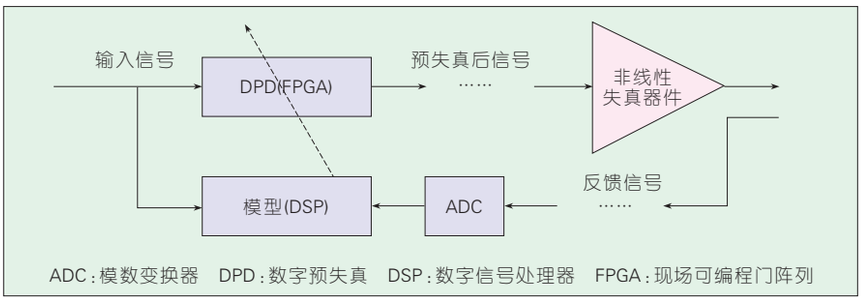


图3▶ 预失真示意图(以功放为例)

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P46



▲图4 DPD系统框图

真使用专用的射频电路直接对射频信号进行处理，适用性比较差，但是成本低，容易实现。数字预失真技术分为符号级处理和基带(中频)信号处理。由于前者适用性比较差，目前多使用基带信号处理的方法。

简单的DPD系统框图4所示。

用数字信号处理非线性失真，要先对线性失真进行建模。对于非线性失真的建模，主要有3种方法：

(1)物理模型。

(2)等效电路建模。

(3)器件行为建模。

目前比较通行的方法是器件行为建模，系统比较简单，处理方便。

2.2 预编码技术

预编码是将要发送的数据映射到基站的天线上，目标是令发送信号独立，并且最大化信道容量。预编码技术可以分为线性预编码和非线性预编码两种。在实际系统中，出于计算复杂度的考虑，多数采用线性预编码。相对于单小区的MIMO预编码，分布式多天线的预编码面临更多的问题，尤其是多用户MIMO的情况下，若采用基带池的形式，信道信息的交互更加方便；若采用独立基带处理，则正交化各个用户的信道更为困难。目前的文献主要考虑基于信道消息已知的情况。在采用时分双工的系统中，在信道变化较慢的情况下，可以认为，上行和下行的信道具有互逆性，即上行信道等于下行信道传输矩阵的共轭转置。而在采用频分双工的系统中，这一假设不再成立。在分布式多天线系统中，由于天线在物理位置分隔较远，可以认为，各个RU到用户的信道独立，从这角度出发，则每个RU的预编码可以独立求取。在JT/JP的场景下，和普通的多用户MIMO预编码类似，可以使用迫零、块对角化、信漏噪比等技巧使用户预编码后的信道(近似)正交化。在实际系统中，还需要考虑信道估计和反馈量化造成的误差。

2.3 功率控制/功率分配技术

由于实际系统功率受限，因此有必要进行功率控制和功率分配以获得最优性能。一般来说，功率控制主要用于CS/CB场景，它与传统基站的功控类似。功率分配则主要用于JT/JP场景，一般来说有两种功率分配方式：(1)在为同一用户服务的不同RU间进行；(2)在同一RU内不同用户间进行。功率分配尤其是第一种功率分配是分布式多天线系统独有的问题。第一种功率分配还涉及RU选择和终端工作模式的选择。目前的功率分配方案多分开讨论两种功率分配方式，而在实际问题中，两种分配方式是互相限制的。

2.4 资源分配和调度

在OFDM系统中，尤其是宽带系统中，由于子载波数目较多，一般将整个频段化成若干个子带，再以子带为基础进行资源调度。分布式多天线系统中，由于RU数目较多，需要调度的用户也就更多，如何优化调度算法，利用宏分集增益，减少运算复杂度也是资源调度的重点。

3 结束语

分布式多天线系统特别适用于数据热点场景，而且不限于使用同一种无线标准，对于提升城区覆盖，降低基站功耗，提升用户切换体验，有着天然的优势。除了上文所述外，分布式预编码、切换技术(包括垂直切换)、RU选择等也是实现分布式多天线系统的非常值得研究的技术。

4 参考文献

[1] NTT DOCOMO. CoMP simulation assumptions [C]//3GPP TSG RAN WG1 #64 Meeting, Feb 21–25,2011, Taipei China. 2011: R1–110598.
[2] CASTANHEIRA D, GAMEIRO A. Distributed antenna system capacity scaling [J]. IEEE Wireless Communications, 2010, 17(3):68–75.
[3] 3GPP TR36.814. 3rd generation partnership project; Technical specification group radio access network; Further advancements for E–UTRA: Physical layer aspects [S]. 2011.
[4] WAKE D, NKANSAH A, GOMES N J. Radio over fiber link design for next generation wireless systems [J]. IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, 2010, 28(16): 2456–2464.

收稿日期：2011–07–05

作者简介

李子荣，工作于中兴通讯有限公司，从事技术预研工作；研究方向为MIMO、OFDM等无线物理层技术。

朱登魁，工作于中兴通讯有限公司，从事技术预研工作；研究方向为MIMO、OFDM等无线物理层技术。

鲁照华，工作于中兴通讯有限公司，从事技术预研工作；研究方向为功控、切换、FFR等MAC层/物理层技术。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P47

LTE 商用策略与挑战

Commercial Strategies and Challenges for LTE

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 05-0042-04

摘要：LTE 的商用进展是全球移动通信领域的热点。文章重点分析了 LTE 全球的网络部署、终端发展及业务市场情况，并通过运营商 LTE 商用案例分析展示了 LTE 时代移动宽带业务的发展策略及趋势。文章认为，LTE 的商用步伐正在加快，但 LTE 也面临频率过于分散以及商业模式需要创新等挑战。文章指出，2G、3G 及 4G 这几种技术将在未来 5—10 年内长期共存，3G 时代并未结束，多模终端对 LTE 发展将起到至关重要的作用。

关键词：LTE；3G；TD-LTE

Abstract: LTE is an important way for operators to improve their competitiveness. This paper analyzes LTE network, terminal, and service markets and discusses mobile broadband service strategies currently in commercial use. LTE is developing fast, but there are too many spectrums to deploy, and new business models need improvement. 2G, 3G, and 4G will exist together for a long time, and the 3G era has not finished. Multimode terminals are the key to LTE's success.

Key words: LTE; 3G; TD-LTE

李珊/LI Shan

(工业和信息化部电信研究院，北京 100191)
(China Academy of Telecommunication Research of MIIT, Beijing 100191, China)

- LTE 智能手机的普及和 LTE 语音方案的商用将对 LTE 市场发展起到关键作用
- 运营商对 LTE 的网络建设将主要集中在对数据业务需求较大的热点区域
- 发展多模多频终端将是 LTE 未来发展的必然趋势

1 LTE 商用步伐加快

LTE 全球网络部署的步伐正在加快，截至 2011 年 6 月 20 日，全球已有 16 个国家共部署了 28 个 LTE 商用网络。这些 LTE 商用网络均为频分双工长期演进(FDD LTE)，并且主要集中在欧美地区。根据全球移动供应商协会(GSA)预测，到 2012 年底商用网络数量将达到 81 个。部署频段主要集中在 700 MHz 和 2.6 GHz，少部分使用 800 Hz 和 1 800 MHz 频段。

从图 1 可以看出，从 2010 年下半年开始 LTE 商用网络推进速度开始加快，预计 2011 年下半年 LTE 网络部署将迎来新的高峰。

尽管目前 LTE 商用网络均基于 FDD 制式，但由于受到频谱资源的限制，时分双工(TDD)频谱战略地位提升，国际运营商纷纷买入 TDD 频谱，因此 TD-LTE 对国际运营商的吸引力日益增强。根据全球 TD-LTE 发展倡议(GTI)的统计，截至 2011 年第 1 季度，全球 TD-LTE 试验网已有 30 个，其中 14 个位于亚太地区，10 个位于欧洲地区。从目前 TD-LTE 发展势头、全球试验网以及终端进展来看，TD-LTE 有望在 2011 年下半年实现商用，并且波兰、印度及日本市场很有可能率先进入商用阶段[1]。从频谱资源和运营商技术选择倾向来看，亚太无疑将是 TD-LTE 最大的市场，欧洲也有一定的潜在市场需求。

与此同时，LTE 终端商用进程也在不断加速。截至 2011 年第 2 季度，LTE 终端款数达到 137 个，与上季度相比增长了 40%，其中大部分已实现

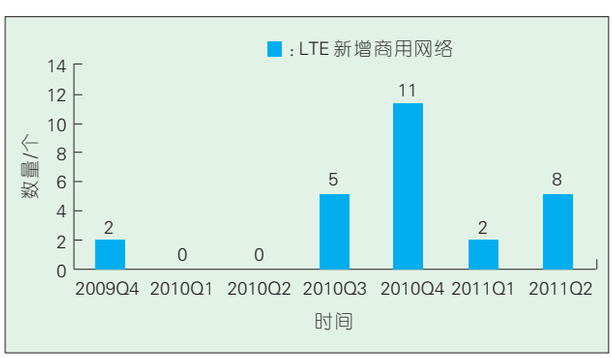
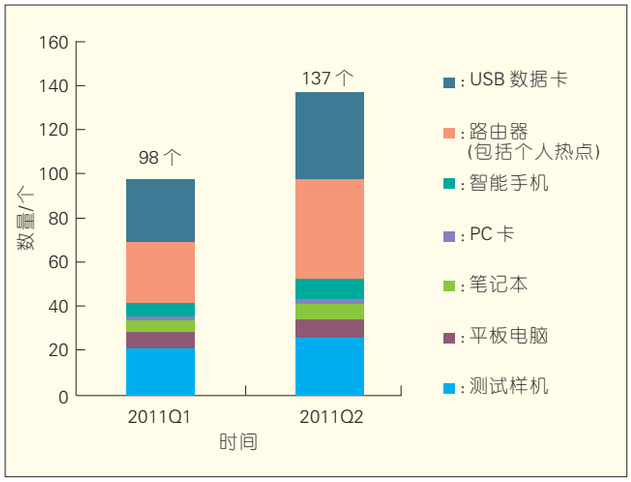


图 1 ▶ LTE 季度新增商用网络

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P48



◀图 2
LTE 终端发展及种类

多模兼容，可支持 3G 网络，包括高速分组数据接入(HSPA+)、EV-DO 及时分同步码分多址(TD-SCDMA)。如图 2 所示，目前 LTE 终端以路由器、USB Modem 为主，手机及其他智能终端仍然匮乏，智能手机占比仅为 8%。

2 LTE 市场初创待发

2.1 竞争优势逐步凸显

从实际商用情况来看，LTE 远远超越 3G 技术及竞争对手——全球微波互联接入(WiMAX)，成为目前市场上性能最为优越的移动宽带技术。根据 Root 公司在美国市场针对 4 家运营商的数据卡业务实际测试显示：Verizon 的 LTE 业务平均下行速率可达到 17.16 Mbit/s，上行达到 6 Mbit/s，远远超过其竞争对手，详见表 1。

2.2 用户发展超过预期

LTE 开始商用至今仅一年多，市场规模尚未形成，业务模式也在探索当中。不过根据 ABI Research 公司的估计[2]，全球 LTE 用户已经达到 100 万，用户发展远超预期。尤其是在美国市场，Verizon Wireless 从 2010 年 12 月开始商用，到 2011 年第 1 季度已经发展了 50 万用户，而第一款 LTE 手机终端 HTC Thunderbolt 上市后，购买手机终端的用户很快突破 25 万。用户发展超预期主要是由于市场需求迫切。根据思科公司的测算(如表 2 所示)，2010 年全球移动数据流量年增长率达到 159%，创历史新高，目前移动数据流量的增长速度与 2000 年左右的互联网增长速度非常接近；预计 2010—2015 年，全球移动数据流量的年均复合增长率达到 92%。同时，Verizon 用户发展迅速也说明了智能手机的普及将对 LTE 市场发展起到关键作用，尤其在欧美等移动互联网发展迅速、智能终端普及率比较高的市场，用户对于终端性能的升级和移动宽带的需求日益迫切。

2.3 LTE 语音方案尚未成熟

由于 LTE 是基于全 IP 的新一代通信，因此对传统电路域业务如话音、短信业务的支持力度不足。针对这一问题，厂家纷纷提出自己的 LTE 语音解决方案，技术路线难以统一。不过随着 IP 多媒体子系统(IMS)的成熟，基于 IMS 的 VoLTE 方案最终得到业界的共同支持。2010 年 2 月全球移动通信系统(GSM)提出了“同一个声音”合作倡议(OneVoiceInitiative)，共同推进 VoLTE 的商用以及后续漫游问题，但该组织提出的技术方案仍在验证当中；多业务论坛(MSF)计划于 2011 年 9 月开始 MSF/GSM 协会(GSMA)关于 VoLTE 互操作性测试活动，以验证 GSMA 对基于 IMS VoLTE 的多个技术建议。此外，运营商也在加紧与厂家合作，积极推动 VoLTE 实现商用，2011 年 2 月 Verizon 在其美国商用网络上完成了首例实时的、基于 IMS 的 VoLTE(LTE 语音呼叫)，但该运营商估计 VoLTE 要实现商用最早要到 2012 年，因此在此之前 LTE 的业务模式仍将保持只支持数据业务的状态，其资费模式也与目前的 3G 数据流量资费一致。

在 VoLTE 成熟之前，大部分运营商将采取电路交换回退(CSFB)语音方案，即在 LTE 覆盖范围内，如果终端发起或接收呼叫时，需要先从 LTE 重选回 2G/3G，由 2G/3G 的电路域来提供语音。DoCoMo 等运营商有望在 2011 年底或 2012 年初实现这种方案

