

主管：中国电子科技集团公司  
主办：广州通信研究所  
(中国电子科技集团公司第七研究所)

#### 编辑委员会

主任委员：韩玉辉

副主任委员：杨绍华 徐艳

顾问：李进良 万永乐

委员（按姓氏笔画排序）：

王开华 王朝晖 刘韵洁 邬贺铨 张乃通 张忠平 李融林  
杜振华 杨骅 沈少艾 沈文明 沈勇 肖清华 范平志  
赵厚麟 赵研 赵慧玲 高旭东 黄剑明 蒋远 腾汉龙  
谭学治

主编：刘宗祥

副主编：杨彤

执行副主编：陈雍君

编辑：袁婷 刘妙 刘文竹 黄耿东 蔡雅安 黄颖丹  
杨思颖

美编：吴博 陈林 许庆雄

电话：020-84119959, 84118642, 84118643

投稿邮箱：editor@mbcom.cn

投稿咨询：020-84118640

广告部：曾琳

电话：020-84119345

电子邮箱：guanggao@mbcom.cn

读者服务部：李宝佳

电话：020-84118646

电子邮箱：faxing@mbcom.cn

网址：www.mbcom.cn

地址：广州市新港中路 381 号

邮政编码：510310

出版：《移动通信》编辑部

出版时间：每月 15 日、30 日

承印单位：广州百思得彩印有限公司

中国标准连续出版物号：  
ISSN 1006-1010  
CN 44-1301/TN

广告经营许可证号：440000100048

出版物经营许可证：新出发粤刊批字第 009 号

发行：广东省报刊发行局

发行范围：国内外公开发行

邮发代号：46-181

国外订购处：中国图书进出口集团公司出口部（北京 88-E 信箱）

国外发行代号：BM1010T

订阅：全国各地邮局

（如邮局订阅有困难，可直接与读者服务部联系）

定价：每期 12 元，全年 288 元（含邮费）

开户银行：建行广州赤岗支行

账号：4400 1431 9010 5022 8568

户名：中国电子科技集团公司第七研究所

法律顾问：广东金轮律师事务所 伍伟良律师

版权所有 未经书面同意 不得转载

移动通信  
MOBILE COMMUNICATIONS

2016 年第 2 期  
总第 408 期  
(1977 年创刊 第 40 卷)

- 中国期刊方阵双效期刊
- 工业和信息化部精品期刊
- 中国科技核心期刊
- 中国科技论文统计源刊

## 高级顾问委员会

工业和信息化部信息通信发展司司长	闻库
中国电子科技集团公司第 54 所首席专家、院士	孙玉
浙江逸畅通信技术有限公司董事长	高保证
杭州紫光网络技术有限公司董事长	封建华

(排名不分先后)

## 征稿简则

本刊园地公开，凡具原创性、与移动通信有关之技术研究、行业分析、方案探讨等，均欢迎赐稿。来稿以行文简洁、结构严谨、观点独到为佳，撰写体例请参考本刊最新期刊，并请具齐作者简介、联系方法及清晰近照。

为适应我国信息化建设，扩大本刊及作者知识信息交流渠道，本刊已被国内外文献索引、文摘、全文数据库和出版网站收录，作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如有异议，请在来稿时声明，本刊将做适当处理。

《移动通信》编辑部



9 771006 1101169

## 网规网优

- 3 LTE 800M 与异系统共址部署分析  
罗凤娅 陈杨 杨芙蓉
- 9 LTE 高站越区覆盖优化方案研究  
金勇 方志林
- 14 基于网络安全考虑的城域网设计分析  
肖江涛 薛其林 窦勇
- 18 基于 800MHz 频段的 LTE 网络规划研究  
张超 李荣 蒋晓虞 等
- 23 基于驻波比测试的室内分布系统干扰分析及  
处理方法  
贾卡乐 张晨 肖可

## 研究与探讨

- 28 IMSI 复用导致终端无法使用 3G 网络服务  
问题的研究  
黄云飞 陆健贤 赵旭 等
- 32 多系统合路 POI 无源互调测量研究  
林鑫海 邹勇 谢树民 等
- 37 基于站址的联合规划方法探讨  
王尚奇 王亚昕 潘三明
- 42 面向 VoLTE 的关口局组网方案分析  
马洪源 刘博士 孙逊 等
- 48 基于自组织网络的 LTE RACH 优化技术研究  
江华

## 设计与实现

- 52 基于 NCP1396 控制的 LLC 半桥串联谐振  
变换器的设计  
邓永清
- 57 一种基于模式识别的新型 FMO 解码方法  
温志勇

- 61 基于 FAHP 的运营管理系统业务健康度综合  
评价模型研究  
杜巍
- 66 基于干扰对齐的能量效率优化算法分析  
钱进 孙银江 郭磊 等
- 74 基于 Tetrolet 变换和四元数模型的视频质量  
评价方法  
杨斌斌 李纲 金炜
- 79 基于图像内容和支持向量机的服装图像检索  
方法研究  
薛培培 郭延辉
- 83 基于 TF-IDF 算法的 AAA 服务异常检测机制  
研究  
黄晓丹 罗伟 李秀峰 等
- 88 动中通卫星车图像智能软件平台研究及实现  
陈旭 程大鹏 蒋振华 等

## 工程实践

- 92 铁塔公司基站蓄电池性能优化解决方案分析  
汪永寿

## 广告索引

- 封三 《移动通信》2016 年专题计划  
封底 《移动通信》杂志  
第 96 页 中国联合网络通信有限公司

## CONTENTS

### Network Planning and Optimization

- 3 Analysis on Co-Location Deployment of LTE 800M and Other Wireless Systems  
LUO Feng-ya CHEN Yang YANG Fu-rong
- 9 Study on Optimization Scheme of Cross-Boundary Coverage for LTE High Base Station  
JIN Yong FANG Zhi-lin
- 14 Design and Analysis of Metropolitan Network Based on Network Security Factor  
XIAO Jiang-tao XUE Qi-lin DOU Yong
- 18 Research on LTE Network Planning at 800MHz Frequency Band  
ZHANG Chao LI Rong JIANG Xiao-yu et al
- 23 Indoor Distribution System Interference Analysis and Processing Method Based on VSWR Testing  
JIA Ka-le ZHANG Chen XIAO Ke
- 

### Research and Discussion

- 28 Study on Failed 3G Network Service Caused by IMSI Reusing  
HUANG Yun-fei LU Jian-xian ZHAO Xu et al
- 32 Research on Passive Intermodulation Measurement of POI  
LIN Xin-hai ZOU Yong XIE Shu-min et al
- 37 Discussion on Joint Planning Methods Based on Site Location  
WANG Shang-qi WANG Ya-xin PAN San-ming
- 42 Analysis on Gateway Networking Structure Oriented to VoLTE  
MA Hong-yuan LIU Bo-shi SUN Xun et al
- 48 Research on LTE RACH Optimization Technology Based on Self-Organizing Network  
JIANG Hua
- 

### Design and Implementation

- 52 Design of LLC Half-Bridge Series Resonance Converter Based on NCP1396  
DENG Yong-qing
- 57 A New FM0 Decoding Method Based on Pattern Recognition  
WEN Zhi-yong
- 61 A Comprehensive Evaluation Model of Operation Management System' Service Health Degree Based on Fuzzy Analytical Hierarchy Process  
DU Wei
- 66 Analysis on for Energy Efficiency Optimization Algorithm Based on Interference Alignment  
QIAN Jin SUN Yin-jiang GUO Lei et al
- 74 A Video Quality Evaluation Method Based on Tetrolet Transform and Quaternion Model  
YANG Bin-bin LI Gang JIN Wei
- 79 A Clothing Image Retrieval Method Based on Image Content and Support Vector Machine  
XUE Pei-peí WU Yan-hui
- 83 Research on AAA Service Anomaly Detection Mechanism Based on TF-IDF Algorithm  
HUANG Xiao-dan LUO Wei LI Xiu-feng et al
- 88 Research and Implementation of Intelligent Software Platform of Image in Satellite Vehicle of Communication on the Move  
CHEN Xu CHENG Da-peng JIANG Zhen-hua et al
- 

### Engineering Practice

- 92 Optimization Solution Analysis on Base Station Battery's Performance for China Tower  
WANG Yong-shou

# LTE 800M与异系统共址部署分析

罗凤娅, 陈杨, 杨芙蓉

(四川通信科研规划设计有限责任公司, 四川 成都 610041)

**【摘要】** 通过介绍系统间三种邻频干扰及其计算方式, 对LTE 800M与异系统之间的邻频干扰隔离度进行分析, 并重点分析了LTE 800M与CDMA 800M的同频干扰隔离度。在此基础上结合实际网络拓扑结构, 给出了LTE 800M与CDMA 800M共址部署策略、LTE 800M与原CDMA 800M的隔离缓冲区设置原则。

**【关键词】** LTE 800M CDMA 800M 异系统 干扰分析 共址部署

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.001 中图分类号: TN929.53 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0003-06  
引用格式: 罗凤娅, 陈杨, 杨芙蓉. LTE 800M与异系统共址部署分析[J]. 移动通信, 2016, 40(2): 3-8.

## Analysis on Co-Location Deployment of LTE 800M and Other Wireless Systems

LUO Feng-ya, CHEN Yang, YANG Fu-rong

(Sichuan Communication Design Co., Ltd., Chengdu 610041, China)

**[Abstract]** Three kinds of adjacent frequency interference between wireless systems and their calculation methods were introduced. The isolation of adjacent frequency interference between LTE 800M and other wireless systems was analyzed. Especially, the isolation of common frequency interference between LTE 800M and CDMA 800M was analyzed in detail. Combined with the topologic structure of real networks, the co-deployment strategy for LTE 800M and CDMA800M and the configuration principle of isolation buffer for LTE 800M and the original CDMA 800M were presented.