▼表 1 LTE 与其他技术的实际速率比较

运营商	网络制式	下行平均速率/(Mbit/s)	上行平均速率/(Mbit/s)
Verizon	LTE	17.16	6.061
T-Mobile	HSPA+(21M)	4.424	1.298
Sprint	WiMAX	4.400	0.605
A T &T	HSPA+	1.182	0.123

HSPA：高速分组数据接入　LTE：长期演进　WiMAX：全球微波互联接入

▼表 2 全球互联网与移动数据业务流量增长对比

全球互联网流量增长		全球移动数据流量增长	
1997 年	178%	2008 年	156%
1998 年	124%	2009 年	140%
1999 年	128%	2010 年	159%
2000 年	195%	2011 年(预计)	131%
2001 年	133%	2012 年(预计)	113%

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P49

▼表 3 VerizonLTE 数据卡业务资费

资费套餐	月租费/美元	包含数据流量/GB	超出费率(1GB)/美元
LTE 移动宽带资费	50	5	10
	80	10	8

LTE：长期演进

的商用，但仍需克服网络切换过程中产生的延时问题。

能否为用户提供方便的语音服务是 LTE 走向大众市场的关键，因此 LTE 语音方案的成熟及商用效果将直接影响 LTE 未来发展进程。

3 LTE 策略百花齐放

3.1 Verizon——迅速引入，突破瓶颈

为了解决码分多址(CDMA)网络演进和竞争瓶颈的问题，美国移动运营商 Verizon 在 2010 年 12 月 5 日正式商用 LTE，最初在 38 个主要城市的市中心以及 60 个商用机场提供覆盖，现已在 79 个主要城市的市中心提供覆盖。预计 2013 年会达到目前 3G 网络的覆盖范围。

Verizon 针对平板电脑和笔记本提供两种资费套餐，如表 3 所示。两种套餐平均每 1 GB 数据流量的价格为 8 ~ 10 美元。这两种套餐的终端均为数据卡。该公司的 3G 业务资费套餐与 LTE 业务资费水平一致，从这一资费策略可以看出该公司希望 3G 用户向 LTE 转移，以促使 LTE 业务的增长。终端方面，Verizon 已经推出了 3 款智能手机、2 款平板电脑、2 款移动热点以及一款数据卡，智能手机的上市明显刺激了 LTE 用户的发展。

3.2 NTT DoCoMo——循序渐进，逐步推动

NTT DoComo 在 2010 年 12 月 24 日推出了 LTE 业务，业务品牌名称为“Xi”。NTT DoComo 在网络建设方面采取了循序渐进的措施，最初将覆盖东京、大阪和名古屋这 3 个移动宽带业务需求较大的城市；计划到 2011 年 3 月 LTE 将覆盖日本 7% 的人口；到 2013 年 3 月覆盖 40% 的人口，基站数量达到 1.5 万个；到 2014 年将覆盖 50% 左右的人口，基站数量将超过 2 万个。

在资费方面，DoCoMo 推出了两种 LTE 资费套餐，一种套餐名为 Xi Data Plan Ninen，用户需要签订两年的合约；另一种名为 Xi Data Plan，无需签约，但费用相对较高。LTE 业务的数据套餐继续沿袭日本特色的双层包月制，即规定两个包月的流量门限。在该资费方式中，如果未超过第一个门限，则按照最低包月流量的价格收取月租费；当流量超过第一个门限时，按照一定的价格对超出流量进行收费；一旦超过第二个门限，用户就可以享受最高包月价格，但规定了最高上限(如 5 GB)，超出的仍要按照超额流量进行收费。

如图 3 所示，与 3G(FOMA)业务相比，LTE 业务价格要相对较低。以往 NTT DoCoMo 的 3G 业务流量不设上限，仅对 3 日内流量超过 3.75 GB 的用户进行限速；而 LTE 此次设置封顶上限为 5 GB，超出部分将收取额外的费用。

DoCoMo 提供两款 HSPA 和 LTE 双模终端，计划在 2011 年推出 LTE Wi-Fi 路由器，双模 LTE 手机也将计划在 2011 年底上市。由于受到终端和覆盖限制，该公司 LTE 用户到第 1 季度仅 2.5 万。

3.3 Vodafone——阶段定制，目标明确

尽管大部分运营商都已经明确自己的网络将向 LTE 演进，但其中一些大型运营商已经或计划先将网络升级到 HSPA+，待 LTE 成熟之后才会采用该技术。这类运营商包括 Vodafone、T-Mobile 等。Vodafone 表示，如果同时经营 GSM、宽带码分多址(WCDMA)及 LTE 三网网络，运营商的经营压力会比较大，并强调不会在 2012 年之前大规模商用 LTE。但在德国由于 Vodafone 购买了新的频谱，为了满足管制部门对服务时间和覆盖的要求，它在德国的 LTE 网络初期将以覆盖偏远无宽带接入服务地区为主，不会大规模提供服务。

Vodafone 德国制订了 3 个阶段的 LTE 网络覆盖策略：

第 1 阶段：到 2011 年底，Vodafone 的 LTE 网络将会利用 800 MHz 覆盖到 1 500 个市镇，这些地区在德国均为没有移动或固定业务的偏远地区；

第 2 阶段：将会利用 LTE 替代从德国电信批发的宽带业务；

第 3 阶段：在城市地区将会利用 2.6 GHz 提供高速移动宽带服务。

可见，Vodafone 在 LTE 发展初期，只是将其作为偏远地区的宽带接入技术，而非广域覆盖的移动网络。

在资费方面，Vodafone 德国根据

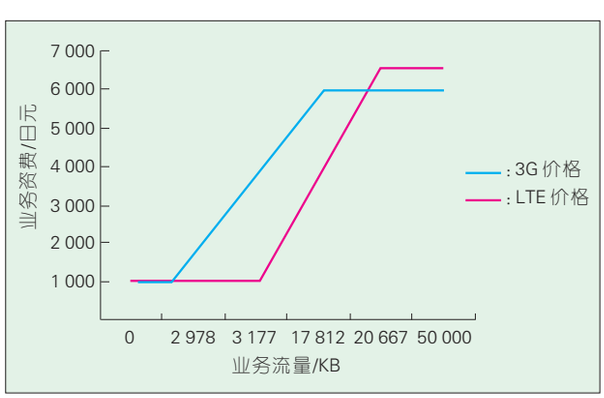


图 3▶ NTT DoCoMo LTE 与 3G 业务资费比较

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P50

▼表 4 Vodafone LTE 业务资费

速率/(Mbit/s)	含流量/GB	费用/欧元
7.2	10	33.99
21.6	15	49.99
50	30	69.99

速率不同制订了 3 档资费套餐，如表 4 所示。当用户的流量用完后，速率将自动降回 WCDMA(384 kbit/s) 的速率。LTE 的业务资费比目前 Vodafone 现有数据业务资费便宜 10 欧元/月。

4 LTE 发展面临挑战

首先，LTE 使用频谱过于分散。尽管很多国家已经发放 LTE 可用频段，但各个国家分配的频段有所不同，700 MHz、900 MHz、1 800 MHz、2.3 GHz、2.6 GHz 等频段都将陆续商用。LTE 可用频谱不仅在全球范围难以统一，即使在同一国家也会涉及多个频段。频谱过于分散意味着用户需要实现较好的漫游服务，LTE 设备和终端必须能够支持多个频段，如要支持全世界的 LTE 频带，至少需要 7～9 个频段，这必然会提高终端成本。因此发展初期终端厂家必须在成本和规模之间寻找适当的平衡点。

其次 LTE 的发展需要商业模式创新。从提供业务来看，LTE 短期内将以数据业务为主，目前还没有看到具有核心竞争力的 LTE 业务与应用，其商业模式必将延续目前移动数据业务包月制的方式，但并不会给运营商带来明显的收入增长。因此 LTE 运营商必须尝试对资费和业务模式进行调整，如分时计费、速率分级等方式。此外，尽早实现 VoLTE 也是产业界需要加紧解决的重要问题。

5 LTE 未来任重道远

尽管国际电信联盟无线电通信部门 (ITU-R) 尚未正式批准 4G 标准——高级国际移动通信 (IMT-Advanced)，但从市场看，各家运营商已经将 LTE 及 WiMAX 定位在 4G 市场并展开竞争，全球 4G 市场已经开始预热。

首先，全球移动用户对数据业务的需求会加速 LTE 商用部署速度，但从长期看，LTE 仍处于发展初期阶段，2G 和 3G 技术仍将在市场占据主导地位。因此，2G、3G 和 4G 这几种技术将在未来 5—10 年内长期共存，3G 时代并未结束，LTE 及 4G 技术的市场刚刚起步。运营商对 LTE 的网络建设将主要集中在对数据业务需求较大的热点区域，短期内 LTE 很难达到目前 3G 的覆盖范围。

其次，LTE 终端将向多频多模方向发展。由于 LTE 可用频率在全球非常分散，为了满足运营商规模发展和用户漫游的需求，终端及芯片必然需要大幅增加支持频段。此外，由于 LTE 将与 2G、3G 等技术并存发展，而 LTE 发展初期覆盖以热点为主，则势必要求终端向后兼容 2G、3G 技术，因此发展多模终端也将是 LTE 未来发展的必然趋势。目前 LTE 发展的国家地域有限，因此支持的频段还不需要太多，但随着 2013—2015 年 LTE 进入规模发展后，势必要求终端及芯片厂家在频率上支持更多频段、更多技术制式，加大硬件设计难度和终端成本。因此发展多频多模将是 LTE 终端的大势所趋，也是 LTE 终端发展需要面临的主要挑战。未来围绕多模基带电路和多频技术将会有激烈竞争，并有可能通过这一趋势淘汰一批研发、设计及生产能力较低的厂家，从而建立新的市场格局。

6 参考文献

[1] 肩负移动未来的“LTE”，终端开发遭遇两个壁垒[EB/OL].[2011-04-29]. http://china.nikkeibp.com.cn/news/mobi/56121-20110421.html.
[2] ABI research: 16M LTE subscribers by year end [EB/OL]. [2011-05-03]. http://lteworld.org/news/abi-research-16m-lte-subscribers-year-end.

收稿日期：2011-07-25

作者简介

李珊，北京理工大学毕业；现任工业和信息化部电信研究院通信信息研究所工程师；从事移动及无线领域新技术、新业务的电信决策软科学研究和电信咨询工作；负责并参与完成多项政府支撑项目和国内外电信运营商咨询项目，涉及领域包括 3G 及宽带无线接入、移动增值业务、运营商发展策略、移动互联网的新业务等方面。

广告索引

A1-A3、封四：中兴通讯股份有限公司

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P51

广西北部湾CDMA海面覆盖研究

CDMA Coverage in the Beibu Gulf

谭钰山/TAN Yushan
（中国电信广西公司，广西 南宁 530005）
(China Telecom Guangxi Co., Ltd., Guangxi 530005, China)

摘要：随着北部湾经济区的快速发展，渔民及海洋作业人员的活动区域的不断扩大，人们对北部湾海面的通信要求也在不断提高。根据CDMA技术特点，通过异频组网、RRU设备上塔、级联技术并试点引入超导技术等措施，运营商对现有北部湾海面覆盖进行优化，不仅大大提升基站覆盖范围和覆盖质量，还为游客、渔民及海洋作业人员等提供满意的通信服务。因此，该区域的CDMA海面覆盖研究对运营商而言是一项具有重大战略意义的工作。

关键词：CDMA海面覆盖；信号传播；优化措施

Abstract: With rapid development of the North Bay economic zone in Guangxi, and the expansion of fishing and other marine operations in the area, communications requirements in the Beibu Gulf are increasing. CDMA coverage in the Beibu Gulf can be optimized using different frequency networking, radio remote units (RRUs) on towers in the sea, and concatenation and superconducting technologies. These technologies improve the coverage range and quality for tourists and fishermen. CDMA coverage in the Beibu Gulf is of great strategic significance for operators.

Key words: CDMA sea coverage; signal propagation; network optimization

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 05-0046-05

1 海面覆盖的特点与难点

1.1 海面覆盖的特点

海面覆盖的特点是容量低但覆盖距离远，从表面上看，该特点带来的社会价值大于经济价值，但最终社会价值又推动了经济价值的发展。海面覆盖距离主要受地球球面曲率、无线传播衰减限制。考虑到地球球面曲率的影响，因此对海面进行覆盖的基站天线一般架设得相对较高。由于无线信号在海面上的传播衰耗慢、距离远，使得在海面上实现超远距离覆盖成为可能，但CDMA网络属于自干扰系统，超远覆盖给控制小区间的干扰也带来一定的难度。

因此，在进行广西北部湾CDMA网络海面覆盖的建设时，需要基于这一特性给予足够的考虑：既要实现无缝覆盖，又要将干扰控制在可以接受的水平内。另外，覆盖要求、干扰控制、天线类型、天线高度、站间距、周边基站的规划、基站配置、天线下倾角等因素均需要做重点考虑[1]。

1.2 海面覆盖的难点

一般情况下，普通基站的海面覆盖距离仅为30 km左右，所以距海30 ~ 70 km的大部分区域都没有信号覆盖。由于海洋工作本身存在很大的风险性，所以通信的畅通显得尤其重要。然而海洋自身的特点限制了它不能像在陆地上那样建设更多的基站，海域覆盖相对较为困难。

传播距离远对海面覆盖来说是一种优势，但随着网络规模的扩大，沿海基站的不断增多，天线挂高基本设置在50 ~ 60 m，这样可以使信号极易传播到海面上。经过计算和测试某些泄漏出来的基站信号可以在海面上传播30 km以上，仍能保证足够的信号强度。即使调整天线的俯仰角方位角，在确保基站有效覆盖情况下，也很难控制天线的旁瓣不进入海面。这种原因导致海面上的信号越来越乱，海面导频污染现象严重，并最终造成了通信质量恶化。

根据海洋覆盖模型并通过链路预算可得到前反覆盖受限情况。当系统运行频率为800 MHz时，在广覆盖、用户边缘分布的场景下，具体前反向覆盖受限情况如表1所示。其中基站发射功率为50 W，终端发射功率为200 mW。

在广覆盖的情况下，由于用户数较少、话务量较低，此时小区一般是反向覆盖受限。随着用户数的增加，小区从反向受限逐步变成前向功率受限。对海面广覆盖尤其应注意前反向链路平衡。

2 广西北部湾海面CDMA网络覆盖现状及问题

2.1 海面覆盖目标

目前正在实施的海洋安全生产

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P52

▼表1 海面覆盖前反向受限情况

终端天线高度/m	小区内的用户数/个	基站天线高度/m	覆盖半径/km	链路损耗/dB	受限情况
15	10	30	39.844	148.00	反向
15	10	60	51.903	146.80	反向
15	10	40	44.761	147.60	反向
15	10	80	56.748	145.99	反向
15	15	30	39.548	147.84	反向
15	15	60	51.540	146.63	反向
15	15	40	44.436	147.44	反向
15	15	80	56.363	145.82	反向
15	25	30	36.200	145.91	前向
15	25	60	47.423	144.70	前向
15	25	40	40.758	145.50	前向
15	25	80	51.987	143.89	前向
15	40	30	29.824	141.85	前向
15	40	60	39.512	140.64	前向
15	40	40	33.728	141.45	前向
15	40	80	43.540	139.84	前向

救助项目中，用户总量达到8 050个，用户使用范围在北部湾海域，使用业务有普通语音、定位、短信等。该工程覆盖目标为渔业作业区，因此需要尽可能地提升海面覆盖基站的覆盖范围。

2.2 海面覆盖现状

广西北部湾航道、渔业作业区和油田作业区的CDMA覆盖如图1所示。CDMA覆盖已经涵盖了主要渔业作业区和油田作业区，从涠洲岛到防城港白龙方向都能连续覆盖，北海到涠洲岛航线也有很好的覆盖。

覆盖的仿真，基本与路测相符，满足电信集团距海岸50 km覆盖的要求，但部分区域还存在弱覆盖区和覆盖空洞。从图2可以看出在涠洲岛基站南面及西面仍有覆盖弱区。

2.3 海面覆盖存在的问题

(1) 北部湾海面前向覆盖

一方面，由于设备性能限制，尤其是基站设备前向发射功率的限制，仍有一部分海域覆盖空洞区存在，且部分海域覆盖面未达到50 km。前向覆盖功率受限可以通过增加功放或更换更高功率、更大增益的天线等方法来解决。

另一方面，在无功率限制因素下，基站可能覆盖到的最大距离受限于天线挂高。广西北部湾沿岸平坦，海拔高度低，无法找到合适高度的站点用于海面广覆盖成为是前向覆盖不足的一个原因。

(2) 北部湾海面反向覆盖

图3中是目前北部湾海面反向覆盖的现状。手机发射功率(Tx_power)小于20 dBm的采样点占比为88.7%，而前向接收功率(Rx_power)只有67.6%，这说明当前海面覆盖前向覆盖仍有不足。

3 CDMA海面系统容量分析

3.1 前向功率及容量分析

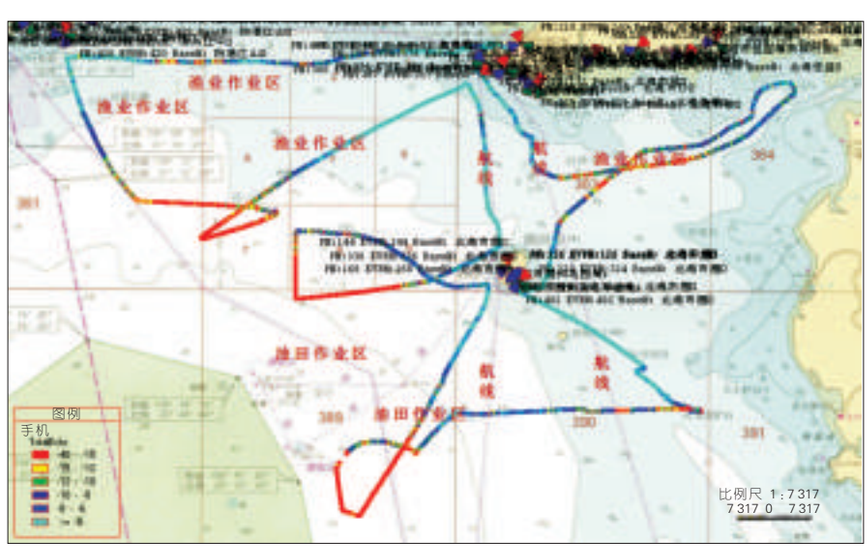
从理论计算结果看，在小区激活用户为30个的情况下，所需发射功率为10.2 W；当小区用户达到35个时，所需基站发射功率将大幅提高到69.42 W。因此建议单小区内的激活用户数不要超过32个，对应话务量为26.75 Erl（5%呼损）。

根据前向功率计算可知：如果需要基站覆盖更大的范围，必须提高前向发射功率。根据经验，提高30%的覆盖需要增加1倍的发射功率，同时系统下用户数的增加也会对基站的发射功率有影响。当用户到达一定程度时，再增加1个用户，所需功率会大幅提高，因此需要合理控制基站所带的用户规模。

此外，基站的前向发射功率还与基站所提供的业务类型相关，不同的业务类型、业务信道解调门限要求以及链路净损耗，都会对基站的发射功率有一定影响。

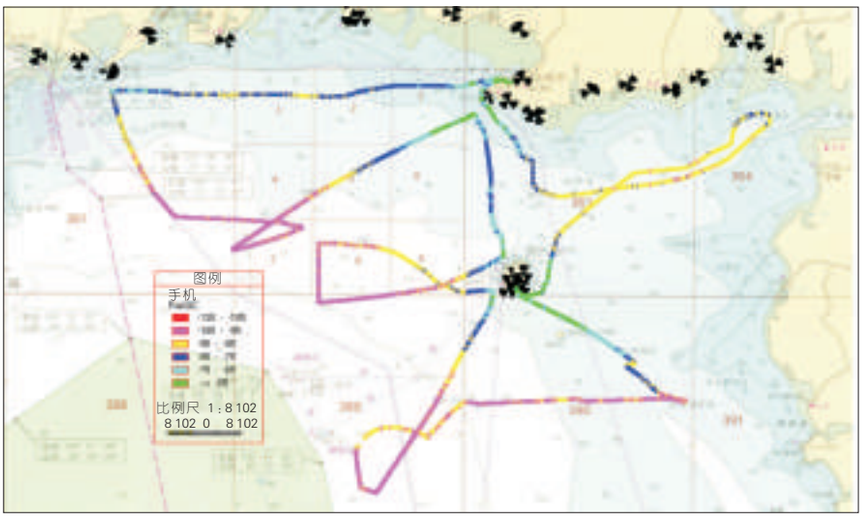
3.2 反向容量分析

CDMA是反向受限系统。前向链

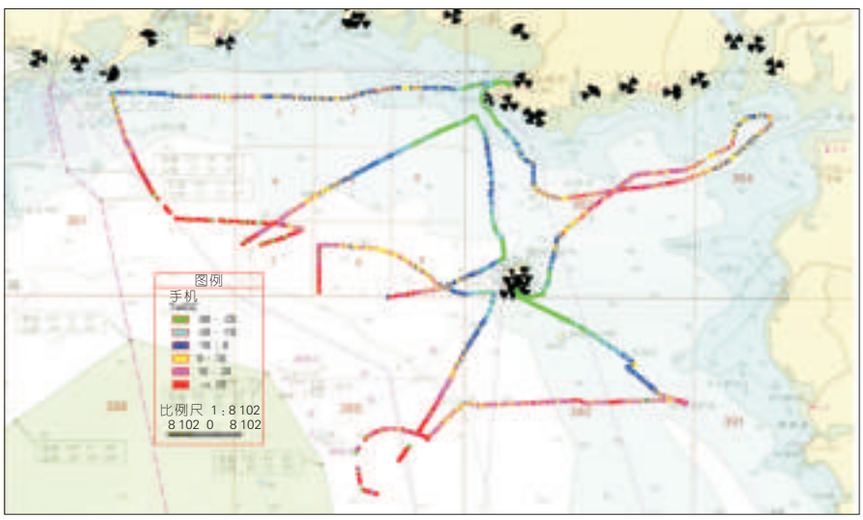


▲图1 广西北部湾航道、渔业作业区和油田作业区海面覆盖

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P53



▲图2 电信CDMA 接收功率覆盖



▲图3 北部湾海面反向覆盖现状

▼表2 北部湾海域CDMA网络话务预测

序号	地区	站点	站型	2月最高话务量/Erl	预计话务量/Erl	预计最大并发用户数/个
1	北海	涠洲岛海军基地站-0	S11211+S11111	4.16	9.33	18
2	北海	涠洲岛海军基地站-1	S11211+S11111	3.48	7.80	15
3	北海	涠洲岛海军基地站-3	S11211+S11111	8.97	20.13	31
4	北海	涠洲岛海军基地站-4	S11211+S11111	4.82	10.81	19
5	北海	北海市冠头岭-0	S222+S111	9.31	20.89	32
6	北海	北海市冠头岭-2	S222+S111	6.48	14.54	22
7	防城港	东兴江平金滩	S222+S111	7.48	16.79	27
8	防城港	东兴竹山港	S111+S111	3.37	7.56	15
9	防城港	防港江山白龙村	S2222+S1111	6.47	14.51	24
10	钦州	钦州乌雷岭-1	S222+S111	3.66	8.22	16
11	钦州	钦州乌雷岭-2	S222+S111	7.47	16.77	27

路是一对多的通信，而反向链路是多对一的通信。同时，前向链路的各个信道是同步的，而且还有公共导频信道，所以前向链路的容量要大于反向链路的容量。

当系统负荷为50%时，反向容量是24个信道；在阻塞率为5%时，对应的系统容量为19.03 Erl；在负荷75%时，反向容量为35个信道；在阻塞率为5%时，对应的系统容量为29.67 Erl。

3.3 业务需求

北部湾主要海面覆盖基站的1X载扇的话务量及渔信e通放号后的预测话务量如表2所示。

4 广西海面覆盖CDMA网络优化措施

广西网络优化中心针对北部湾海面弱覆盖及导频污染现象，进行了专项优化。对于弱覆盖，通过优化现网基站远距离覆盖能力的方法来解决；对于导频污染现象，通过加强网络优化、减少导频污染、设立海面覆盖专用频点等措施来解决。

4.1 优化调整主海面覆盖基站

在现网海面覆盖基站已经形成规模布局的情况下，如果新增基站覆盖，尤其是针对海面的超远覆盖基站，极易破坏现网的网络平衡，引起海面覆盖基站大规模的调整。另一方面，广西海岸线海拔高度低，无法找到合适高度的站点用于海面的广覆盖。

根据目标区域分布，结合广西沿海基站现状，选取北海冠头岭、北海涠洲岛、防城港白龙3个站点作为海面广覆盖主要基站，对这些基站进行优化调整，具体有7个主要措施。

(1) 更换高增益天线

根据覆盖目标区域分布，将北海冠头岭、北海涠洲岛、防城港白龙3个站点，更换为高增益、窄水平、半功率角的定向天线。其中北海涠洲岛

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P54

基站将原3面65° 定向天线更换为5面65° 定向天线。

(2) 改为分布式基站及RRU上塔

北海涠洲岛基站为了保证天线挂高，采用较高的天线塔，导致馈线长度较长，馈线损耗大：该站点塔高80 m，此前采用7/8馈线，馈线长近100 m，馈线损耗约为5.4 dB。工程优化中将该站点主设备替换为室内基带处理单元+射频拉远模块(BBU+RRU)室外塔平台方式安装，馈线损耗减少4.4 dB，基站海面覆盖半径增大约40%。

工程实施中应注意的是RRU的直流供电线缆长度应控制在110 m以内，超过这一长度应就近设置开关电源或采用交流供电。

目前北海涠洲岛海军基站铁塔上的RRU采用直流供电方式，直流电缆长度达到90 m左右，仍能较好地保持设备性能稳定。

(3) 调整基站发射功率改善前向覆盖

改善基站前向覆盖能力，最简单有效的方法即是加大基站发射功率。由于覆盖的需要，因此要调整上述3个主海面覆盖基站的发射功率以改善前向覆盖。

建议单载波基站仍采用60 W的RRU，双载波、三载波基站可根据话务情况更换为80 W。

(4) 增加基站、塔顶放大器以分别改善前反向覆盖

根据网络优化需要，在北海涠洲岛基站、北海冠头岭、防城港白龙等基站天线端增加基站放大器、塔顶放大器以改善前反向覆盖。

目前基站放大器、塔顶放大器可合设，亦可以分别独立设置，供电方式可在交直流之间选用(北海涠洲岛海军基地基站的基塔放采用直流供电，塔顶安装)。

(5) 并接RRU射频

目前ZXSDR可以通过RRU并接方式扩展射频资源，即一个扇区配置两个RRU，从而提高单载波的前向容量和功率。通过配合大功率软件，单载波输出功率可以提高20 ~ 60 W。