**[Key words]** LTE 800M CDMA 800M other wireless systems interference analysis co-location deployment

## 1 引言

未来的无线网络将是一张全LTE的网络。根据VoLTE技术的发展情况, 在LTE 800M网络应用VoLTE技术, 形成一张完整的3GPP标准网络, 在诸如推广LTE Only终端等方面充分利用全球规模经济效益, 降低网络建设和运营成本。CDMA网络负荷会继续减

少, 可以适时继续重耕800MHz频率, 部署5MHz系统带宽的LTE 800M系统, 进一步提高数据网络广覆盖容量。目前, CDMA与LTE网络仍然处于共建共存的状态。随着未来无线网络的发展, CDMA网络将逐步退网, 直至实现全LTE网络。因此, 在实现“C退L进”的过渡阶段, 考虑LTE重耕CDMA 800M频段, 以充分利用频谱资源, 降低网络建设和运营成本。初期建议考虑5M带宽LTE(下行870—875MHz), 1.4M/3M带宽过小, 无法兼顾VoLTE语音和数据业务, 在业务均衡、组网干扰等方面明显不足。5M带宽是FDD-

收稿日期: 2015-10-08

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

LTE组网最低要求，后期条件具备时，引入LTE 10M带宽（下行870—880MHz），对于农村无线宽带接入和城区室内场景数据业务性能提升优势明显。在此背景下，本文对LTE 800M（下行870—875MHz）与异系统之间的邻频干扰，尤其是与CDMA 800M（下行875—880MHz）的邻频干扰进行分析，同时也对LTE 800M（下行870—875MHz）与原CDMA 800M（下行870—880MHz）之间的同频干扰进行分析，并给出了LTE 800M与CDMA 800M共址部署策略以及LTE 800M与原CDMA 800M的隔离缓冲区设置原则。

## 2 各运营商2G/3G/4G网络制式和频段分配

目前三大运营商2G/3G/4G网络制式和频段分配如表1所示。

## 3 LTE 800M与异系统邻频干扰隔离度分析

系统间的邻频干扰主要有杂散干扰、阻塞干扰和互调干扰，这里主要针对LTE 800M下行对异系统的杂散、阻塞干扰以及异系统下行对LTE 800M杂散、阻塞干扰进行分析，如表2所示。

根据上文中LTE 800M与异系统之间的天线隔离度要求，天线选用65°扇形波束天线，LTE 800M与异系统之间的天线隔离距离计算结果如表3所示。

当LTE 800M与其他各系统共址时，天线隔离距离要求如表4所示，可考虑采用加装滤波器或者调整天线位置以增大系统间的隔离度，改善系统间的干扰。

表1 各运营商网络制式和频段分配

运营商	制式	上行/MHz	下行/MHz
中国移动	GSM 900M	890—909	935—954
	DCS 1800M	1710—1735	1805—1830
	TD-S/TD-L	1880—1900	1880—1900
	TD-S	2010—2025	2010—2025
	TD-L（室分）	2320—2370	2320—2370
	TDD LTE	2575—2635	2575—2635
中国电信	CDMA/LTE 800M	825—835	870—880
	CDMA2000（室分）	1920—1935	2110—2125
	TD-L	2370—2390	2635—2655
	FDD-LTE	1765—1780	1860—1875
中国联通	GSM 900M	909—915	954—960
	DCS 1800M	1735—1755	1830—1850
	WCDMA	1940—1955	2130—2145
	TD-L	2300—2320	2555—2575
	FDD-LTE	1745—1765	1840—1860

注：表1至表4中TD-SCDMA简称为TD-S，TD-LTE简称为TD-L。

## 4 LTE 800M与CDMA 800M同频干扰隔离度分析

为了充分利用频谱资源，如果从现有800M 10M频段中划分出5M频段用于LTE（下行870—875MHz）进行重耕部署，那么重耕区LTE 800M与原CDMA 800M存在同频干扰。LTE 800M与CDMA 800M共频段干扰分析参数如表5所示。

表2 各系统分析参数及杂散和阻塞指标

系统	LTE 800M	CDMA 800M	GSM 900M	DCS 1.8G	TD-S 2.0G	WCDMA 2.1G	LTE 1.8G	TD-L 2.6G
功率/dBm	43	47.78	49	49	46	46	47.78	49
带宽/MHz	5	1.228	0.2	0.2	1.28	5	15	20
噪声系数	3	2.5	2	2	3.5	2	3	3
杂散指标（dBm/MHz）	86	90	88.5	88.5	90	93	86	86
抗阻塞指标/dB	16	16	10	10	16	16	16	16

表3 LTE 800M与异系统之间的水平/垂直隔离距离

干扰/被干扰	水平/垂直隔离距离	CDMA 800M	GSM 900M	DCS 1800M	TD-S 2.0G	WCDMA 2.1G	LTE 1.8G	TD-L 2.6G
LTE 800M为干扰系统, 其他各系统为被干扰系统	隔离度取值/dB	35	35	35	34	35	34	34
	水平隔离距离/m	1.8	1.7	0.9	0.6	0.7	0.8	0.5
	垂直隔离距离/m	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
LTE 800M为被干扰系统, 其他各系统为干扰系统	隔离度取值/dB	31.78	33	33	30	30	34	34
	水平隔离距离/m	1.3	1.5	1.5	1.1	1.1	1.7	1.7
	垂直隔离距离/m	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5

表4 LTE 800M与异系统共址时的水平/垂直隔离距离

干扰/被干扰	水平/垂直隔离距离	CDMA 800M	GSM 900M	DCS 1800M	TD-S 2.0G	WCDMA 2.1G	LTE 1.8G	TD-L 2.6G
LTE 800M	水平隔离距离/m	1.8	1.7	1.5	1.1	1.1	1.7	1.7
	垂直隔离距离/m	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5

从表6可以看出, LTE与CDMA共800M频段时, 基站之间的干扰增大, 所需要的隔离度要求也比异频段部署时要大, 可考虑采用加装合路器、滤波器或者调整天线位置以增大系统间的隔离度, 改善系统间的干扰。在实际网络部署中, 建议CL 800M共频段部署基站之间采取隔离缓冲区来规避同频干扰, 根据理论计算, 过渡区保护带在8.5km左右, 具体大小受区域场强与组网场强相关, 需要根据部署区域地物环境的网络覆盖仿真进行最后确定。

## 5 LTE 800M与CDMA 800M共址部署策略

### 5.1 CL 800M共站叠加

从上文中可以看出, LTE 800M与CDMA 800M共站址要求隔离距离较大。由于LTE 800M与CDMA 800M均为FDD系统, 在两者系统基站共站时, 需要保证35dB的最小隔离度。图1是LTE 800M与CDMA 800M共站叠加的场景, 在天面资源允许的情况下, 推荐LTE 800M与CDMA 800M新建独立天馈; 若天面资源紧张, 则推荐使用多端口天线, 即C+L双模共天线。CDMA天线均为1T2R; LTE天线可以选择2T2R或2T4R。2T4R可以在一定程度上提升小区上行平均吞吐量增益, 也可以获得3~5dB的上行覆盖增益。

部署LTE 800M时, C+L存在同厂家和异厂家的方

表5 LTE 800M与CDMA 800M共频段干扰分析参数

系统	LTE 800M	CDMA 800M
功率/dB	43	47.78
带宽/MHz	5	1.228
噪声系数	3	2.5
同频干扰指标	底噪抬升3dB	

表6 LTE 800M与CDMA 800M共频段干扰隔离度要求

水平/垂直隔离距离	LTE 800M为干扰系统	CDMA 800M为干扰系统
最大干扰信号强度门限 (dBm/Hz)	-108	-101
同频干扰隔离度 (最大路径损耗) /dB	151	148.78
同频隔离距离/km	7.6	8.5

案。C+L同厂家: 方案1; C+L异厂家: 根据现场实际情况, 在方案2至4之间选择。具体如表7所示。

### 5.2 CL 800M同频部署缓冲区设置

为了充分利用频谱资源, 在郊区以及农村低话务区, 从现有800M 10M频段中划分出5M频段用于LTE进行重耕; 主城区站点容量需求大、配置高, 无法分出多余频段给LTE, 故主城区不建议做重耕。郊区以及农村区域重耕需要设置隔离带, 规避重耕区域LTE 800M和

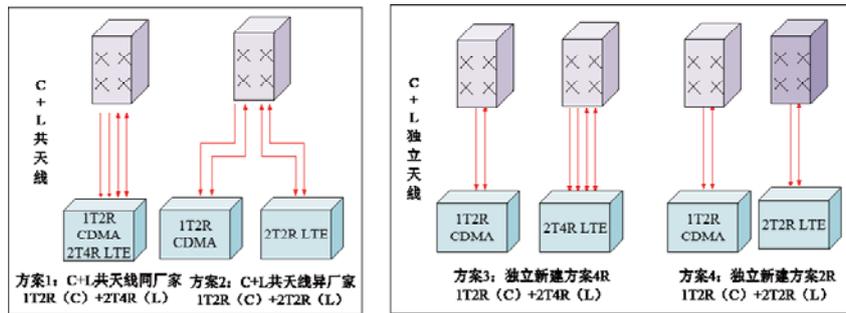


图1 LTE 800M与CDMA 800M共站叠加场景

表7 C+L共站建设方案

方案		天馈等费用	新增铁塔平台	优势	劣势
C+L共天线 (替换原C网天线)	方案1: 同厂家1T2R (C)+2T4R (L)	略高	无	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆CDMA网络性能不受影响</li> <li>◆采用2T4R, 最大限度发挥LTE技术优势</li> </ul>	◆需更换天线
	方案2: 异厂家1T2R (C)+2T2R (L)	略高	有	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆CDMA网络性能不受影响</li> <li>◆采用2T2R, 可以实现MIMO技术优势</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆需更换天线</li> <li>◆上行增益略低于4R方式</li> <li>◆新增RRU需新增铁塔平台</li> </ul>
C+L独立天线 (新增一副LTE天线)	方案3: 独立新建1T2R (C)+2T4R (L)	略低	有	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆新增独立LTE系统不影响原有C网</li> <li>◆采用2T4R, 最大限度发挥LTE技术优势</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆新增LTE天线需考虑与原有C网天线的隔离, 平台可能不满足要求</li> <li>◆需新增铁塔平台</li> </ul>
	方案4: 独立新建1T2R (C)+2T2R (L)	略低	有	◆新增独立LTE系统不影响原有C网	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆新增LTE天线需考虑与原有C网天线的隔离, 平台可能不满足要求</li> <li>◆上行增益略低于4R方式</li> <li>◆需新增铁塔平台</li> </ul>

主城区CDMA 800M产生同频干扰。如图2所示。

LTE 800M重耕区与非重耕区的隔离缓冲区设置原则如下：

按照经验，根据站间距 $D$ 来估计，郊区站间距 $D$ 一般为3~4km，隔离区的宽度应至少大于 $3D$ ，包含2~3层站点。上文讨论了CL 800M同频干扰隔离距离至少为8.5km，那么综合考虑，LTE 800M重耕区与非重耕区的隔离缓冲区应设置为9~12km。