(6) 试点超导链路技术

2009年3月，中国电信广西公司对超导链路技术在海面覆盖的应用开展试验。试验证明采用超导链路可以明显地改善反向链路的覆盖范围和通信质量。相比较塔顶放大器而言，超导滤波器能更好地改善海面覆盖反向链路质量。

不同的是，塔放是通过放大所有接收到的信号来提高基站接收灵敏度，因而更适用于无线环境比较好、干扰少的地区；而超导滤波技术通过高性能的滤波器来分辨有用信号，更易于前反向链路平衡，且适用于无线环境复杂的地区。

因此，可以根据网络覆盖需要，如果成本压力不大，可以优先使用超导系统；但是如果话务量不高，且成本有限，可以使用性能好、价钱便宜的塔放。

(7) 采用2T4R多天线技术

多天线系统其实就是收发双方都采用多根天线进行收发。通过适当的发射信号形式和接收机设计，多天线技术可以在不显著增加无线通信系统成本的同时，提高系统容量和覆盖距离。从技术上讲，采用多天线技术后，可获得以下一些增益。

• 功率增益。采用多天线发射时，由于有n个发射通道，发射的总功率相当于单天线发射的n倍，因此可以获得$10\log_n$ dB的功率增益。虽然在单天线发射时也可以增加发射功率，但对功放的要求会大大将提高，实现难度也会增大，从而成本也会相应增加。

• 阵列增益。阵列增益是指在发射总功率相同的前提下，对接收端平均信噪比的改善量。通过对信号的相干合并，各种多天线系统都可以获得阵列增益。也就是说，采用多天线技术后，可提高接收信噪比。

• 空间分集增益。由于无线信道的衰落特性，单天线系统的信号可能存在深衰落。采用多天线技术后，通常各天线间隔足够远，可保证不同天线的信号衰落相对独立。因此，合并后的接收信号的信噪比波动将变得平稳，从而改善了接收信号质量，这就是空间分集增益。

• 干扰抑制增益。在蜂窝移动通信系统中，由于存在频率复用，因此小区间干扰不可忽视。与白噪声不同，干扰信号为有色噪声，可在接收端通过适当的多天线空域加权，并可在合并期望信号的同时，抑制干扰信号，从而获得对接收端平均信干噪比的改善。

• 空间复用增益。空间复用增益是指在相同发射功率和相同带宽的前提下，对数据吞吐量/传输速率的改善。空间复用增益可通过在相同的时频资源上传送多个并行的数据流，而这些复用的数据流通过不同的天线来区分。

4.2 控制越区覆盖，减少导频污染

对广西北部湾海域，CDMA海面覆盖无线通信发展还存在另一个制约因素，即越区覆盖导致的导频污染。可以通过以下4个措施减少导频污染。

(1) 全向天线改成定向天线，控制越区覆盖

广西北部湾沿海部分全向基站用于覆盖海岸。由于海岸边地势平坦，基站又是采用全向天线，信号覆盖范围难以控制。

(2) 调整天馈系统参数设置，减少越区覆盖

对沿海87面天线下倾角、方位角进行了调整优化。通过压制干扰信号，控制干扰信号在海面传播范围，减少干扰。

(3) 设置海面覆盖专用频点

通过以上优化方法，确实能从一定程度上改善海面覆盖导频污染现象，但要从根本上解决问题比较困难。既然导频污染主要发生于同频信号之间，那么，为海面覆盖设立专

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P55

▼表3 1X参数

参数类别	参数名称	默认值	推荐修改值
开销信道增益	导频信道增益(Pilot_Gain)	225	229
	寻呼信道增益(Page_Gain)	219	223
	同步信道增益(Sync_Gain)	185	189
导频集搜索窗	激活集搜索窗(SRCH_WIN_A)	6	10
	邻区集搜索窗(SRCH_WIN_N)	8	12
	剩余集搜索窗(SRCH_WIN_R)	10	0
接入相关参数	基站半径	128	960
	接入信道初始功率(INIT_PWR)	0	6
	接入信道前缀长度(PAM_SIZE)	2	5
	功率增量(PWR_STEP)	3	7
	接入试探数(NUM_STEP)	6	3
前向功控参数	FPC_RCC2_FCH_PWR_V	179	205
	NOMINAL_PWR1	169	199
	DELTA_PWR1	80	36
	FPC_FCH_FER	2(1%)	2(1%)
功率控制消息参数	FpcFchMinSetpVoice	16	24

▼表4 DO数据业务参数

参数类别	参数名称	默认值	推荐修改值
导频集搜索窗	SearchWindowActive	8	12
	SearchWindowNB	10	12
	SearchWindowRem	10	12
接入相关参数	ProbeNumStep	5	10
	PowerStep	8	10
	PreambleLength	2	3
	CellMode	0(Normal)	1(Boomer Cell)
	CellRadiusInChips	128	2 048

用的频点，就能从根本上避免导频污染的出现。

目前CDMA总共有7个频点可用，目前钦防北海面覆盖1X网络均启用283频点，另外预留37号频点用于1X增强型网络，那么便完全可以找出一个干净的频点覆盖海面，其余的4个频点则用于保证充足的网络容量。

在优化工程中，广西北部湾海域采用异频覆盖的方式来辅助解决导频污染现象，共设置海面覆盖242频点共载扇51个，引入近海辅助切换伪导频94个。

改造后，当沿海陆地起呼用户占用283频点向涠洲岛移动发生切换时，异频切换到涠洲岛基站242频点上；当海面覆盖用户起呼时，因为待机在242频点，业务也占用在242频点；当向陆地移动发生切换时，通过陆地站点增加的242伪导频可以切换到陆地基站的信号。

(4) 优化参数

除以上无线网络的优化外，还需要对系统参数进行优化，使其适应海面覆盖的环境要求。

无线参数主要调整载频设计功率、导频信道增益、寻呼信道增益、同步信道增益、有效集/相邻集/剩余集的搜索窗大小、PN_INC、init_power、nom_power、功率增量、接入试探数、覆盖半径等，其中又分近海和远海覆盖，参数有所不同。

广西北部湾覆盖主设备是中兴通讯的设备，参照中兴通讯对于超远覆盖的无线参数建议，即按照覆盖100 km来考虑，1X参数建议采用如表3中的配置值。表4是DO数据业务参数的具体信息。

5 结束语

文章对广西北部湾CDMA系统海面覆盖存在的问题，提出了若干解决方法。各种方案的积极探索和有效结合，必将使海面无线通信得到更好的发展。

海洋覆盖工程是个艰巨的工程，也是为出海作业人员解决海上通信的一个大工程，这是沿海用户十分迫切的一个需求，潜在的市场前景非常广阔。

经过中国电信广西公司对海面覆盖CDMA基站的优化和调整，目前北部湾海面CDMA网络覆盖已经得到了明显的改善。随着CDMA网络规模的日益扩大，广西北部湾海面覆盖将为提高天翼品牌价值，增加CDMA市场份额发挥重要的作用。

6 参考文献

[1] 孙英杰，董涛，高强. CDMA海面覆盖优化[C]//2006移动通信网络规划与优化研讨会论文集，2006年9月7日-8日，广州.2006.

收稿日期：2011-07-08

作者简介

谭钰山，重庆邮电大学本科毕业；现任中国电信股份有限公司广西分公司工程建设项目主管；主要从事CDMA网络规划、工程建设管理等工作，研究方向为CDMA网络规划、优化及工程建设。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P56

基于奇异值分解的TD-HSPA+系统赋形算法研究

Study of SVD-Based Beamforming Algorithm in TD-HSPA+ Downlink Systems

陈明佳/CHEN Mingjia, 张翔/ZHANG Xiang, 彭木根/PENG Mugen

(北京邮电大学信息与通信工程学院 北京 100876)
(School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing100876, China)

中图分类号:TN929.5 文献标志码:A 文章编号:1009-6868 (2011) 05-0051-04

摘要:文章提出了一种适用于多径信道的基于奇异值分解(SVD)的波束赋形算法,并结合64正交幅度调制(QAM)高阶调制算法,对时分双工增强高速分组接入(TD-HSPA+)系统性能进行仿真研究。文章重点分析了市区宏小区和市区微小区场景下SVD算法和特征向量法(EBB)的性能差异以及引入64 QAM后的系统性能增益。系统级仿真结果表明,基于SVD的波束赋形算法相比传统EBB算法能够明显提升扇区平均吞吐量,引入64QAM后吞吐量能够得到进一步提升。

关键词:奇异值分解;时分双工增强高速分组接入系统;64正交幅度调制;系统级仿真

Abstract: This paper proposes a beamforming algorithm based on singular value decomposition (SVD). The algorithm is suitable for the multipath channel in TD-HSPA+ systems. A simulation evaluating the proposed algorithm with 64 quadrature amplitude modulation (QAM) was performed. Performance gaps between the SVD-based algorithm and traditional Eigen-value beamforming (EBB) algorithm were identified in macro urban and micro urban scenarios. The performance gain of 64QAM modulation was also evaluated. Compared with the traditional EBB algorithm, there is significant gain in average cell throughput when SVD-based algorithm is used. Furthermore, the 64 QAM can improve throughput.

Key words: SVD; TD-HSPA+ system; 64QAM; system-level simulation

为了加强对数据业务的支持,时分同步码分多址技术(TD-SCDMA)在第三代合作伙伴计划(3GPP)版本5和版本7的规范里分别引入了高速下行包接入技术(HSDPA)和高速上行包接入技术(HSUPA),合称高速分组接入(HSPA)技术[1-2]。在3GPP版本8中TD-SCDMA启动了一个新的研究项目——增强HSPA(HSPA+),作为HSPA的演进版本。TD-SCDMA HSPA+(以下简称TD-HSPA+)要达到的性能目标有:提高频谱效率和峰值速率、增大系统容量和支持的用户数、保持和TD-SCDMA HSPA系统/R4系统的后向兼容性、降低用户面时延和控制面时延、降低终端功耗。

基金项目:国家科技重大专项(2010ZX03001-002);霍英东教育基金会(122005)

HSPA+主要采用了5方面的无线增强技术,包括多输入多输出(MIMO)技术、高阶调制技术、持续分组连接(CPC)技术、增强小区前向接入信道(CELL-FACH)技术以及层2的增强技术[3-6]。下面分别对这5方面关键技术进行简单介绍。

MIMO是文章关注的重点,它通过在发射端和接收端分别使用多个发射天线和接收天线,在不额外增加带宽和功率的条件下充分开发空间资源,利用复用增益和空间分集增益提高数据速率、减少误比特率、改善无线信号传送质量;高阶调制技术的引入主要是为了进一步提高HSPA+下行传输速率,相比HSPA,其主要修改在于在HSPA+下行引入64正交幅度调制(QAM),而在上行依然保持HSPA阶段的16 QAM;CPC技术是为了满足高服务质量(QoS)业务"一直在线"的需求,通过高效同步保持技术、高效VoIP支持技术以及高速转换不连续发射/不连续接收(DTX/DRX),达到提高小区专用信道(CELL_DCH)状态下分组数据用户数、VoIP用户容量和系统效率的目的;CELL_FACH技术与CPC技术相对应,其目的是满足低QoS业务"一直在线"的需求;增强CELL-FACH状态主要针对速率较低、在线时间长的业务进行设计优化,其目的主要包括:提高CELL-FACH态的峰值速率,减少CELL-FACH、小区寻呼信道(CELL-PCH)和系统寻呼信道(URA-PCH)用户面和控制面时延,减少URA-PCH、CELL-PCH、CELL-FACH

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P57

到CELL-DCH状态迁移时延及减少终端的电池消耗；HSPA+层2增强技术包括引入可变的协议数据单元(RLC PDU)大小、媒体接入控制(MAC)层对RLC PDU的分段功能以及在一个传输时间间隔(TTI)内引入可以调度多个优先级队列的数据等多个方面内容。

文章针对TD-HSPA+系统的下行波束赋形方案，分析比较了传统智能天线波束赋形(BF)算法的优缺点，并提出了一种适用于多径信道的基于奇异值分解(SVD)的8×1波束赋形算法，并提供一种对多径信道进行SVD分解的思路和方法。在此基础上，文章将其与传统的特征向量法(EBB)相对比，并进行系统级仿真评估。另外，文章进一步评估了引入64 QAM高阶调制对TD-HSPA+ 8×1 MIMO系统的性能影响，并给出相应结论。

1 基于SVD分解的8×1BF天线建模及分析

1.1 传统智能天线下行赋形算法

目前常用的传统智能天线的下行赋形算法主要有两种：波束扫描法(GOB)和EBB[7]。

GOB算法是基于参数模型（利用信道的空域参数）的算法，它能使基站实现下行指向性发射。GOB算法是将整个空间分为L个区域，并为每个区域设置一个初始角度，再以各个区域的初始角度方向向量为加权系数，计算接收信号功率，然后找到最大功率对应的区域，并将该区域的初始角度当作估计的到达角。GOB算法实际上是利用上下行信道对称的特点，来确定赋形角度。

EBB算法是通过对空间相关矩阵进行特征值的分解来得到权矢量，实现方法就是找到第K个用户的权矢量w^k，使得用户K接收到的有用信号功率与非有用信号功率比$r(w^k)$最大。

$$r(w^k)=\frac{w^{kH}R_{xx}^k w^k}{w^{kH}R_I^k w^k} \quad (1)$$

▼表1 PA、VA信道各径功率及时延

信道的功率延迟分布	径数	多径信道功率/dB	时延/ns
PA信道NLOS场景	4	0.0	0
		−9.7	110
		−19.2	190
		−22.8	410
VA信道	6	0.0	0
		−1.0	310
		−9.0	710
		−10.0	1 090
		−15.0	1 730
		−20.0	2 510