现有可进行较为细致的缓冲区规划的方法有：基于后台切换统计数据的缓冲区划分方法和基于仿真的缓冲区划分方法。在进行LTE缓冲区规划时，可通过

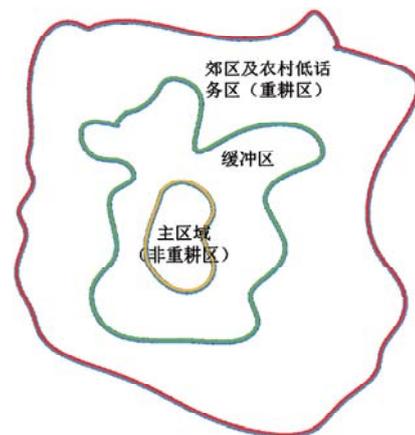


图2 LTE 800M重耕区及缓冲区设置示意图

以下方式降低缓冲区规划范围和代价：

(1) 充分利用地物地貌形成的有效阻挡，以减少该地形区域的缓冲区规划范围，适应地形包括山地、丘陵、沟壑等。

(2) 利用LTE网络覆盖相对独立的区域，以减少缓冲区规划范围，适应地形包括绿洲、海域等。

(3) 通过成片LTE部署形成广覆盖，以实现整体较小的缓冲区规划代价，适应地形包括平原等。

### 5.3 隔离缓冲区划分区域仿真验证

采用仿真的方法分析隔离区的范围。仿真条件：郊区基站，平原地形，LTE和CDMA天线挂高均为30m，发射功率为20W。如图3所示，仿真输出达到如下接收功率时的基站覆盖半径：

LTE下行到达CDMA终端（1.23MHz，折合成15kHz）RSRP（Reference Signal Receiving Power，参考信号接收功率）：-130dBm，-112dBm；

CDMA下行信号到达LTE终端（15kHz，折合成1.23MHz）Rx：-111dBm，-96.5dBm。

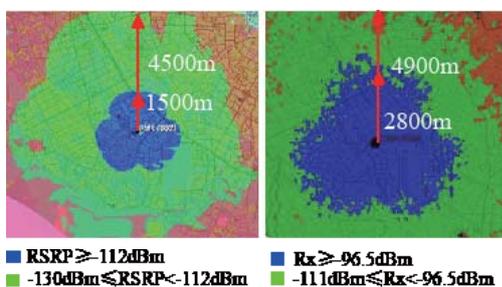


图3 LTE 800M与CDMA 800M基站覆盖半径

以某地区为例，对重耕区与非重耕区进行仿真。图4左侧为对重耕区内LTE 800M进行RSRP仿真，得出重耕区内LTE 800M的信号不会对非重耕区产生干扰；图4右侧为对非重耕区内CDMA 800M进行Rx仿真，得出非重耕区内CDMA 800M的信号不会对重耕区产生干扰。由此验证了重耕区与非重耕区之间的隔离缓冲区划分间隔是合理的。

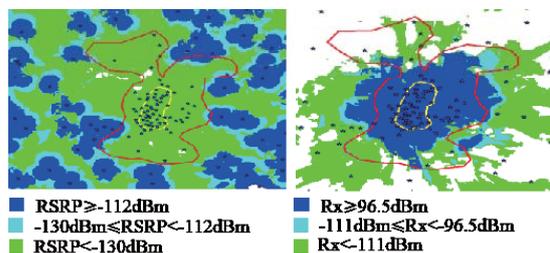


图4 LTE 800M与CDMA 800M隔离缓冲区划分区域仿真结果

## 6 结束语

为了充分利用频谱资源，从现有C网800M（10MHz）频段中划分出5MHz频段用于LTE进行重耕，在郊区及农村低话务区部署LTE 800M。本文通过对LTE 800M与异系统之间的邻频干扰进行分析，计算出LTE 800M系统与异系统共址址时的隔离距离要求，考虑采用加装滤波器或者调整天线位置以增大系统间的隔离度，改善系统间的干扰。CL 800M共址部署时，在满足最小隔离度的情况下，采用共站叠加的方式进行C+L共址建设。同时，分析了LTE 800M与原CDMA 800M之间的同频干扰隔离距离，并给出了LTE 800M重耕的缓冲区及缓冲区设置原则。

## 参考文献：

- [1] 3GPP TS 36.101. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), User Equipment (UE) radio transmission and reception[S]. 2010.
- [2] 3GPP TS 36.104. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Base Station (BS) radio transmission and reception[S]. 2010.
- [3] 高荣,王海燕,石美宪,等. FDD LTE与TD-LTE基站邻频杂散辐射的研究[J]. 电信网技术, 2011(8): 51-55.
- [4] 乔斌,颜亚伟,万勇. TD-LTE与异系统共址址干扰分析[J]. 移动通信, 2013(3): 99-103.
- [5] 王静,张欣,房英龙,等. TD-LTE和LTE-FDD系统共存的干扰分析[J]. 移动通信, 2009(6): 57-62.

- [6] 冯芒. FDD-LTE和CDMA2000基站共址系统间隔高度分析[J]. 上海信息化, 2014(5): 66-70.
- [7] 谭洪利,李寿鹏. WLAN与TD-LTE基站间干扰分析[J]. 移动通信, 2014(20): 18-21.
- [8] 陈慧,李新. TD-LTE与LTE-FDD融合组网建设策略研究[J]. 电信快报, 2015(4): 9-12.
- [9] 王大鹏,李新. TD-LTE无线网络与既有网络的干扰分析[J]. 移动通信, 2011(19): 33-38.
- [10] 郭希蕊,聂昌,毕猛. 中国联通U900/G900网络缓冲区规划研究[J]. 邮电设计技术, 2014(5): 40-44. ★

### 作者简介



罗凤娅: 硕士毕业于电子科技大学, 现任四川通信科研规划设计有限责任公司技术二部咨询设计师, 从事无线网络规划工作, 曾主持过资阳市“十三五”通信基础设施规划、眉山市岷东新区通信基站设施专项规划等重要项目。



陈杨: 硕士毕业于电子科技大学, 现任四川通信科研规划设计有限责任公司技术二部高级咨询师, 从事无线网络规划工作, 曾主持过云南移动2007年GSM网络规划、四川电信2009—2015年历年无线网络规划、四川铁塔公司2015年投资规划等重要项目。



杨芙蓉: 硕士毕业于电子科技大学, 现任四川通信科研规划设计有限责任公司技术二部高级咨询师, 从事无线网络规划工作, 曾主持过西藏移动“十二五规划”TD-SCDMA专项规划、西藏电信2015年无线网滚动规划、四川电信2008—2014年历年无线网络规划、乐山市主城区信息基础设施专项规划等重要项目。

## 中国联通虚商用户接近1800万： 试点模组套餐转售模式

1月25日, 中国联通携手虚拟运营合作伙伴在北京召开“合作共赢、突破进取——中国联通移动转售政策发布及业务推进会”。会议发布了最新的移动转售政策。工业和信息化部通信发展司陈家春副司长、中国联通熊昱副总经理及虚拟运营商的代表参加了大会。

中国联通熊昱副总经理在会上表示, 虚拟运营已纳入中国联通的聚焦战略, 将在战略布局、资源配置等方面加大投入。2016年中国联通将采取“聚焦、创新、合作”的合作策略, 以更加开放的心态不断推出新的产品, 继续坚持一点对接、一点运营, 逐步开放业务平台和增值业务能力, 大力推动虚拟运营事业。同时, 熊昱也建议虚拟运营商应理性发展, 平衡长远发展与短期利益的关系, 重视并切实提升自身的运营能力。

在会议上, 中国联通监管事务部周仁杰总经理总结了试点期间移动转售业务的发展情况, 发布了最新的转售业务政策, 并提出了2016年工作设想和建议。据周仁杰介绍, 中国联通将试点推出模组套餐转售模式, 将为虚拟运营商提供更加广阔的创新空间, 便于虚拟运营商自由组合、灵活设计通信产品, 深入挖掘并提升细分市场的客户价值, 并为用户提供更加完善的信息服务体验。

自2013年移动转售试点启动至2015年底试点结束, 中国联通高度重视试点工作, 以积极、开放、合作、共赢的态度, 建立了专门的管理支撑团队, 建设了专项的支撑系统, 采取了开放的业务模式, 现在历经两年多的发展, 在中国联通的全力支撑下, 转售企业快速成长, 业务规模不断扩大。目前中国联通的移动转售业务用户已接近1800万, 市场占有率在90%左右, 试点工作成效显著。(C114 中国通信网)

# LTE高站越区覆盖优化方案研究

金勇<sup>1,2</sup>, 方志林<sup>1</sup>

(1. 重庆邮电大学通信工程应用研究所, 重庆 400065;  
2. 中国联合网络通信有限公司重庆市分公司, 重庆 400042)

**【摘要】** 针对LTE高站容易导致越区覆盖问题的背景和原因进行分析, 探讨了现有解决方案的缺陷, 提出了应用大下倾角电调天线的解决方案, 并对方案进行了详细分析。通过对方案进行现网实验, 结果表明大下倾角天线方案能够有效地解决高站越区覆盖问题, 从而提升覆盖效果以及网络性能。

**【关键词】** 高站 越区覆盖 大下倾角天线 网络优化

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.002 中图分类号: TN929.53 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0009-05  
引用格式: 金勇,方志林. LTE高站越区覆盖优化方案研究[J]. 移动通信, 2016,40(2): 9-13.

## Study on Optimization Scheme of Cross-Boundary Coverage for LTE High Base Station

JIN Yong<sup>1,2</sup>, FANG Zhi-lin<sup>2</sup>

(1. Communication Engineering Application Research Institute, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;  
2. Chongqing Branch of China United Network Communications Co., Ltd., Chongqing 400042, China)

**[Abstract]** The background and cause of cross-boundary coverage resulting from LTE high station were analyzed. Deficiencies of existing schemes were discussed. A scheme of applying large inclination antenna was proposed and analyzed in detail. The scheme was tested in current network and results show that the proposed scheme not only effectively solves the problem of cross-boundary coverage, but also improves coverage effect and network performance.