NLOS：非视距　PA：步行环境A类信道　VA：车载环境A类信道

▼表2 TD-HSPA+实际可识别出的各径功率

能被识别出的径数	占总功率比例（PA信道，NLOS场景）	占总功率比例（VA信道）
第1径	100%	93.1%
第2径	—	6.41%
第3径	—	0.49%

NLOS：非视距

EBB算法的基本思路如下：

在波束空间中，找到使接收信号功率最大的赋形权矢量，并通过对用户空间相关矩阵进行特征分解，分解后得到的最大特征值对应的特征向量即为权矢量。

$$w^k=V_{\max}(\hat{H}^{kH}\cdot\hat{H}^k),\ \|w^k\|=1 \quad (2)$$

公式(2)中，$\hat{H}^k$是基站接收机估计的上行信道冲击响应，以信道冲击响应的相关矩阵为基础的下行波束加权矢量虽然没有进行DoA的估计，但是在时延角度扩散信道中仍能基本对准移动台的发射。对于EBB算法来说，信扰比$r(w^k)$越大，信号分离就越大，天线阵的波束赋形抑制干扰的能力就越强，增益也越高。

从算法难度来看，EBB算法的实现难度略高于GOB算法，EBB算法得到的是全局最优解，而GOB算法得到的是局部最优解；从应用场景来看，在低速情况下，EBB算法性能优于GOB，而在高速情况下，EBB算法与GOB算法性能基本相当；在市区场景下，无线的传播环境很恶劣，EBB算法的优势也更加明显。综上所述，EBB算法性能要明显优于GOB算法。由于文章选择的仿真场景为市区宏小区和市区微小区，所以在文章中将以EBB算法为参照，通过仿真给出基于SVD和EBB算法的性能差异。

1.2 基于SVD的下行赋形算法

传统SVD算法只适用于单径信道，而TD-HSPA+的信道是多径的，所以传统SVD算法并不能直接在TD-HSPA+系统中使用。文章提出一种对于多径信道使用SVD的算法，以改进TD-HSPA+波束赋形算法性能。

文献[8]中给出了步行环境A类信道(PA)和车载环境A类信道(VA)每一径的功率以及每一径相对于第一径的延迟，如表1所示。

对于TD-HSPA+信道而言，当两径间时延差$\Delta\leqslant\frac{1}{1.28\,M}=781.25$ ns时，这两条径将被系统识别为同一条径。因此，对于PA和VA信道而言，TD-HSPA+系统识别的某一径实际上是多条径的叠加，其叠加后的结果如表2所示。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P58

由表2可知，对于PA信道而言，TD-HSPA+系统只能识别出1径，这1径实际上是PA信道所有4条主径的叠加，集中了所有4条主径的全部能量；对于VA信道，TD-HSPA+系统的第1径占所有能识别出的3条径总能量的93.1%，在能识别出的3条径中，第2径和第3径的所占能量很少，也就是说PA和VA信道第1径的功率最强。另外，由于基站端8根天线的空间间距很小，当每个径的离开角(AoD)在一个相对较小的区间内对8×1空时信道的径做SVD分解时，获得的预编码矩阵是基本相同的。为了使SVD分解的复杂度可控并同时保证可行性，该算法只对8×1空时信道的第1径矩阵做SVD分解。

根据TD系统信道互惠性，通过对前一时隙上行、用户天线1与基站8根天线组成的8×1信道矩阵的估计，得到下行基站与用户天线组成的8×1信道等效发送矩阵：

$H_1=[h_1, h_2, \cdots, h_8]_{1\times 8}$

$h_i(i=1,2,\cdots,8)$为基站第i根发射天线与用户相应的接收天线之间主径的信道响应。

对矩阵$[H_1]$进行SVD分解，若矩阵为满秩，$[H_1]=U_{1\times 1}\sum_{1\times 1}V^H_{1\times 8}$

预编码矩阵W的确定为：$W=V_{8\times 1}$

系统模型可以写为：

$Y=HWX+n$

$H=\lfloor H_{1,1}\cdots H_{1,M_T}\rfloor_{E\times M_T(E+L-1)}$

其中：

$$H_{ij}=\begin{bmatrix} h_{m,n}(L) & \cdots & h_{m,n}(1) & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & h_{m,n}(L) & \cdots & h_{m,n}(1) & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & h_{m,n}(L) & \cdots & h_{m,n}(1) \end{bmatrix}_{E\times M_T(E+L-1)}$$

$i=1, j=1,2,\cdots,M_T$，是包含了多径信息的第i根接收天线和第j根发射天线间的信道矩阵。

设 $H'_{E\times M_T(E+L-1)}=HW=\left[\sum_{j=1}^{8}H_{1,j}V_{j,1}\right]$

接收端用户对信号进行线性-最小均分误差(L-MMSE)检测：

检测矩阵为：

$G=(H')^H((H')(H')^H+\sigma^2 I)^{-1}{}_{M_R(E+L-1)\times M_R E}$

对原始信号的估计如下：

$\hat{X}=G(H'X+n)=GH'X=Gn$

每个流的信号与干扰加噪声比(SINR)可以计算如下：

$$SINR_i=\frac{\|g_{i(E+L-1)+E/2}h'_{i(E+L-1)+E/2}\|^2}{\left(\sum_{i=1,\, j\neq(E+L-1)+E/2}^{M_R(E+L-1)}\|g_{i(E+L-1)+E/2}h'_j\|^2\right)+\|g_{i(E+L-1)+E/2}\|\sigma^2}$$

预编码矩阵W的获得，需要对信道矩阵H进行SVD分解。为了控制SVD算法复杂度，本算法只对8×1空时信道的第1径矩阵做SVD分解，获得预编码矩阵W。

2 系统级仿真平台设计

文章评估了TD-HSPA+8×1MIMO系统使用基于SVD的波束赋形算法时的系统性能，并与使用传统EBB算法时的性能进行比较，重点对市区宏小区和市区微小区下采用64 QAM高阶调制时和不采用64 QAM高阶调制时的小区吞吐量以及系统的首传正确率进行仿真评估及分析。

仿真平台为系统级动态仿真平台，利用OPNETTM软件编写，仿真场景的假设主要是根据文献[8-9]中的相关场景进行设定。整个仿真区域由19个小区组成，每个小区包含3个扇区，每个扇区随机分布10个用户。系统级仿真与链路级仿真不同，它不仅考虑单个基站和用户间通信。由于系统级仿真需要包含多个小区、扇区、基站和用户，对于系统级仿真如果仍采取链路级仿真逐比特地对物理层的编码、调制和扩频等处理模块进行建模的方式，将变得复杂。因此，将系统级仿真平台分为系统级仿真和链路级仿真两部分，链路级仿真提供信噪比—误块率(SNR-BLER)曲线以供系统级仿真使用。系统级仿真参数如表3所示。

▼表3 系统级仿真参数

小区布局	19个小区，3扇区/小区
MIMO方案	8×1波束赋形
载频	1 900 MHz
基站端天线数	8（天线间距4λ）
热噪声功率谱密度	-113 dBm/Hz
基站端总发射功率	43 dBm
用户数	10个用户/扇区
CQI时延	间隔2 TTI
HARQ方案	Chase合并
最大重传数目	3
接收检测方式	Linear MMSE
调度算法	比例公平调度
用户移动速度	3 km/h
HS-PDSCH数目	3时隙/子帧

CQI：信道质量指示符
HARQ：混合自动重传请求
HS-PDSCH：高速物理下行链路共享信道
MIMO：多输入多输出
MMSE：最小均分误差
TTI：传输时间间隔

3 8×1 MIMO天线仿真结果及分析

3.1 首传正确率

将SVD算法和EBB算法的TD-HSPA+ 8×1 MIMO系统进行系统级仿真并对比，在市区宏小区下，有64 QAM和无64 QAM时的首传正确率，如图1所示。

由图1可以看出，添加64 QAM的SVD算法和EBB算法的首传正确率要比无64 QAM时低。这是因为系统增加64 QAM高阶调制后，在信道估计计算SINR比较高时，用户会反馈高的调制方式。

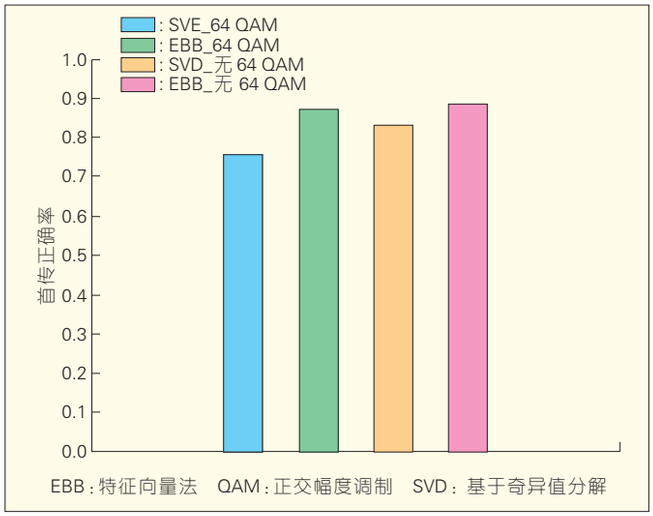
但是当下一次该用户被调度时，有可能因为超过相关时间，信道发生了变化，导致高调制方式不再适合于该用户，从而使错误率增加，首传正确率降低。

另外，SVD算法的首传正确率要略低于对应配置下EBB算法的首传正确率。这可能是由于SVD算法需要考虑多径因素，其受信道相关性影响更大，当信道发生变化的时候，SVD算法分配的调制方式可能不再适合用户。

3.2 基站平均吞吐量

SVD算法与EBB算法的基站平均吞吐量对比如表4所示。由表4可

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P59



◀图1 市区宏小区场景下SVD和EBB算法首次传输正确率

▼表4 SVD算法与EBB算法的基站平均吞吐量对比

场景	波束赋形方案	基站的平均吞吐量(kbit/s)
市区宏小区（无64 QAM）	EBB	720.2
	SVD	921.5
市区宏小区（有64 QAM）	EBB	799.2
	SVD	1 024.8
市区微小区（无64QAM）	EBB	747.3
	SVD	836.9
市区微小区（有64QAM）	EBB	833.8
	SVD	901.7

SVD：基于奇异值分解 EBB：特征向量法 QAM：正交幅度调制

以看出，SVD算法的基站平均吞吐量要远高于对应场景的EBB算法小区吞吐量，无论是在有64 QAM还是无64 QAM的场景这一结论都成立。其中市区宏小区场景的基站平均吞吐量增益最为明显，在引入64 QAM的情况下，这一性能增益达到28.2%。SVD算法在市区微小区下的基站平均吞吐量略低于市区宏小区场景下的基站平均吞吐量，这主要是因为宏小区散射体少，多径间相关性好。对于每一个径来说，做SVD分解出来的预矩阵差距很小，所以波束赋形效果更好。

另外，64 QAM的引入能给SVD算法和EBB算法系统带来明显的吞吐量增益，结合3.1节中的结论，虽然引入64 QAM之后将会略微降低系统的首传正确率，但同时却会明显提高系统的平均吞吐量，从而有效地改善用户体验。

4 结束语

文章提出一种基于SVD的下行赋形算法，以解决对多径信道使用SVD存在困难的问题，并与传统的EBB算法进行分析对比，对TD-HSPA+下行系统性能进行仿真分析，重点研究了市区宏小区和市区微小区场景下SVD算法和EBB算法的性能差异以及64 QAM给系统带来的性能影响。

由仿真结论可以看出：SVD算法相比传统EBB算法能够有效提高基站的平均吞吐量，而64 QAM的引入能进一步提高基站平均吞吐量，带来更好用户的体验。

5 参考文献

[1] 彭木根，王文博.TD-SCDMA移动通信系统—增强和演进[M].北京：机械工业出版社，2008: 1-20.
[2] 彭木根，洪伟，王文博.TD-SCDMA的长期演进与HSPA+增强技术[M].电信科学，2007，23(6):45-52.
[3] 3GPP TR25.224 v9.1.0. Physical Layer Procedures (TDD) [S]. 2009.
[4] 3GPP TR25.308 v10.0.0. High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall Description; Stage 2[S]. 2009.
[5] 3GPP TR25.909 v9.0.0.Continuous Connectivity for Packet Data Users; 1.28Mcps TDD[S]. 2009.
[6] 3GPP TR25.824 v8.0.0. Scope of High Speed Packet Access (HSPA) Evolution for 1.28Mcps TDD [S]. 2008.
[7] GODARA L C. Application of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part II: Beam-Forming and Direction-of-Arrival Considerations [J]. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(8):1195-1245.
[8] 3GPP TR25.996 v9.0.0. Spacial Channel Model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations[S]. 2009.
[9] 3GPP TR25.876 v7.0.0. Multiple Input Multiple Output (MIMO) in UTRA[S]. 2007.