**[Key words]** high base station cross-boundary coverage large inclination-angle antenna network optimization

## 1 引言

随着移动互联网的发展以及4G用户的日益增多, 用户业务的需求也越来越大, LTE网络将面临着严峻的考验。因此, 如何提升LTE网络性能及用户感知是目前运营商亟需解决的问题, 而高站覆盖问题是所面临的问题之一<sup>[1]</sup>。

LTE系统一般基于同频组网, 容易导致邻区同频干扰<sup>[2]</sup>。对于LTE网络而言, 频率更高、空间传播损耗大, 且同时需要提供更高的单站容量, 基站站间距会更小, 越区覆盖问题也会更为显著。为了规避越区覆盖, 减少重叠覆盖, 必须严格控制LTE基站天线的覆盖, 同时还需要注意天馈参数的设置、天面布局以及站址选择等<sup>[3]</sup>。然而在一些日益增高的高楼建筑密集区域及其他一些特殊区域, 需连续覆盖区域中的高站点所占比例较高, 天线安装位置较高, 容易发生越区覆盖, 对邻区产生干扰, 从而影响通信质量。如果不能

收稿日期: 2015-12-02

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

解决高站导致的越区覆盖干扰问题，将严重影响网络质量，波及用户体验。因此，要提高LTE网络性能，高站导致的越区覆盖问题就必须解决。

## 2 高站越区覆盖的原因

越区覆盖是指基站小区信号越过了本小区的覆盖范围，越区覆盖到邻区，给邻区带来严重的干扰，引起掉话、频繁切换等<sup>[4]</sup>。随着城市现代化进程的加快以及经济水平的不断发展，城市人口日益增加，大量的用户需求导致城市站点数量急剧增加，站点变密且站距缩短。同时随着建筑物高度的不断攀升，城市基站的站点高度也不断增加，由于站址高、站距小，高站就很容易导致越区覆盖而产生干扰，降低了系统覆盖性能和容量。

由于高站容易导致越区覆盖，对邻区造成干扰，因此在规划设计阶段一般不采用高站覆盖，但是考虑到建站初期要广覆盖、对2G/3G站址资源充分利用、节约成本或其他一些客观条件限制等因素，往往不能规避高站的使用，从而导致后期容易引起越区覆盖<sup>[5]</sup>，产生同频干扰等问题。

## 3 现有解决方案分析

目前可以通过以下方案来进行优化：

(1) 降低天线增益，即换低增益的天线。虽然可以缩小基站覆盖范围，但这样也减小了基站近端信号覆盖强度，降低了深度覆盖效果。

(2) 降低天线功率。虽然可以缩小覆盖范围，但会使小区覆盖范围内的近端和远端信号强度整体下降，特别是在密集城区，会减小覆盖区域内的室内信号覆盖区域甚至覆盖不到室内<sup>[6]</sup>。

(3) 降低天线挂高是效果最显著的一种方式。该方式虽然效果较好，但实际工程实施难度最大，需要重新选择安装位置、重立抱杆和重新布线等，所需工程量大，甚至涉及到物业谈判问题，而物业谈判是运营商最不可控的因素，所以一般不采取这种方式。

(4) 增大机械倾角调节或电倾角调节。机械倾角调节需要人工上塔调整，优化效率低、成本高，且

容易导致天线辐射范围方向图畸变，致使小区间干扰增加，边缘用户速率下降，从而影响用户体验。电倾角调节是一种很好的方法，它可以实现远程塔下或网管调节，成本低、效率高；而目前热点区域所采用的电调天线，LTE系统主要以65°18dBi天线为主，可调范围仅为0~12°；在某些天线挂高较大的站点，常规天线的电倾角调节范围已无法满足控制越区覆盖的需要，因此必须增大电下倾角。为了应对这种情况，提出采用可以设置超大下倾角的天线来满足覆盖要求。

## 4 应用大下倾电调天线的解决方案

增大天线倾角可以达到跟降低天线挂高一样的覆盖效果，天线覆盖距离与天线挂高、下倾角度关系如下<sup>[7]</sup>：

$$D_{\max} = \frac{h}{\tan(\beta - \frac{\alpha}{2})} \quad (1)$$

其中， $D_{\max}$ 为天线覆盖区； $h$ 为天线挂高； $\beta$ 为天线下倾角度； $\alpha$ 为天线垂直面波瓣宽度。

由式(1)可知，增大天线倾角和降低天线挂高都可以降低天线过覆盖而产生的干扰问题。在不降低天线挂高的情况下，采用增大天线电下倾角可以达到与其一样的覆盖效果。利用天线覆盖模型仿真工具进行仿真，基站天线降高和调整俯仰角覆盖效果对比如表1所示。

由表1可知：

(1) 原先基站高度为50m，需要将覆盖距离控制在200m左右的时候，降低天线高度22m和更换大倾角基站并电调调整下倾角6°效果相当。

(2) 原先基站高度为70m，需要将覆盖距离控制在200m左右的时候，降低天线高度42m和更换大倾角基站并电调调整下倾角11°效果相当。

(3) 原先基站高度为100m，需要将覆盖距离控制在200m左右的时候，降低天线高度72m和更换大倾角基站并电调调整下倾角18°效果相当。

因此，随着站点高度的增加以及站点间距的减小，需要设置更大的下倾角，天线才能进行有效的网络覆盖。在实际工程中，更大的下倾角需要由电子下

表1 基站天线降高和调整俯仰角覆盖效果对比

原基站站高/m	天线型号	机械倾角/°	预制电下倾角/°	电下倾角/°	总倾角/°	站高/m	需调整降高度/m	覆盖范围/m
50	普通基站天线	8	0	0	8	28	22	199
	大倾角基站天线		3	3	14	50	0	200
70	普通基站天线		0	0	8	28	42	199
	大倾角基站天线		3	8	19	70	0	203
100	普通基站天线		0	0	8	28	72	199
	大倾角基站天线		3	15	26	100	0	203

注：主瓣覆盖距离控制在200m左右；为保证波瓣不变形，机械倾角均为8°。

倾角与机械下倾角相结合的调节方式实现，如20°下倾角可以由10°电子下倾角加10°机械下倾角实现。某些站点的天线需要被设置为25°甚至更大的下倾角度，但是普通电调基站天线的下倾角调节范围一般为10°左右，且较大的机械下倾角将会导致网络覆盖区域严重畸变<sup>[8]</sup>，对相邻扇区造成干扰，影响切换并降低网络容量，从而严重降低了网络性能。所以，更换大下倾角电调天线是对高站越区覆盖场景进行网络优化的最有效解决方案。

## 5 大下倾角天线

大下倾角电调天线的预置角度采用与普通电调天线相同的原理，实现了天线在大下倾角时覆盖波束仍集中在本扇区内，避免了机械大下倾角时所带来的干扰问题。一般情况下电调天线倾角过大时，上旁瓣会明显增大，甚至出现波瓣分裂现象，产生越区干扰。针对此问题，某天线厂家经过大量波束赋形优化试验，对天线阵子线阵的功率、相位和间距关系进行优化控制，并成功实现对大下倾角时所产生的上旁瓣的有效抑制，令较大的上旁瓣产生在60°左右的位置，基本上避免了对实际覆盖效果的不良影响<sup>[9]</sup>。

## 6 方案实验

根据上文分析，确定选用一批大下倾电调天线进行实验。在国内某运营商现网进行外场试验，通过替换现网天线，对比分析大下倾角天线的可用性、控制覆盖能力和业务提供能力，测试使用路测与统计数据

相结合，长期数据为主、即时数据为辅的研究方案，实验步骤和验证方式如下：

根据实验要求，分别选择挂高85m的莆田大厦和挂高57m的世纪公寓这2个站点典型扇区进行实验，提取测试小区以及相邻小区的工参，包括天线的类型、厂家、方位角、下倾角、增益、小区ID、经纬度、小区载波功率配置等信息。按照同一路线、同一时段、同一车辆、同一组测试人员、同样的路测设备对LTE进行摸底路测，提取完备的无线信息；按照同一格式，提取LTE的网优、网管平台的MR（Measurement Report，测量报告）以及话统等统计数据（2周），在保证不影响现网的情况下更换2个测试站点选定扇区的LTE天线，使用LTE大下倾电调天线，保证更换前后天线方向角、下倾角一致，再分别以3+T13/3+T17/3+T20这3种步长进行LTE天线覆盖路测；综合覆盖需求及以上测试结果，首先恢复原天线倾角，提取网管平台统计数据进行对比分析，然后在原下倾角基础上压3°并提取网管平台统计数据进行分析，保证更换前后及下压3°后各取一周的数据，最后对比分析路测以及统计数据，得出结论并总结经验。

## 7 结果分析

本文分别对不同天线角度下LTE系统进行了路测分析，具体如图1至图4所示。路测是一种能够测试网络性能的最常用的方式，通过路测软件采集网络的及时数据，从这些数据可以分析出系统的性能。根据路

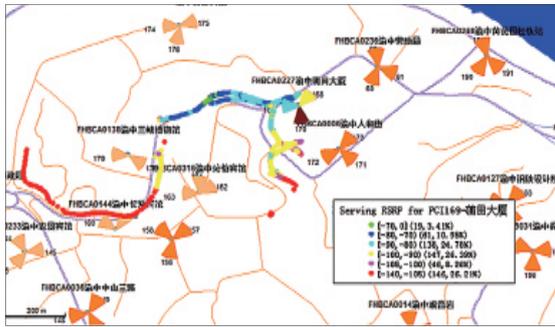


图1 更换前6+T10路测情况

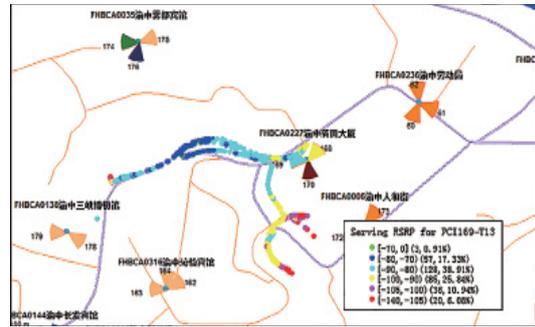


图2 更换后3+T13路测情况

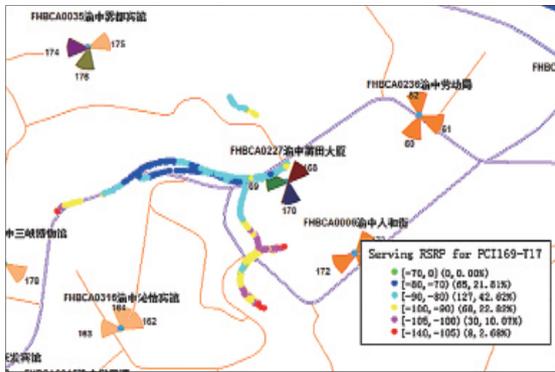


图3 更换后3+T17路测情况

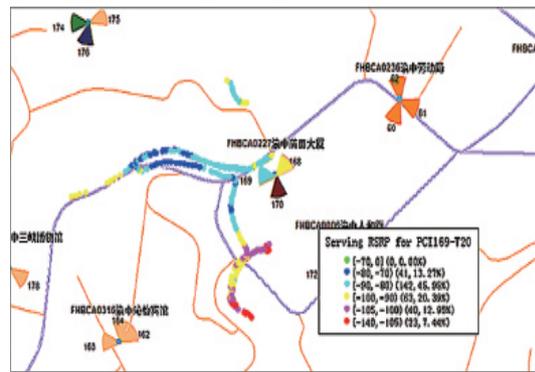


图4 更换后3+T20路测情况

测区域内越区小区信号强度的变化来判断大下倾天线对越区覆盖的改善情况。更换大下倾天线后，越区的小区信号强度在该区域应降低。

LTE主波束覆盖距离变化如表2所示：

表2 LTE主波束覆盖距离变化

下倾角	更换前 6+T10	更换后 3+T13	更换后 3+T17	更换后 3+T20
主波束覆盖距离/m	430	435	347	303

上述图表给出了天线更换前6+T10、更换后3+T13/3+T17/3+T20的路测数据情况。路测结果表明同样倾角设置下，大下倾角天线主波束覆盖略好于常规天线，覆盖波形均匀，无明显越区覆盖，随着下倾角的增大，主波束方向覆盖明显收缩，副瓣方向覆盖也同步减弱，与预期相符。

从MR数据的角度分析，更换天线后RSRP（Reference Signal Receiving Power，参考信号接收功率）的情况与更换前变化不大，压3°后，好/中/差点的占比变化明显，在2%内，更换天线后SINR（Signal to Interference plus Noise Ratio，信号与干扰加噪声比）值的情况与更换前变化不大，压3°后，好/中/差点的占比变化较大，提升了10%左右。以上数据说明，使用大下倾电调天线后，覆盖范围变小，覆盖效果提升，尤其是在压3°后变化更为明显。

从话务统计数据的角度分析，更换天线和压3°后，总呼叫成功率、PDP（Packet Data Protocol，分组数据协议）成功率基本不变（变化为0.6%左右），天粒度成功率也变化不大。更换天线后，本小区同角度和下压3°对应的PS（Packet Switching，分组交换）域接入用户数分别下降4%及30%；周边站PS域

平均接入用户略降4%，下压3°后，周边站接入用户数增加7.8%，这表明更换天线以及下压角度后本小区覆盖范围缩小。更换天线后，本小区CS（Circuit Switching，电路交换）话务量有2%的下降，流量基本不变，周边相邻小区平均CS话务量基本不变，单日PS流量降低9.3%，下压3°后，本小区话务量下降30%，流量下降27%，周边站CS话务量提高11%，单日流量提高5.5%，总体更换天线后覆盖收缩，覆盖质量得到提高。

更换高站站点再次以相同的步骤实验，结果也同样表明改善了覆盖效果，提升了网络性能。因此，实验表明使用大下倾角天线后，小区覆盖范围收缩，从而提升了覆盖效果及网络性能。

## 8 结束语

大下倾角天线除了运用在高站，还可以用于需控制覆盖的特殊场景：机械下倾角压太多，覆盖范围会发生波形形变而影响其他相邻基站场景；由于常规美化罩、灯杆塔罩体限制而无法调整天线倾角场景；密集城区由于站距过小需控制重叠覆盖区域场景；部分安装天线位置受限，如室内窗户旁安装天线而无法调整机械下倾角；Small Cell<sup>[10]</sup>宏微协同组网需控制越区覆盖等场景。

同时，在应用大下倾角天线时，需结合自身站高、周边环境及站点部署情况对天线挂高、下倾角设置进行合理规划，避免造成过度重叠覆盖、覆盖不足或越区干扰等问题。在部署大下倾角天线后，需对LTE的系统接入成功率、掉话率、接入用户数及其他覆盖指标进行跟踪观察，根据问题及时调整下倾角设置及天线其他参数设置。

## 参考文献：

- [1] 金志坚. LTE无线网络优化思路探讨[J]. 移动通信, 2014(20): 9-13.
- [2] 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.
- [3] 戚文敏,公伟,杜援. 浅析基站规划对WCDMA系统中掉话的影响[J]. 山东通信技术, 2014(2): 20-23.
- [4] 罗春燕,庞展,黄帮明. TD-SCDMA网络中越区覆盖的分析及解决方案的研究[J]. 移动通信, 2013(14): 9-14.
- [5] 崔文佳. 河南联通WCDMA无线网络优化[D]. 北京: 北京邮电大学, 2010.
- [6] 张霞,张祎挺,留黎钦. CDMA网络越区覆盖问题的研究[J]. 莆田学院学报, 2010(5): 70-74.
- [7] 朱裔哈. 基于TD-LTE蜂窝网络的覆盖规划及性能研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2014.
- [8] 杨明霞. 关于CDMA超高基站电调天线的应用[J]. 硅谷, 2011(13): 134-135.
- [9] 梁松柏,何雪峰,宋安伟. 基于大下倾角天线的原理及应用分析[J]. 邮电设计技术, 2015(10): 25-30.
- [10] 金勇. 中国联通Small Cell建网策略[J]. 电信技术, 2012(S2): 99-102. ★

## 作者简介



金勇：高级工程师，硕士毕业于电子科技大学，现任中国联合网络通信有限公司重庆市分公司网建部副总经理，主要研究方向为移动通信网络规划与优化。



方志林：硕士就读于重庆邮电大学，主要研究方向为移动通信网络规划与优化。

# 基于网络安全考虑的城域网设计分析

肖江涛<sup>1</sup>, 薛其林<sup>2</sup>, 窦勇<sup>2</sup>

(1. 中国移动通信集团设计院有限公司山东分公司, 山东 济南 250101;  
2. 广州杰赛科技股份有限公司, 山东 济南 250004)

**【摘要】** 主要根据有线通信规划设计实际案例的经验, 对城域网规划设计部分进行可行性、细节化的方案分析。以网络安全稳定为主线, 依托于网络现状, 制定出城域网规划及设计方案。通过从有线通信划分为设备侧和线路侧方面入手, 对可能影响网络安全的因素进行逐一分析, 并得出合理的解决设计方案。

**【关键词】** 城域网 核心层 汇聚层 接入层 网络安全

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.003 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0014-04  
引用格式: 肖江涛, 薛其林, 窦勇. 基于网络安全考虑的城域网设计分析[J]. 移动通信, 2016, 40(2): 14-17.

## Design and Analysis of Metropolitan Network Based on Network Security Factor

XIAO Jiang-tao<sup>1</sup>, XUE Qi-lin<sup>2</sup>, DOU Yong<sup>2</sup>

(1. China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Shandong Branch, Jinan 250101, China;  
2. GCI Science & Technology Co., Ltd., Jinan 250004, China)

**[Abstract]** According to the practical cases of wired communication planning design, the feasibility and detail of the solution of metropolitan area network design were analyzed. A planning and design solution of metropolitan area network was drawn up based on network security, stability and conditions. In the light of equipment and circuit of wired communications, the possible factors to affect network security were analyzed on by one to present the feasible design solution.

**[Key words]** metropolitan area network kernel layer aggregation layer access layer network security

## 1 引言

随着时代的发展, 信息量呈现爆棚态势, 用户对网络的要求也越来越高, 给城域网带来了前所未有的压力。为了提升有线通信网络的承载能力, 城域网在整个建设过程中有着举足轻重的地位。

现阶段, 国家出台多项关于带宽提速政策, 有线通信网络将逐步实现全光纤化, 个别地区已实现全光网络。在一个地区, 城域网容纳成百上千条各种类型的末端接入工程。由于整个有线通信网络非常庞大, 为避免大面积、大范围的网络故障和网络瘫痪, 整个网络的安全稳定性至关重要。因此, 各单位开始通过对城域网设备侧和线路侧进行新建、扩容、升级等方式, 来提升整个有线通信网络的容量和安全稳定性。

收稿日期: 2015-06-29

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

## 2 整网划分

按照现有工程设计来划分，城域网规划设计分为设备侧和线路侧两部分。它们之间相辅相成，不可能独立存在。独立存在将失去其真正存在的意义，也将失去其使用的价值。每个方面都存在各自可提高的安全稳定方式，下面将进行具体分析探讨。

### 2.1 设备侧

城域网网络结构从上至下分为核心层、汇聚层、接入层。网络的安全稳定性由高到低进行规划设计。

#### (1) 核心层

核心层是整个城域网最重要的部分，其安全性非常重要，规划设计过程中要在保护措施方面进行充分的考虑。以山东某地市核心层网络结构图为例，如图1所示：

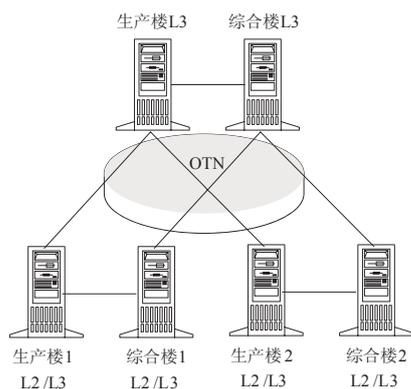


图1 山东某地市核心层网络结构图

具体如下：

4G初期，地市公司重新对整网结构进行规划设计。为满足网络带宽需求，引入某一厂家，具备大容量、高交叉能力的高端PTN（Packet Transport Network，分组传送网）设备，进行核心层布局。综合考虑城市发展、业务需要、机房条件等，合理选取两个核心局点。如图1所示，每个核心局点有三套设备，其中L3各一套，L2/L3各两套。所属的网络层次不同，在整网中起的作用也是不同的。采取双节点上联方式（双归），增加了核心层的安全可靠性。同时，在L3和L2/L3设备不同局址之间新引入大颗粒OTN（Optical Transport Network，光传送网）设备。通过

对网络结构的重新调整及高端设备的引入，使得核心层具备双归特性，同时具备设备级和网络级保护。

#### (2) 汇聚层

汇聚层分为城区汇聚、市到县汇聚、县到乡汇聚这3种场景。

◆城区汇聚：汇聚节点间距离相对较短，人口密集程度高，业务相对集中。现阶段，每个业务区对应一个汇聚节点，覆盖区域已划分固定，并形成完整的一片业务区。方案实施的具体原则采取跳点方式，地理位置间断组网。

汇聚点在地理位置上是跳跃式组网，并且上联至不同的L2/L3 PTN设备。不同区域范围内数据上行链路是不一样的，个别站点故障不会导致整网故障。假设某个汇聚点因为出现故障问题完全瘫痪，此汇聚业务区将会出现掉站等业务中断事件。但相邻汇聚点及其所带站点依然正常工作，靠近瘫痪汇聚点附近的站点将承担一部分瘫痪汇聚点片区的基站业务，尽量弥补故障汇聚点完全瘫痪带来的影响，不会出现大面积的瘫痪事件。城区汇聚具备双归、设备级、网络级保护特性。