收稿日期：2011-06-13

作者简介

陈明佳，北京邮电大学硕士研究生，研究方向为TD-HSPA/HSPA+系统的增强技术和性能仿真评估。

张翔，北京邮电大学博士研究生；主要从事TD-HSPA+和TD-LTE系统关键技术研究；现已在国际国内期刊和会议上发表论文20篇，申请专利9项。

彭木根，北京邮电大学副教授、博士生导师；多年来一直从事信号信息处理与无线通信系统关键理论及组网策略等方面的科研工作，目前研究重点为无线网络协同信息论、下一代无线宽带通信系统无线资源管理算法和协议设计、无线网络自组织(SON)和网络编码技术等；近期出版学术著作8本、译著2本，发表SCI国际期刊论文20余篇，授权技术发明专利20余项。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P60

具备云计算特性的业务交付平台及其关键技术研究

SDP with Cloud Computing Features

中图分类号：TN393.03 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 05-0055-03

杨勇/YANG Yong
董振江/DONG Zhenjiang
陆平/LU Ping
（中兴通讯股份有限公司 业务研究院，江苏 南京 210012）
(Communication Service R&D Institute, ZTE Corporation, Nanjing210012, China)

摘要：随着新技术的发展，传统的电信域业务交付平台(SDP)需要支持互联网、移动互联网和物联网等新环境下的应用交付。同时，云计算服务模式及其所涉及的关键技术也为SDP的构建方式及服务模式提出了新的发展思路。文章在分析云计算PaaS平台与SDP关系的基础上，提出了具备云计算特性的SDP解决方案及其功能框架，并对其中的关键技术进行了深入的分析和研究。

关键词：业务交付平台；云计算；PaaS

Abstract: With the development of new technology, the traditional service delivery platform (SDP) needs to support application delivery for Internet, mobile Internet, and Internet of Things. The service module and key technologies in cloud computing have sparked new ideas about SDP construction and service module. Based on the relationship between the PaaS and SDP solution, a new SDP solution with cloud computing features is proposed. The key technology in this solution is also studied.

Key words: service delivery platform (SDP); cloud computing; Platform as a Service (Paas)

随着电信网络的逐步开放以及与互联网的不断融合，不仅使得各种新业务层出不穷，更是对传统的电信业务交付平台(SDP)提出了新的要求[1-4]。互联网技术的迅速发展和所取得的极大成功等都给传统的SDP带来了新的挑战。如何在原有的电信业务平台之上，结合互联网业务、移动互联网以及物联网的技术特征，开发出满足融合网络环境下的新一代SDP，是SDP在新环境下的重要研究课题。

云计算[5-8]的出现，需要新一代融合网络环境下的SDP引入更多的新技术，以便进一步提高其交付能力。通常认为，云计算包括3个层次的服务：基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)和软件即服务(SaaS)。其中，PaaS对服务进行了进一步的抽象，将软件计算与服务能力及产品解决方案抽象，形成通用的应用程序接口(API)，进一步开放服务能力，扩展服务模式。它对应用层提供了能力开放接口的同时，又屏蔽了异构操作系统和硬件基础设施的差异，因而被认为是最重要的云计算服务模式[9-11]。

综合以上因素，我们可以看出，电信SDP和云计算PaaS平台的构建目标是非常一致的，即开放能力服务，提供应用开发和执行环境，提高应用开发效率，缩短应用上线时间。同时，云计算所涉及的分布式技术，将使平台具备高性能和弹性可扩展等重要特性。因而云计算与SDP的结合将极大地提高SDP的竞争力。

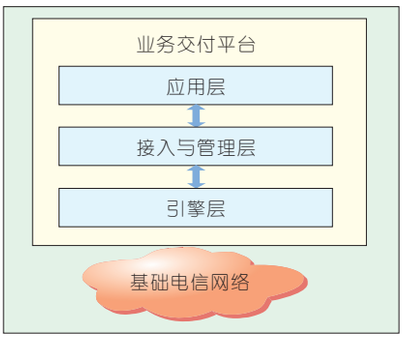
1 SDP与PaaS平台的关系

从业界对云计算PaaS平台的功能理解上看，PaaS平台和SDP的功能在许多方面是一致的，尤其是他们都强调开放网络能力，并且第三方应用开发人员提供一个完整的应用生命周期管理解决方案。下面先来了解一下SDP与PaaS平台的关系。

首先，SDP是电信设备提供商为电信运营商提供的完整的增值业务解决方案。它提供从业务开发、执行、测试、部署和管理等各个阶段的完整的解决方案，对外开放业务能力，支持与第三方的系统或应用的对接或集成，因而一直以来是电信增值业务的基础平台。在这点上，云计算PaaS平台和SDP的基本目标一致，PaaS平台需要提供集成的业务开发环境、服务开放能力和服务执行引擎。

其次，SDP解决方案强调的是水平化的平台构建层次。通常情况下，根据电信系统的功能，整个SDP平台可以分为引擎层、接入与管理层和应用层，如图1所示。其中，引擎层负

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P61



▲图1 SDP概念模型

责电信服务能力的实现，接入管理层负责电信服务能力的对外封装暴露及应用的管理，而应用层则负责电信应用的开发和执行。SDP强调各个功能层次的水平可扩展，而PaaS平台更强调整个系统中各个子系统的实现，并不关注各个子系统本身的功能。在这一点上，二者是不冲突的，可以完美地结合起来。

再次，从服务能力提供的角度看，尽管当前的SDP解决方案中所提供的服务能力包括电信服务能力和IT服务能力，但是这些服务能力都是具备基本业务特性的，例如呼叫类的服务能力等。而云计算PaaS平台所提供的服务能力还包括一些通用的、和应用无关的，例如分布式缓存、分布式数据库等。由此可见，PaaS平台的服务能力更为丰富、全面。

另外，从应用层的角度看，SDP解决方案中通常提供应用服务器作为应用的执行环境。其中，应用容器是应用服务器的基本功能之一，负责第三方应用的执行。应用容器功能极大地减少了应用开发者的工作量，使得他们只需关注上层一个应用逻辑的实现。然而，应用容器功能所带来的问题就是应用运行时的安全性。在运行环境下，应用之间的异常会互相影响，从而导致整个系统运行时安全性降低，而云计算最关键的一个特征就是要保障应用运行时的安全性。在PaaS层解决该问题，不仅在技术上切实可行，还可以降低硬件资源。因而在这一点上，PaaS平台无疑要更胜一筹。

最后，从应用执行的角度看，SDP解决方案不支持多应用实例，应用开发者无法控制应用实例的数量；而多租户、多应用实例是云计算特有的功能，PaaS平台具备这一功能。这是SDP和云计算PaaS平台的主要区别之一。

综合以上分析，可以得出：SDP和PaaS平台有着天然的、紧密的联系，云计算所涉及的分布式计算、分布式存储、分布式缓存技术以及高性能支持能力、弹性可扩展等理念为新一代融合网络环境下SDP构建提供了更好的实现模式和服务模式。

2 具有云计算特性的SDP基本框架及关键技术

新一代融合网络环境下的SDP的构建，需要结合云计算相关的技术特性来实施。图2所示为具有云计算特征的SDP基本框架。考虑到安全问题涉及面较多、较广，因此实现框架仅限于服务和应用层面，暂不包括安全问题的相关内容。

平台功能框架从下到上依次为服务实现层、丰富封装层和应用层。其中，在服务实现层包括4个能力：

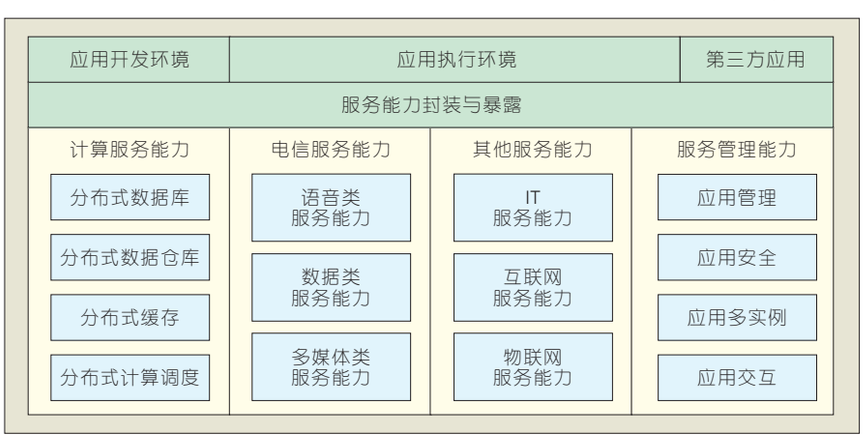
- 计算服务能力，能够分别提供分布式数据库、分布式数据仓库、分布式缓存和分布式计算调度等计算能力，它们是任何应用都需要的服务能力；
- 电信服务能力，包括语音类的、数据类和多媒体类的服务能力，它们是电信应用的基本能力；
- 服务管理能力，主要包括应用管理、应用安全、应用多实例和应用交互服务等，它们是应用执行和管理的基本保证；
- 其他服务能力，包括IT服务能力（企业资源计划、客户关系管理等）、互联网服务能力（地图、搜索、SNS等）和物联网服务能力。

服务封装与暴露层主要负责服务能力的封装和暴露，服务能力封装的接口形式可以是多样的，包括基于简单对象访问协议(SOAP)的webservice、Restful、HTTP、XML或Native API等多种形式。

应用层主要包括应用集成开发环境和应用执行环境，它们的提供可以大大降低开发者的应用开发难度，使得他们的注意力集中在应用逻辑的构造方面，无需过多关心应用逻辑的实现，因而可以大大降低应用开发难度，缩短应用上线时间。当然，对于具有一定开发能力的第三方开发人员，也可以直接调用服务封装与暴露层的接口来开发应用。

下面需要分析具有云计算特征的SDP中的关键技术。

(1) 分布式技术。分布式技术是具备云计算特性的SDP构建的基础技术，分布式技术在SDP中的应用包括两个方面：作为一种服务开放出来，供应用开发者直接使用；作为其



▲图2 具有云计算特征的SDP基本框架

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P62

他服务能力子系统实现的必需技术，以便实现整个系统的弹性可扩展特性。在上述的分布式服务能力中，分布式计算、分布式缓存和分布式数据仓库技术目前相对比较成熟，而分布式数据库技术目前业界尚缺乏有效的解决方案。

(2) 应用实例的动态管理技术。具备云计算特性的SDP动态可扩展特性不仅表现在平台服务能力子系统的动态可扩展，还表现在应用实例的动态可扩展。应用实例的数量应该是根据运行时的系统状态来决定的，由于平台本身对应用逻辑无法感知的，因而也无法自动调整应用实例的运行策略。所以，平台需要给应用开发者提供应用实例的控制接口，支持应用实例的动态增加、删除、启动、停止等操作。

(3) 应用隔离技术。应用隔离技术是具备云计算特性的SDP在应用运行时安全的保证。平台运行时的安全主要包括两个方面：一是服务提供的安全性，要防止由应用对服务的恶意访问而导致的整个服务停止，这个问题的解决一方面要从应用的服务等级协议(SLA)策略上进行严格的控制，另外还需要考虑引入服务调用安全引擎，对服务调用的安全性进行严格监测；另一个方面是应用执行环境的安全性，某一应用运行时的异常不能影响到其他的应用。Google App Engine的沙盒技术是解决这一问题的有效尝试，但是沙盒技术对应用的操作特别是对核心系统调用的访问方面增加了许多限制，导致应用的灵活性有所降低。

(4) 应用交互技术。应用隔离技术使得各个应用运行在自己独立的虚拟空间中，然而它带来的负面问题不仅是应用之间的交互受到一定的限制，服务的共享和重用也受到了限制。解决这一问题的思路是提供公共的消息队列，但可能会使多进程/线程的异步处理变为有序的同步处理，在应用间偶合性降低的同时也会导致处理性能受到影响。所以，应用交互技术也成为整个平台的关键技术之一。

(5) 服务能力的集成及服务插件的可靠性、可扩展性以及安全性。具备云计算特性的SDP的服务能力非常丰富，而且本身也是在不断扩充的。这些丰富的服务能力仅靠平台提供商自身是无法实现的，需要依靠社会的力量来丰富。因而，平台需要提供一个第三方服务能力接入的规范或框架，支持第三方按照该规范开发业务能力，它可接入到系统中，被其他应用重用。同时，要求第三方集成进来的服务插件是安全可靠、可弹性扩展的。这对平台提出了较高的要求，因而该问题也成为平台构建的关键问题之一。

(6) 协同支持。通常情况下，项目研发是由一个团队合作完成的，这种云特征的SDP平台的构建是一个软件系统工程，需要基于软件子系统的生命周期由整个大团队以按需协作的模式来完成。在平台的构建过程中，要考虑以下几个因素：第一，封装、共享、获取可重用源码和软件模块，这样可以极大地提高工作效率，降低项目风险和投入；第二，需要保证源码以及相关知识产权的安全；第三，还要考虑如何增强团队内各个开发者之间的信息征集及共享，同时保证开发者的隐私与安全。

3 结束语

具备云计算特性的SDP的构建是一个极具挑战性的课题，文章提出的新一代SDP解决方案是在原有SDP的实现基础上，结合云计算的技术特性，提出的具备云计算特性的SDP解决方案。该方案是一个平台的功能框架，它从功能的角度将整个平台分为服务能力实现层、服务能力封装与暴露层和应用层。在服务实现层和服务封装层，允许第三方集成各种服务能力，丰富了平台的服务能力、应用能力等，从而繁荣了整个产业的生态环境。

4 参考文献

[1] Service Delivery Platforms and Telecom Web Services: An Industry-Wide Perspective [R]. The Moriana Group, 2004.
[2] YANG Yong, JIA Xia, DONG Zhenjiang. Open Access Standards for Telecom Service Capabilities [J]. ZTE Communications, 2009, 7 (2):54-60.
[3] 爱立信(中国)有限公司. 助力运营商在新竞争时代中获取优势——爱立信业务提供平台(SDP) [J].电信网技术, 2007(7): 57-61.
[4] 倪洪章.IBM SDP实现电信运营商业务水平整合[N].计算机世界,2008-02-04.
[5] 陈康,郑纬民. 云计算: 系统实例与研究现状[J].软件学报,2009,20(5):1337-1348.
[6] 刘鹏.云计算[J]. 北京: 电子工业出版社,2010.
[7] 刘晓乐.计算机云计算及其实现技术分析[J].电子科技, 2009 (12):100-103.
[8] 史佩昌,王怀民,蒋杰,等. 面向云计算的网络化平台研究与实现[J].计算机工程与科学, 2009, 31(S1):249-252.
[9] 罗黎霞. 基于云计算的服务平台——Google App Engine[J].信息与电脑:理论版, 2009(8): 93-94.
[10] 徐雷,辛喆,马少武,等.云计算与电信运营商服务平台建设[C]//中国通信学会信息通信网络技术委员会2009年年会论文集:上册,2009年8月22日—23日,西安.2009.
[11] SUBRAMANIAN K. PaaS is the Future of Cloud Services: VMForce – A Marriage of Convenience[R].CloudAve, 2010.