◆市到县汇聚：市区与县区之间距离较远，业务在县区内集中。通过裸纤或OTN系统上联至市区公司，解决各个县区的上行通道，并提供足够稳定的带宽需求。市到县汇聚整体从安全性角度出发，在每个县区选取两个上联点，须符合以下条件：在县区范围内，位置分布合理；业务集中且机房条件优秀；资源丰富、接入方便等。同时，在市区至县区设备不同局址之间新引入大颗粒OTN设备。市到县汇聚具备双归、OTN、设备级、网络级保护特性。

◆县到乡汇聚：县区与乡镇之间距离适中，主业务在乡镇集中。现阶段，此部分压力的最大来源为农村宽带接入，给县乡汇聚层带来不小的建设需求。县乡汇聚规划设计类似市到县汇聚，采取乡镇地理位置分区，分别上联至县区汇聚设备。部分大型乡镇在有条件的情况下，可引入粗波分进行分担流量和保护。县到乡汇聚具备双归、设备级、网络级保护特性。

#### (3) 接入层

接入层组网方式类似于城区汇聚方式，采取跳点

思路。在条件满足的情况下，通过双路由分别上联至县区1、2两套设备。同一方向上，将接入层设备分开组网。这样就不会出现某一环路出现故障导致整条瘫痪，会在跳点位置给予补充，为保障接入层的网络安全增加了一道防线。

## 2.2 线路侧

城域网线路侧规划设计需关注特定的易发生故障点，从而提高整网的安全稳定性。

### (1) 核心层

核心局点之间原有两条出局方向不同的光缆路由，为增加核心层在物理路由上的安全可靠性，引入第三、四路由，新增两侧不同出局方向。同路由部分，在道路另一侧新建管道资源。整体形成四纵四横的安全网络结构。

### (2) 汇聚层

汇聚层也分为城区汇聚、市到县汇聚、县到乡汇聚这3种场景。

◆城区汇聚：城区汇聚节点要求选取至少两条不同出局路由，汇聚机房之间通过不小于48芯光缆连接。汇聚机房与本业务区光交之间通过144芯光缆形成环状结构，经验建议机房和光交比例为1:5。

◆市到县汇聚：市到县汇聚光缆出局路由至少2条，有条件的可按核心节点方式选取4条出局方向，光缆芯数要求不小于96芯。

◆县到乡汇聚：近年来，新建资源经过农田等地赔偿费大幅升高，单独乡镇形成对县区汇聚点的

由比较困难。县区至乡镇一般依托于乡镇主道，将处于同一方向上的乡镇节点连接起来组成一个回环，形成路由上的双向保护。

### (3) 接入层

接入层设计类型较多，包含基站、集团专线、家庭客户等。每种类型接入选取光缆芯数类型及接入方式应依据地市和客户需求综合考虑，结合各类客户的重要性选取保护措施。具体如图2所示。

## 3 结束语

随着城市规模的发展变化，人口城镇化、集中化将是一种时代的趋势，移动通信领域中的城域网也将迎来一次飞速发展的过程。保证和满足客户对网络的需求以及整网的安全稳定，是规划设计中需要重点考虑的问题。

通过对实际设计方案的探讨，设备级的安全稳定性是对各个厂商提出的要求。同时，引入不同系统进行分担和传送数据，以及合理地规划网元布局和网络结构，都会对整网的安全给予可靠保护。每地市建议设置一对L3 PTN设备、一对或多对L2/L3 PTN设备。对存在多个厂家PTN设备的地市，每个厂家的设备至少各自设置一对L2/L3 PTN设备。L2/L3 PTN设备通过核心层OTN系统10GE通道或者裸纤实现与L3 PTN设备的上联。

线路侧的安全性需从实地物理角度出发，避免和杜绝一处故障全盘瘫痪的问题存在。从关键点出发考

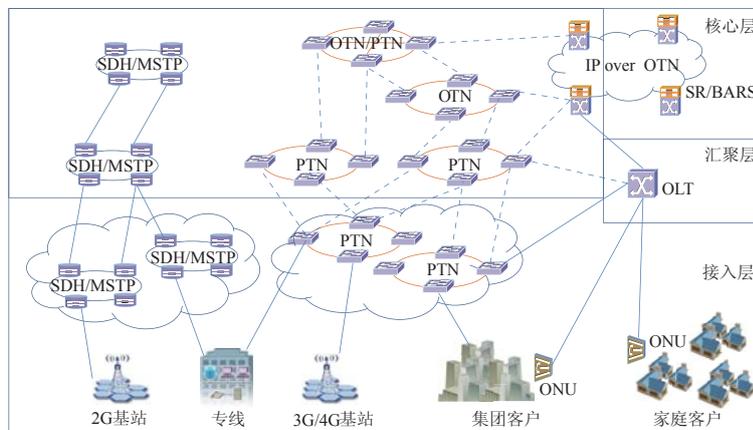


图2 山东某地市接入层示意图

虑，深入整网改造提高，两个方面的结合进一步使得整个城域网的安全性和稳定性有所提高。

## 参考文献：

- [1] 陈运清,毛东峰,徐向辉,等. 城域网组网技术与业务运营[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [2] 师严,张沛,王健全,等. 分组城域网演进技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [3] 余少华,陶智勇. 城域网多业务传送理论与技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [4] 谢桂月,陈雄,曾颖. 有线传输通信工程设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [5] 佟卓,谢宇晶,尹斯星. 宽带城域网与MSTP技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [6] 龚倩,邓春胜,王强,等. PTN规划建设与运维实战[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [7] 杨云江,蒋平. 组网技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [8] 张玉兰,张召贤. 组网技术与网络管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [9] 赵启升. 网络规划与设计[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2011.
- [10] 师雪霖,赵英,马晓艳. 网络规划与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.★

## 作者简介



肖江涛：学士毕业于济南陆军学院，现任中国移动通信集团设计院有限公司山东分公司项目总负责人，长期从事有线传输通信技术网络规划、设计工作，具有丰富的实践经验和理论知识。



薛其林：学士毕业于重庆邮电大学，现任广州杰赛科技股份有限公司项目经理，长期从事有线传输通信技术网络规划设计、优化工作，具有丰富的实践经验和理论知识。



宴勇：学士毕业于武汉理工大学，现任广州杰赛科技股份有限公司单项负责人，长期从事有线传输通信技术网络规划、设计工作，具有丰富的实践经验和理论知识。

## 2015年通信设备行业实现销售产值同比增长13.2%

近日，工信部公布《2015年1—12月电子信息制造业运行情况》。

据悉，2015年1—12月，我国通信设备行业实现销售产值同比增长13.2%，低于去年同期3.4个百分点，内销产值同比增长18.6%，高于去年同期2.2个百分点。

数据显示，2015年1—12月，我国电子信息制造业的销售产值同比增长8.7%，内销值同比增长17.3%。

从内外销角度看，1—12月，规模以上电子信息制造业内销产值同比增长17.3%，出口交货值同比下降0.1%。

从内外资角度看，1—12月，内资企业的销售产值同比增长17.8%，港澳台投资企业销售产值同比增长8.3%，外商投资企业销售产值同比下降0.1%。

从收入和利润角度看，1—11月，电子信息制造业全行业实现主营业务收入99 684亿元，同比增长8%，实现利润4 652亿元，同比增长11.5%。（飞象网）

# 基于800MHz频段的LTE网络规划研究

张超, 李荣, 蒋晓虞, 张磊

(江苏省邮电规划设计院有限责任公司, 江苏 南京 210019)

**【摘要】** 主要对基于800MHz频段的LTE网络规划进行了研究。首先对该频段下LTE制式的性能进行分析, 然后有针对性地对这些特性进行规划策略研究, 最后根据3个不同地市的具体情况给出了更为细致的规划方案。这不仅说明了800MHz LTE网络能够适应当前的LTE商用网络的发展, 而且能够在满足用户需求的情况下, 为运营商节约大量的投资。

**【关键词】** 800MHz LTE 网络规划 隔离区域

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.004 中图分类号: TN929.53 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0018-05  
引用格式: 张超,李荣,蒋晓虞,等. 基于800MHz频段的LTE网络规划研究[J]. 移动通信, 2016,40(2): 18-22.

## Research on LTE Network Planning at 800MHz Frequency Band

ZHANG Chao, LI Rong, JIANG Xiao-yu, ZHANG Lei

(Jiangsu Post & Telecommunications Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210019, China)

**[Abstract]** LTE network planning at 800MHz frequency band was mainly researched in this paper. Firstly, the performance of LTE mode at the band was analyzed. Then, the planning strategy was discussed according to the performance. Finally, the detailed planning solutions were presented according to the specific situations of three different cities. It demonstrates that 800MHz LTE network not only adapts to the development of LTE commercial networks at present, but also saves large amounts of operators' investment at premise of guaranteeing user's requirements.

**[Key words]** 800MHz LTE network planning isolation region

## 1 引言

随着LTE网络用户数的增长, 运营商需要不断加强LTE网络的覆盖和承载。而LTE无线网络是依据当前网络的能力及用户的发展趋势, 并评估网络需求规模和市场推广策略而进行规划建设的。

众所周知, 在无线网络中, 由于无线信号的传播特性, 低频段的网络覆盖效果要优于同等条件下的高频段, 因此如何利用现有的低频段资源是运营商迫

切需要解决的问题。随着LTE网络拓扑逐渐成型, 原有的2G/3G用户保有量将逐渐下降; 在可以预见的未来, 利用现有的2G/3G无线网基站完善LTE网络拓扑将会为运营商节约相当数量的无线网络建设费用。需要说明的是, 现网站点的利旧策略对LTE网络建设并非未来式的方案, 如果应用得当, 也能够为当下LTE的网络建设带来不可忽视的效益。

## 2 800MHz LTE的情况说明

### 2.1 800MHz LTE测试结论

LTE网络的性能指标在3GPP所给出的各种相关

收稿日期: 2015-08-27

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

协议中有详细说明，本文就不再赘述。下面通过分析800MHz LTE网络的部分测试结果，以数据说明其性能。

(1) 覆盖

无线网络的低频段信号在空间中的衰减是小于同等传播条件下的高频段信号的。图1为800MHz LTE 和1.8GHz LTE在空旷的农村场景下进行的覆盖性能对比测试结果。可以看出，每个测试点800MHz LTE的RSRP (Reference Signal Receiving Power, 参考信号接收功率) 都优于1.8GHz LTE。在RSRP为-100dBm附近时，800MHz LTE覆盖半径约为2.8km，1.8GHz LTE覆盖半径约为1.35km，后者约为前者的1/2。测试结果证明，实际情况和理论分析接近，800MHz下的LTE网络覆盖性能优于1.8GHz LTE，前者的覆盖面积约为后者的4倍，仅在站址建设上就能够节约70%以上网络建设成本。

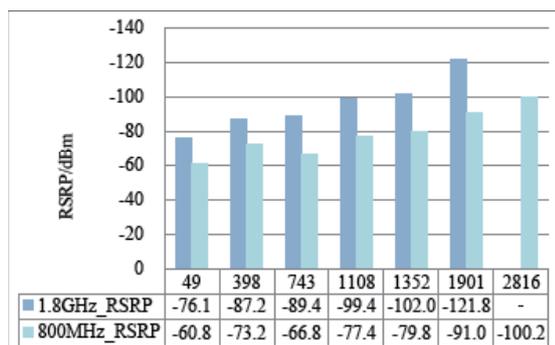


图1 800MHz LTE和1.8GHz LTE覆盖距离参数对比图

(2) 传输速率

根据当前800MHz网络能够利用的资源现状，这里的测试考虑单小区5M带宽的情况。

正常情况下，用户在LTE小区中，与基站的距离和其接收的信号是反相关关系。由于800MHz LTE的覆盖半径大于1.8GHz LTE，无法直接对比两者的传输速率，这里定义小区中近点、中点和远点如表1所示：

表1 LTE小区中近点、中点和远点定义

定义	RSRP/dBm		SINR/dB	
	下限	上限	下限	上限
近点	-90	-85	20	25
中点	-95	-90	10	15
远点	-100	-95	3	10

测试中，800MHz LTE的上下行空载传输速率如表2所示。考虑到干扰等其他因素，传输速率基本和1.8GHz LTE网络下的传输速率持平。因此，在同等条件下，800MHz LTE能保证与1.8GHz LTE同样的传输速率。

表2 800MHz LTE近点、中点和远点的上下行空载传输速率

	下行空载传输速率/Mbps	上行空载传输速率/Mbps
近点	34.00	10.40
中点	16.48	8.90
远点	5.36	2.59

(3) 与其他网络制式间的切换

无线网络的覆盖很难做到“一蹴而就”，在不同网络制式间的切换性能往往决定一个新的网络制式能否在新的环境中生存下来。

测试结果表明，800MHz LTE与800MHz CDMA间、800MHz LTE与1.8GHz LTE间的互操作成功率为100%，而且切换的时延对用户的感知影响可以忽略不计。因此，在现有的技术条件下，800MHz LTE是能够与800MHz CDMA和1.8GHz LTE共存的。

2.2 800MHz LTE适用场景及产业链

自LTE网络在国内投入商用以来，网络拓扑已逐渐成型，以高业务量区域为中心向四周延伸，最终实现LTE网络的全覆盖。目前高频段的LTE网络已经覆盖了人口相对密集的城区、县城等地区，下一步将会对有覆盖需求但是容量需求有限的区域（如农村区域）进行覆盖。

针对此类需求，建议使用低频段进行覆盖。首先，由于低频段的覆盖半径大、面积广，因此能够减少不必要的站址建设，缩减投资；其次，低频段（800MHz）相比高频段（1.8GHz）的劣势主要在于其带宽较窄，而目标覆盖区域的容量需求有限，低频段的容量已经能够满足其要求；最后，在网络建设的后期，随着农村区域的容量需求增加，同样可以通过高频段网络覆盖的方式进行扩容，实现两张网络对高传输速率需求区域的覆盖。因此，800MHz LTE在LTE网络大建设的当下有着广阔的前景。

需要说明的是，上文中测试使用的800MHz LTE的基站端设备在生产厂家已有规模生产能力。但是国

内仅有苹果、三星、金立少数厂家有支持CDMA+LTE（800MHz/1.8GHz/2.1GHz）的终端，没有形成成熟的体系，同时国家尚未给运营商颁发800MHz频段LTE的使用许可，因此800MHz LTE网络投入商用还有相当长的一段路要走。

### 3 800MHz LTE的策略

#### 3.1 800MHz LTE频段配置方案

目前800MHz CDMA使用的频段为825—835MHz（上行）和870—880MHz（下行），上行和下行各有7个频点共计10MHz的带宽。从国内的一般情况出发，还有相当一部分基站占用的频点数量小于3个，这部分基站主要集中在话务量不太高的农村、道路、镇区等，这就给800MHz LTE提供了足够的生存空间。因为一般LTE带宽达到5M就能够满足用户的基本需求，一个CDMA载波为1.25MHz，那么如果能够在800MHz频段上空出4个连续的CDMA载波，就能够实现800MHz LTE。

针对这一特性，对于国内的800MHz频谱分配方案，一般有以下典型的应用800MHz LTE的频段配置解决方案：

（1）“下边缘”方案。如图2所示，此方案需要将LTE的5M带宽放置在该频段的下边缘，将承载语音和数据业务的两个载频放置在该频段的上边缘，并形成一个宽约为1个载频的隔离频带。

（2）“三明治”方案。如图2所示，此方案需要将LTE的5MHz带宽放置在该频段中间位置，将承载语音和数据业务的两个载频分别放置在该频段两侧，数据业务与LTE直接相连，语音业务与LTE形成宽为1个载频的隔离频带。

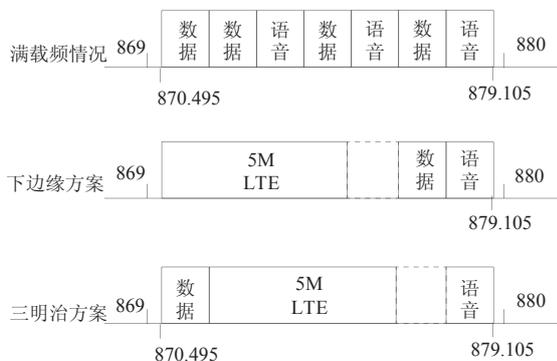


图2 频段配置解决方案示意图

#### 3.2 800MHz LTE站址配置方案

上述方案中，基站需要保证CDMA至多使用3个载频，才能够满足在频率上CDMA与LTE网络的相对独立。同时，测试结果表明，为了不影响800MHz LTE的效果，使用超过4个载频的CDMA站点需要和800MHz LTE站点至少有两层站点的物理空间隔离（一般为10km左右）。

网络站点的规划建设的可行性取决于网络建设的投资和网络的性能指标。一方面，基站的数量、设备类型、天馈设计等决定建设投资；另一方面，网络的性能是由网络的覆盖能力和网络的容量所决定的。因此，对于某一区域进行LTE覆盖的问题可以用如下数学模型表示：

$$\begin{aligned} \max. \quad & W = \lambda_F F(N_{\text{soon}}, N_{1.8G}) + \lambda_P P(N_{\text{soon}}, N_{1.8G}) \\ \text{s. t.} \quad & \lambda_F + \lambda_P = 1 \\ & 0 \leq \lambda_F, \lambda_P \leq 1 \end{aligned} \quad (1)$$

其中， $W$ 是针对该问题设定的网络效益值； $F(\bullet)$ 、 $P(\bullet)$ 分别表示投资相关函数和网络性能相关函数； $N_{\text{soon}}$ 、 $N_{1.8G}$ 分别表示对该区域覆盖的800MHz LTE站点数和1.8GHz LTE站点数。

需要说明的是：

$$F(\bullet) = (\text{目标投资额} / \text{实际投资额})^2 \times 100\% \quad (2)$$

$$P(\bullet) = \eta_C (\text{目标覆盖面积} / \text{实际覆盖面积})^2 \times 100\% + \eta_K (\text{目标性能指标} / \text{实际性能指标})^2 \times 100\% \quad (3)$$

其中，网络建设的投资一般与所建设的站数成正比比例关系，而网络性能分为面积覆盖和网络性能指标两个部分（令 $\eta_C + \eta_K = 1$ ），一般与基站数量的平方成正比比例关系，为了保证两个参数的一致性，因此将 $F(\bullet)$ 和 $P(\bullet)$ 设定为如上形式。

通常在无线网络规划中，运营商一方面希望网络的投资能够在可控的范围之内，另一方面则希望网络能够满足尽量多的用户需求，转化为数学问题如式（1）所示。由于网络的效益值是一个受人为因素影响较大的值，在对网络需求较高时，可以适当调整其在网络效益值函数中的占比，反之亦然。

同样的，在网络建设的不同阶段，运营商对网络的性能要求也不可能完全相同。对于式（2），在建网初期，覆盖目标中的大多数区域尚未组网覆盖，主要希望以面积覆盖保证相关的网络性能，因此 $\eta_C \gg \eta_K$ ；

在建网中期，主要针对目前区域中尚未覆盖和需要深度覆盖的区域，一般 $\eta_c \approx \eta_k$ ，两个系数的占比为同一数量级；在建网后期，目标区域已覆盖，此时的网络规划主要面向投诉集中或客户有需求的区域，一般 $\eta_c \ll \eta_k$ 。目前LTE网络尚处于初期阶段，主要考虑的是网络的覆盖性能，因此在本次研究中， $\eta_c=1$ ， $\eta_k=0$ 。

LTE在800MHz频段上的覆盖性能远远优于同等条件下的1.8GHz网络，但是由于其只有5MHz带宽，因而其网络性能大大受限。800MHz LTE可以实现理论峰值37.5Mbps的覆盖能力，能够满足业务量较低的农村数据需求。根据工程建设的实际情况，1.8GHz LTE站点和800MHz LTE站点的建站费用基本相同，同时 $F(\bullet)$ 和 $P(\bullet)$ 都与所建的站数成正相关关系。因此，为了达到网络规划效益值的最优，在条件允许的情况下，需要尽可能地选择建设800MHz LTE站点，以满足覆盖需求。

### 3.3 800MHz LTE建设建议

网络的覆盖性能通常和所在的频段相关，而与网络制式相关性较低。因此，800MHz频段下的LTE无线网络与CDMA网络的覆盖性能接近。在可以选择使用800MHz LTE进行覆盖的区域，可以完全利旧原有的CDMA基站，而不需要额外增加基站。

考虑到800MHz LTE的性能特点和建设方案需求，建议在农村区域、道路附近使用该方案。

## 4 800MHz LTE的规划

根据上述的理论分析，本文明确了800MHz LTE的网络性能、覆盖目标和配置方案，但具体到每个本地网的情况，需要依据实际情况给出更加详细的方案。下面以A、B、C这三个典型地市为例，给出3种类型的800MHz LTE规划方案。

### 4.1 A地市场景

该地市经济较为发达，在CDMA的网络建设中，由于用户对话务量和传输速率的需求较高，已使用4个及以上CDMA频点的宏站数量占到全网站点数的70%以上，考虑到800MHz LTE的站点与800MHz CDMA站点间需要有一定距离的隔离区域，因此满足800MHz