收稿日期：2011-06-25

作者简介

杨勇，东南大学博士毕业；中兴通讯业务研究院业务平台总工、技术专家委员会委员；研究方向包括多媒体图像、视频处理技术、增值业务平台等，先后从事智能网以及Parlay/ParlayX网关的研发工作；已发表论文数十篇。

董振江，哈尔滨工业大学硕士毕业；中兴通讯业务研究院副院长、公司技术专家委员会业务组组长；先后从事交换机和智能网等开发、设计和规划等工作，研究方向为SDP、P2P、业务引擎、3G业务和ICT等；参与、负责过多项国家发改委的技术课题；发表过多篇增值业务相关文章。

陆平，东南大学硕士毕业；中兴通讯业务研究院院长、云计算平台研发负责人；先后从事BOSS系统、短信、彩信、WAP等产品的总体架构设计并领导产品研发；在国内重要刊物上发表过多篇论文。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P63

光正交频分复用技术及其应用 2

陈章渊，李巨浩，杨川川
（北京大学，北京 1000871）

[编者按]正交频分复用(OFDM)是一种多载波调制技术，用来解决各种无线和有线通信系统中因信道色散引起的符号间干扰问题。近年来的研究表明OFDM在光纤通信方面也极有前途，可以用于超大容量的长距离光纤传输、可变带宽光交换和100 Gbit/s高速光接入。本讲座将分3期对该技术进行介绍：第1期讲述光正交频分复用的发展历史、基本原理和在光传输方面的应用；第2期讲述基于光正交频分复用的高速光接入；第3期将讲述利用光正交频分复用实现的可变带宽光交换。

中图分类号：TN929.5　文献标志码：A　文章编号：1009-6868 (2011) 05-0058-04

5 OFDM-PON

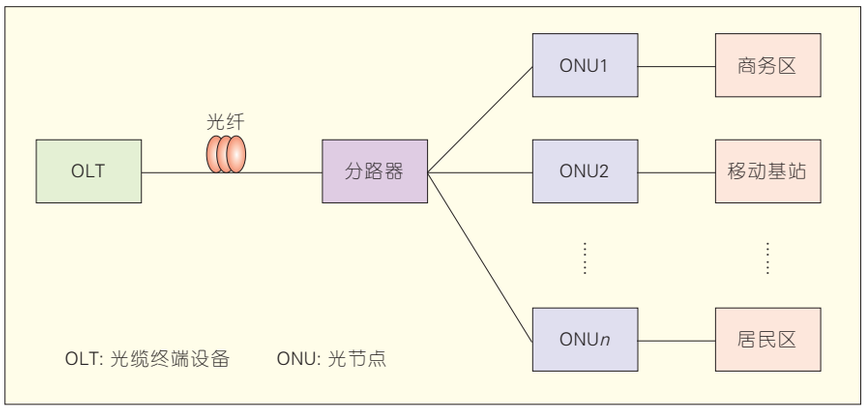
随着各种新业务的出现及人们日益增长的带宽需求，最后一公里的接入已经成为整个网络的“瓶颈”，而无源光网络(PON)技术以带宽高、成本低、结构简单、可靠性好等优点，被广泛认为是解决宽带光接入需求的最佳方法，并且已在全球相当多的地区有了一定规模的实施。现阶段10 Gbit/s EPON和GPON技术标准已相继出台，各大电信设备制造商积极地推出了相应产品，而各运营商也在积极部署。10 Gbit/s PON产品将很快进入大规模商业应用阶段，而40 Gbit/s GPON乃至100 Gbit/s EPON技术逐渐被研究领域和工业界广泛关注。

未来的超高速光接入将着眼于给每个用户提供更高数据速率、支持更多的用户数和更长的传输距离。在面向40 Gbit/s及其以上速率的PON研究中，现有的EPON和GPON产品所采用的时分多址(TDM)技术，进一步提高速率面临着一系列的挑战，包括随速率增加的光电器件成本、调度算法复杂度和延时敏感性等等，而且40 Gbit/s以上突发模式TDM接收机也是一个难题。为了解决这一问题，全业务接入网论坛(FSAN)在NGPON2计划中提出，未来的GPON技术可以不受限于现有的GPON技术。目前一些新型的PON技术被提出，主要包括波分复用-无源光网络(WDM-PON)、正交频分复用-无源光网络(OFDM-PON)、码分多址-无源光网络(CDMA-PON)、混合PON等不同技术方案。在各种方案中，WDM-PON是一种可提供巨大带宽的接入技术，但成本较高，也难以提供比波长粒度更细的带宽；OFDM-PON技术不仅可以引入发射端和接收端电信号处理以消除各种损伤，还可以引入高阶调制降低各种光电器件的带宽要求，此外该技术还具有高效灵活的多址接入和资源分配方法等优点，因此得到了业界广泛的关注。

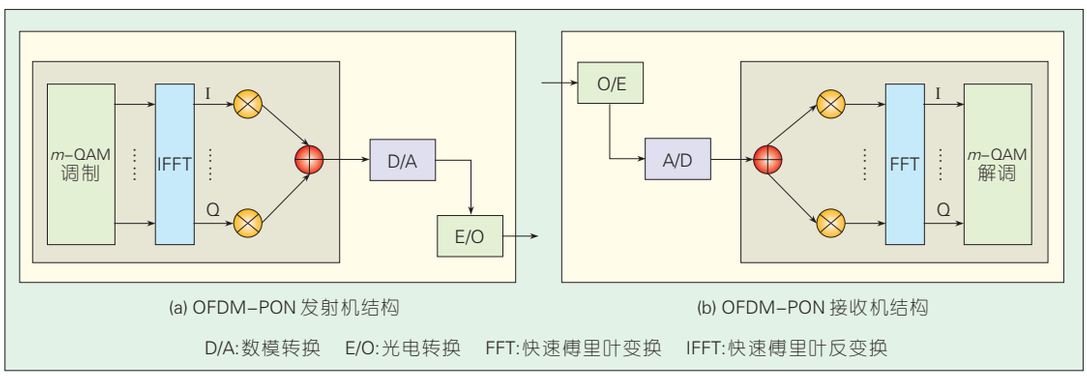
5.1 OFDM-PON基本原理

2007年欧洲光通讯展(ECOC)上，NEC美国实验室首次提出了OFDMA-PON的系统架构。图1是一个典型的OFDM-PON网络结构。OFDM-PON可沿用现有基于TDM的PON的基础设施与配件，只需要对发射机与接收机的结构进行调整，从而实现经济有效的升级与转换。图2给出了用于OFDM-PON的典型发射机和接收机结构。为了实现更低的成本和更简单的结构，OFDM-PON中在发射机端先通过数字或模拟方式对基带OFDM进行上变频，变频后的电信号经合适的放大后，驱动一个直接调制激光器或通过光强度调制器外调制光信号实现电光转换。由于发射端发出的信号中既有载波信号又有边带信号，因此在接收端不再需要外接本振激光器进行相干检测，而只需要一个光电检测器实现光电转换，然后利用载波信号和边带信号拍频完成外差相干检测，再通过数字或模拟方式对信号进行下变频，即可得到基带OFDM信号，并通过强大的DSP技术实现下变频与基带OFDM信号的解调。可以看出，这种调制和解调的方法与100G高速光OFDM系统中的应用是不同的。由于节省了本振激光器和混频器，OFDM-PON的直接检测方案可以大大降低实现的成本。从这一过程也可以看出，OFDM-PON严重依赖于数模转化器(DAC)、模数转化器(ADC)以及数字信

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P64



▲图1 典型的无源光网络结构



▲图2 OFDM-PON典型发射机和接收机

号处理(DSP)技术。

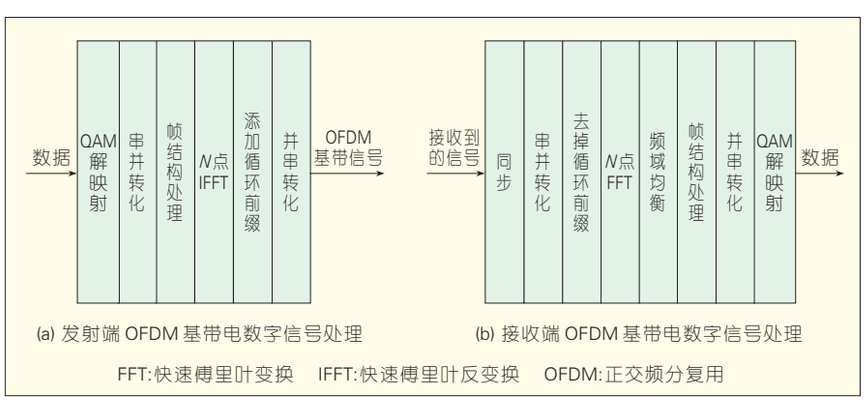
5.2 OFDM-PON中的数字信号处理

OFDM-PON中，OFDM数字信号处理方法与无线中应用类似，都是电域完成基带信号的处理。发射端的基带信号产生如图3(a)所示，主要步骤包括串并转换、QAM信号映射、帧结构处理、快速傅里叶反变换(IFFT)、添加循环前缀、并串转换等若干步骤。OFDM-PON可根据传输需求，在各个子载波上调制不同调制格式的信号，亦可根据信道的传输特性与用户的需求合理分配子载波的使用。这种强大的动态分配子载波资源的功能主要由QAM信号映射、帧结构处理两个模块实现。IFFT模块实现OFDM信号的正交调制，由于频域调制的内在特性，OFDM信号较单载波信号有着较高的峰均值比(PAPR)。高的峰均值比使得OFDM-PON对光、电器件有着较高的线性要求。根据OFDM-PON的传输距离与拓扑结构，需在发射端添加适当的循环前缀。OFDM接收端的基带信号接收如图3(b)所示，主要步骤包括同步(包括帧同步、频率同步、定时同步)、串并转换、去循环前缀、快速傅里叶变换(FFT)、频域均衡、帧结构处理、并串转换和QAM解映射。OFDM对载波频率偏差十分敏感，因此，同步是OFDM-PON系统中非常重要的技术。当前主流的同步方法主要可以分为：插入导频符号的同步和基于循环前缀的同步。FFT模块实现OFDM信号的正交解调，频域均衡模块可有效消除信道干扰。最后，帧结构处理与QAM解映射实现OFDM信号的准确解调。由图3所示，我们可以看出数字信号处理技术大大降低了OFDM信号产生与接收的复杂度。随着大规模集成技术的大量发展，OFDM-PON已经可以实现经济、简单的接入。

OFDM技术是一种多载波调制技术，在无线通信系统中，可以采用自适应调制、交织、迭代译码等方法，解决无线信道面临的频率选择性衰落的问题。但光纤信道与无线信道不同，主要的损伤机制包括色度色散、偏振模色散、光纤非线性效应等，不存在频率选择性衰落问题，因此在光接入网络中应当考虑OFDM技术一些单载波改进方案。

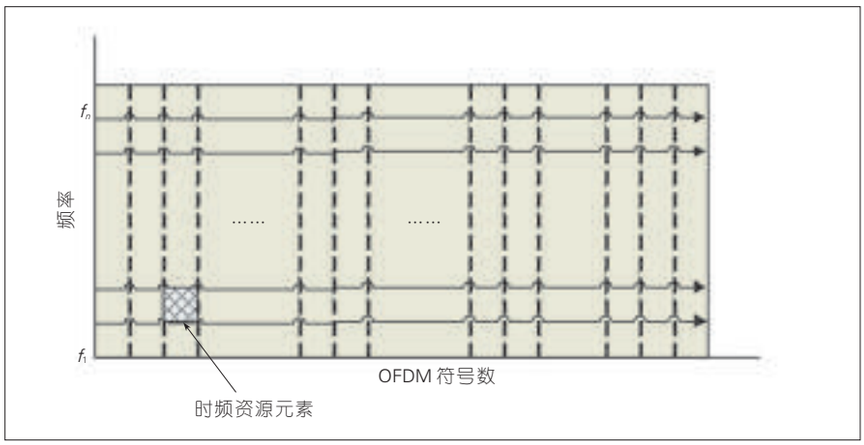
5.3 OFDM-PON的资源分配和ONU无色性

OFDM-PON可非常灵活地分配系统的时域与频域资源，如图4所示。利用OFDM多子载波调制的特



▲图3 OFDM基带电数字信号处理过程

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P65



▲图4 OFDM-PON时频资源分配示意图

点，OFDM-PON可以进行正交频分多址接入。同时，这种正交频分多址接入还可以与时分多址(TDMA)混合使用，OFDM的子载波被动态地分配给不同时隙内的服务，通过合理设计子载波的分配，OFDM带宽能独立传送不同的服务。

5.4 OFDM-PON对光电器件的要求

相比其他几种PON来说，OFDM-PON对于电器件，包括高速DAC、ADC、高速DSP电路等要求很高。但近几年来集成电路技术发展迅速，目前已经可以实现转换速率80 GSPS的ADC和DAC，随着技术的进一步成熟，量产后价格有望迅速下降。引入高阶调制后，OFDM信号能大大降低对光电器件的带宽需求，因此低成本激光器用于高速PON系统成为可能。

但OFDM信号也出现了新的问题，如信号的放大不能沿用原有的数字放大器，而需要有成本较高的模拟放大器，调制器非线性等损伤也对发射或接收端算法提出了很高的要求。总体而言，OFDM-PON相关光电器件发展很快，有望在几年内出现成熟解决方案。

5.5 OFDM-PON技术的优缺点

OFDM技术与PON的结合，使得OFDM-PON较现有的TDM-PON有着诸多技术上的优势。首先，OFDM-PON可把高速的数据流通过串并转换分配到速率相对较低的若干个频率子信道中进行传输，容易实现40 Gbit/s及其以上高速数据流的传输。OFDM-PON除了本身可以利用OFDM多子载波调制的特点进行正交频分多址接入外，还可以与传统的TDMA混合使用，既可在频域与时域范围内对系统带宽进行动态的分配，因此OFDM-PON较EPON、GPON等TDM-PON具有更强大的动态带宽分配(DBA)能力。

循环前缀的添加，使得OFDM-PON能够很好地抵抗光纤色散、偏振模色散、符号间串扰，同时也可以降低系统对包延迟的敏感性。更为重要的是，OFDM信号的产生与解调可由强大的DSP技术来实现。随着DSP芯片不断地批量生产，可以很好地减少接入成本。

尽管OFDM-PON有如此多的优势，但也存在不少问题。其中光节点(ONU)的无色性与DSP技术是制约OFDM-PON发展的两大因素。与WDM-PON类似，OFDM-PON也遇到了ONU波长管理问题。目前，ONU无色性解决方案大都参照WDM-PON中的方案，技术不太成熟。由于OFDM信号的产生与接收严重依赖于DSP技术，以当前电器件的技术水平，实现高速率OFDM信号的传输较为困难。

5.6 OFDM-PON研究现状和展望

OFDM在PON中应用的研究工作虽然始于近几年，却得到了全世界范围内著名研究机构与高校的高度重视与广泛研究。美国NEC实验室在OFDM-PON的工作走在世界最前沿。以Dayou Qian，Neda Cvijetic，Ting Wang等为主的NEC研究组在2007年最早提出并研究OFDMA-PON[1]，近几年仍然对该问题进行了广泛深入研究，主要的研究包括OFDMA-PON的高速率大容量传输以及如何实现ONU无色性两个主要的关键问题。NEC实验室用偏振复用技术与复杂的多输入多输出(MIMO)均衡算法成功实现了单波长40 Gbit/s[2],100 Gbit/s OFDM-PON的离线传输[3]，采用现场可编程门阵列(FPGA)成功实现了40 Gbit/s OFDM-PON实时接收机[4]。在PON中，无色性问题一直是一个阻碍其发展的技术难题。对上行信号而言，每个ONU需要不同的波长来避免拍频噪声，因此上行的OFDMA-PON需要联合WDM技术，这必然会大大增加开销，降低可行性。NEC组提出了3种无源OFDMA-PON结构来解决该问题，分别为：通过下行数据采用相位调制，上行数据再利用同一个波长进行强度调制来实现无色性；上行和下行数据都采用强度调制，利用二进制启闭键控(OOK)信号归零的波形将下行接收到的一部分信号重新进行强度调制；OLT端设置两个激光源，产生两个波长，其中一个作为下行的OFDMA传输，另一个作为上行传输。这些方案都借鉴了WDM-PON现有的一些技术，可行性不强。NEC还研究了OFDMA-PON的媒体接入控制(MAC)设计问题，讨论了两种MAC方案：一种是动态的链路传输，一种是固定的突发传输。这两种MAC层设计方案，相比现有的EPON和GPON来说，改动较大，因此在此基础上的PON体系设计也会

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P66

相对复杂。更好的MAC设计方法是继承原有的EPON或GPON的MAC设计，并同时把OFDM作为传输的一种调制方式。

台湾也有些研究机构，包括台湾国立交通大学、元智大学、台湾工业技术研究院等。这些机构的研究工作都是从光载无线通信(ROF)系统或WDM-PON转向OFDM-PON的研究，主要围绕着基于OFDM的WDM-ER-PON展开。ER-PON具有四大特征：采用WDM技术、分路比大于100、接入距离大于100 km、上行与下行的传输速率高。台湾的研究小组将OFDM技术引入到ER-PON中，于2010年成功实现了40 Gbit/s ER-PON的上、下行传输。从节约成本出发，该组还研究了如何实现无色性的问题，不同于NEC组的重调制方式，该组研究并比较了基于电吸收调制器、反射半导体光放大器和注入锁模激光器3种无色ONU的实现[5]，这些方法都是从WDM-PON的研究中引入的。

法国Orange Laboratories、法国电信和法国阿尔卡特-朗讯研究了自适应调制光正交频分复用(AMOOFDM)调制方式与低带宽的反射式半导体放大器(RSOA)在PON中的应用。传统的OFDM中子载波是使用固定的位置分配，这样会带来较大的误码。解决方案是执行自适应的功率和比特分配，并且可以改变每个子载波的调制格式和功率。AMOOFDM能根据信道状态信息(CSI)来采用不同的调制阶数、比特数、功率等。CSI包含每个载波的信噪比(可以在接收机端使用探测信号测量，高SNR的子载波可以被分配更多的比特数传输)。该组在2011年OFC会议上，展示了40 Gbit/s AMOOFDM-PON的传输[6]。

英国班戈大学J. L. Wei等人研究了AMOOFDM调制格式，并在没有光放大和色散补偿的强度调制直接检测标准单模光纤(IMDD SSMF)系统中使用半导体光放大器(SOA)作为强度调制器。该组建立了一个描述光增益饱和和增益谱的SOA模型，基于这个模型研究了波长在1 510 nm和1 590 nm之间变化时SOA的最佳操作条件。结果显示，SOA强度调制器在最佳条件下操作时能在上文提到的波长窗口实现无色AMOOFDM发射机，这种发射机能支持60 km SSMF大于30 Gbit/s的信号传输[7]。

OFDM-PON作为一种新型的且有较大发展潜力的PON技术，受到了广泛的关注，很多国家都有研究结构在展开相关研究，进展也是非常迅速。特别是NEC美国实验室，离线实验已经可以实现100 Gbit/s，实时的基于FPGA的系统也已经完成，这方面远远走在了其他研究机构前面。但是也需要看到，OFDM-PON的研究工作还远远不能达到成熟阶段，即使是NEC，目前在OFDM-PON的物理实现上，都没有给出一个接近实用的系统方案，尤其是ONU无色技术。目前提到的所有ONU无色技术，在WDM-PON方案中都已经提出，但实用性都不强，需要进一步研究。NGPON2的计划中提出，下一代PON可不受TDM-PON方案的限制，但从工业界来看，完全脱离以前的TDM-PON的技术，会带来极大的研发工作量。因此更好的方法是尽可能利用TDM-PON中已经掌握的技术，这方面还需要做大量的研究工作。(待续)

6 参考文献

[1] QIAN Dayou, HU Junqiang,YU Jianjun . Experimental Demonstration of A Novel OFDM-Based 10Gb/s PON Architecture[C] // Proceedings of the 33rd European Conference on Optical Communication (ECOC'07), Sep 16-20,2007, Berlin, Germany. Piscataway, NJ,USA:IEEE, 2007: P5.4.1.
[2] QIAN Dayou,CVIJETIC N,HU Junqiang,et al. 40-Gb/s MIMO-OFDM-PON Using Polarization Multiplexing and Direct-Detection[C]// Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'09),Mar 24-26, 2009,San Diego,CA, USA. Piscataway,NJ,USA:IEEE,2009: OMV3.
[3] QIAN Dayou, CVIJETIC N,HU Junqiang,et al. 108 Gb/s OFDMA-PON with Polarization Multiplexing and Direct-Detection[C]// Proceedings of the Optical Fiber Communication/ National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'09),Mar 24-26, 2009,San Diego,CA, USA. Piscataway,NJ,USA:IEEE,2009: PDPD5.
[4] QIAN Dayou, Kwok T T O, Cvijetic N, et al. 41.25 Gb/s Real-Time OFDM Receiver for Variable Rate WDM-OFDMA-PON Transmission[C] // Proceedings of the Optical Fiber Communication/ National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'10),Mar 23-24, 2010,San Diego,CA, USA. Piscataway,NJ,USA:IEEE,2010:PDPD9.
[5] CHOW C W, YEH C H, WANG C H, et al. Signal Remodulation of OFDM-QAM for Long Reach Carrier Distributed Passive Optical Networks[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2009, 21(11): 715-717.
[6] NETO L A,CHANCLOU P,CHARBONNIER B, et al. Up to 40Gb/s Optically Amplified AMOOFDM for Next Generation PON Networks[C]// Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'11), Mar 6-11, 2011, Los Angeles, CA, USA. Piscataway,NJ,USA:IEEE,2011: OTuK7.
[7] WEI J L, HAMIE A,TANG J M.Optimization and Comparison of the Transmission Performance of RSOA/SOA Intensity-Modulated Optical OFDM Signals for WDM-PONs[C]// Proceedings of the Optical Fiber Communication/ National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'10), Mar 23-24, 2010,San Diego,CA, USA. Piscataway,NJ,USA:IEEE,2010: JThA53.

收稿日期：2011-07-26

作者简介

陈章渊，北京大学毕业；北京大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室博士、教授；主要研究方向为光纤传输、光网络与光子器件；已发表论文100余篇。

李巨浩，北京大学毕业；北京大学博士、讲师；主要研究方向为相干光通信、光接入和光网络；已发表学术论文30篇，授权发明专利2项。

杨川川，北京大学毕业；北京大学博士、讲师；主要研究方向为光纤通信和光纤传感，专业特长是光纤通信以及传感系统中的数字信号处理技术；已发表学术论文15篇，申请发明专利2项。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P67

2012年第1—3期专题征文

第1期 智能管道及其运营

专题策划人

工业和信息化部电信研究院通信标准所 续合元 总工

在网络带宽能力持续增强、用户个性化需求不断提高的背景下，如何提升网络智能化水平，从而提高用户的服务体验、提升管道的价值成为当前运营商亟待解决的关键问题。本专题将就上述问题展开讨论，希望能为智能管道的专家、学者提供一个交流与沟通的平台，对智能管道相关的需求、业务、技术运营等相关问题进行深入的讨论。

专题征文范围包括：

- 智能管道的内涵和外延
- 智能管道的需求
- 智能管道涉及的业务和技术
- 现有网络实现智能管道的演进路径
- 智能管道的运营模式和运营管理
- 智能管道实施的推进策略

第2期 物联网与行业信息化

专题策划人

中国联通国家工程实验室 唐雄燕 副总工

物联网融合了感知识别、传输互联和计算处理等功能，不仅是互联网和通信网的网络延伸与应用拓展，更是新一代信息技术的综合应用和集成创新，它已成为中国战略性新兴产业的重要组成部分。物联网将人与人的通信扩展到人与物、物与物之间的信息交互，在国民经济的各行各业具有广泛的应用前景。基于物联网的行业信息化应用将成为未来几年物联网产业发展的重要驱动力，市场潜力巨大。本专题将全面探讨这一热点话题，为关心物联网与行业信息化的业界人士提供交流与探讨的园地。

专题征文范围包括：

- 两化融合与物联网发展战略
- 物联网标准与关键技术
- 物联网体系架构演进
- 基于物联网的行业信息化解决方案与应用案例
- 云计算在物联网与行业信息化中的应用
- 行业信息化的平台及终端技术
- 行业信息化应用中的网络解决方案
- 行业信息化应用商业模式探讨

第3期 智能终端技术与应用

专题策划人

南京邮电大学 糜正琨 教授

苹果公司借助其专有技术推出iPhone智能手机和iPAD平板电脑，有力地推进了移动互联网的应用发展，深刻地影响了通信业的技术发展方向和运营商业模式，使智能终端成为信息通信界高度关注的热点技术，同时云计算技术和智能终端技术的结合更使通信网络获得了崭新的发展动力。本专题从多个视角深入探讨智能终端关键技术和应用模式。

专题征文范围包括：

- 各类智能终端的创新技术和应用
- 具有自主知识产权的智能手机操作系统（OS）技术
- 具有自主知识产权的LTE智能手机芯片技术
- 云模式智能终端技术
- 智能终端的开放式应用平台
- 以智能终端为核心的移动互联网应用商业模型
- 基于多终端协同和基于云计算的虚拟终端技术

2012年第1—6期专题计划

期次	专题名称	专题策划人
1	智能管道及其运营	工业和信息化部电信研究院通信标准所 续合元 总工
2	物联网与行业信息化	中国联通国家工程实验室 唐雄燕 副总工
3	智能终端技术与应用	南京邮电大学 糜正琨 教授
4	数据中心网络关键技术	西安电子科技大学 杜军朝 副教授 国防科技大学 郭德科 副教授
5	光与无线融合接入技术	上海交通大学 陈建平 教授
6	云存储与云灾备	北京邮电大学 杨义先 教授

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P68