LTE建设条件的站点数量不足全网站点的15%。

同时，考虑到该地市1.8GHz LTE网络建设的进展较快，已覆盖了全市80%以上的有效区域。需要注意的是，一般能够进行800MHz LTE站点都位于话务量和传输速率需求较低的农村区域，对于已有1.8GHz LTE覆盖的区域再进行800MHz LTE覆盖，显然是对网络资源的浪费，因此A地市不考虑800MHz LTE的网络部署。

### 4.2 B地市场景

B地市正处于快速的经济建设阶段，农村区域较大，全网CDMA站点的频点使用率较低，1.8GHz LTE覆盖范围较小，因而在农村有大量可以进行800MHz LTE建设的站点。细化的建设方案如图3所示：

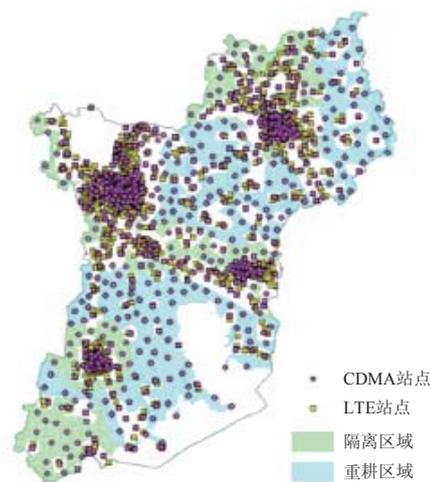


图3 B地市场景800MHz LTE建设方案示意图

其中，蓝色区域为可进行800MHz LTE建设的农村区域；绿色区域为隔离区域。目前农村区域尚未进行LTE覆盖，800MHz的覆盖能够很好地满足农村区域的业务需求。建设区域需要将已经覆盖1.8GHz LTE的乡镇站点排除，这样既能够节约投资，又能够有重点、有目的地完成区域的全覆盖。

### 4.3 C地市场景

C地市的情况与B地市类似，但是由于C地市的乡镇更多且更分散，因此800MHz LTE建设区域很难成片，该地市的建设方案将涉及及部分1.8GHz LTE站点的

搬迁情况。

如图4所示，蓝色区域是已考虑隔离区域之后进行800MHz LTE建设的区域，其中包含了部分已建设的1.8GHz LTE站点。该地区将保留传输速率需求较高乡镇的1.8GHz LTE站点，其余站点则替换为800MHz LTE站点。

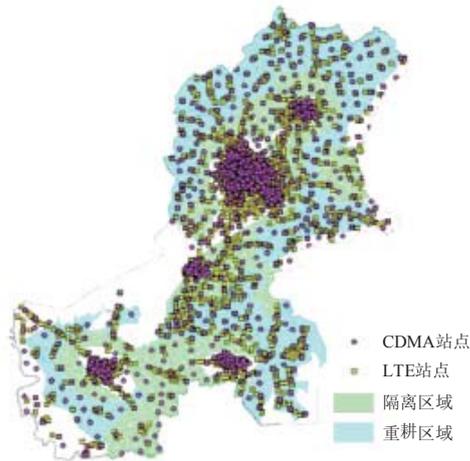


图4 C地市场800MHz LTE建设方案示意图

## 5 结束语

本文对800MHz频段的LTE规划进行了研究和说明，并对3个不同地市的具体情况进行了细化方案的分析。通过本文的研究可知，800MHz LTE是实现广度覆盖的一个优先选择，同时也是未来4G网络一个重要的组成部分，在未来的LTE网络中有着不可替代的重要作用。

## 参考文献：

- [1] 曾召华. LTE基础原理与关键技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2010.
- [2] 汪丁鼎,朱东照,肖清华. TD-LTE和LTE FDD混合组网实施策略[J]. 移动通信, 2013(21): 22-26.
- [3] 黄少杰. 浅谈LTE FDD与CDMA室内分布系统混合组网建设方案[J]. 中国电子商务, 2014(22): 55.
- [4] 蒋晓虞,刘远高. 基于800M频段建设4G网络的策略[J]. 电信快报, 2014(9): 15-18.
- [5] 金超,李斌江. 中国电信CDMA网络次800M频段使用探讨[J]. 移动通信, 2012(19): 65-68.

- [6] 赵东. 800M数字集群通信的应用[J]. 科学之友, 2011(36): 44-45.
- [7] 周瑶,聂昌,王伟,等. 关于700MHz频段用于LTE网络的研究与探讨[J]. 邮电设计技术, 2015(7): 36-40.
- [8] 魏向阳. 基于覆盖LTE700的手机天线设计的文献综述[J]. 工业控制计算机, 2015(2): 21-22.
- [9] Cihangir A, Sonnerat F, Ferrero F, et al. Neutralisation technique applied to two coupling element antennas to cover low LTE and GSM communication standards[J]. Electronics Letters, 2013,49(13): 781-782.
- [10] Jinping Niu, Daewon Lee, Xiaofeng Ren, et al. Scheduling Exploiting Frequency and Multi-User Diversity in LTE Downlink Systems[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013,12(4): 1843-1849. ★

## 作者简介



张起：工程师，硕士毕业于东南大学，现任职于江苏省邮电规划设计院有限责任公司，主要从事无线网络规划方面的研究工作。



李荣：工程师，硕士毕业于南京邮电大学，现任职于江苏省邮电规划设计院有限责任公司，主要从事信息项目管理咨询方面的研究工作。



蒋晓虞：高级工程师，硕士毕业于东南大学，现任职于江苏省邮电规划设计院有限责任公司，主要从事无线网络规划、优化等方面的研究工作，曾多次获得省级、部级优秀设计和优秀咨询奖项，拥有专利两项。

# 基于驻波比测试的室内分布系统 干扰分析及处理方法

贾卡乐, 张晨, 肖可

(武汉虹信技术服务有限责任公司, 湖北 武汉 430205)

**【摘要】** 干扰控制是多系统合路的室内分布系统的主要技术难点。针对室内分布系统的特点, 分析了其主要的干扰因素, 重点研究了驻波比对于干扰的影响, 指出了室内分布系统驻波比测试的特殊性及现行驻波比验收标准存在的问题, 并提出了一种基于驻波比测试的故障定位及干扰处理方法。通过工程实践表明, 该方法能够快速有效地解决室内分布系统的干扰问题。

**【关键词】** 室内分布系统 多系统合路 干扰 驻波比

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.005 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0023-05  
引用格式: 贾卡乐, 张晨, 肖可. 基于驻波比测试的室内分布系统干扰分析及处理方法[J]. 移动通信, 2016, 40(2): 23-27.

## Indoor Distribution System Interference Analysis and Processing Method Based on VSWR Testing

JIA Ka-le, ZHANG Chen, XIAO Ke

(Wuhan Hongxin Technical Services Co., Ltd., Wuhan 430205, China)

**[Abstract]** Interference control is the main technical difficulty of indoor distribution system with multi-system combination. Based on features of indoor distribution system, key interference factors were analyzed in this paper. The impact of Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) on interference was studied in depth. The specificity of indoor distribution system's VSWR testing and some problems of current VSWR acceptance criteria were pointed out. Furthermore, a fault location and interference processing method based on VSWR testing was proposed. Engineering practice shows that the proposed method can effectively deal with interference of indoor distribution system.

**[Key words]** indoor distribution system multi-system combination interference VSWR

## 1 引言

2014年7月18日, 中国移动通信有限公司、中国联合网络通信有限公司和中国电信股份有限公司共同出资设立的铁塔公司正式挂牌成立。其后, 工信部和国资委在2014年12月末向各地通管局、三大运营商及铁塔公司发文《关于2015年推进电信基础设施共建共享的实施意见》中重申了铁塔公司的职责: “建设铁

塔等基站配套设施, 以及地铁、铁路、高速公路、机场、车站等公共交通类重点场所和大型场馆、多业主共同使用的商住楼、党政机关等建筑楼宇类重点场所的室内分布系统”, 明确从2015年1月1日起, 上述室内分布系统由铁塔公司负责建设。

室内分布系统有别于室外宏基站, 多运营商多系统不仅仅是共享机房等配套设置, 其天馈系统也共享, 由于室内分布天馈系统的器件、支路多, 这就会导致室分系统的干扰问题较宏站更为复杂, 其干扰控制与排查也成为共建共享的关键技术问题, 决定了室

收稿日期: 2015-12-29

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

内分布系统的实际运行效益。

## 2 室分干扰简析

无线通信系统常见干扰按来源可分为内部干扰与外部干扰，按传输方向可分为上行干扰与下行干扰，本文主要以室内分布系统的内部的上行干扰为研究对象，其主要包括：互调干扰、杂散干扰与阻塞干扰。

### 2.1 互调干扰

室内分布系统中，PIM（Passive Inter Modulation，无源互调）主要是由室内分布系统中的各种无源器件、天线、接头及馈线的非线性特性而引起的。从传输方向上，互调可以分为反射互调与传输互调，对室内分布系统而言，影响无线通信系统的主要为反射互调干扰，它是由下行信号的互调产物落在上行频段内，经

由分布系统反射回基站而形成干扰。

多系统合路时，会有较多的互调产物落在系统上行频段，在分布系统互调抑制指标较差的情况下会对系统造成较大的干扰。

各运营商室分系统所使用的主要频段如表1所示：

表1 室分主要系统及频段

网络制式	上行频段/MHz		下行频段/MHz	
	起	止	起	止
中国电信CDMA	825	835	870	880
中国移动GSM	890	909	935	954
中国联通LTE1.8G	1745	1765	1840	1860
中国电信LTE1.8G	1765	1785	1860	1880
中国联通WCDMA	1940	1955	2130	2145
中国移动TD-LTE	2320	2370	2320	2370

室内分布系统主要三阶互调产物如表2所示：

表2 室内分布系统主要互调产物表

输入信号频率		开始频率	870	935	1840	1860	2130	2320					
		截止频率	880	954	1860	1880	2145	2370					
开始频率	截止频率	互调产物起止频率		互调产物起止频率		互调产物起止频率		互调产物起止频率					
870	880	860	890	786	825	-							
935	954	925	964	851	899	-							
1840	1860	1830	1870	1756	1805	850	900	830	880	565	610	340	420
1860	1880	1850	1890	1776	1825	870	920	850	900	585	630	360	440
2130	2145	2120	2155	2046	2090	1140	1185	1120	1165	855	895	630	705
2320	2370	2310	2380	2236	2315	1330	1410	1310	1390	1045	1120	820	930
935	954	990	1038	916	973	10	68	-10	48	-			
1840	1860	1895	1944	1821	1879	915	974	895	954	630	684	405	494
1860	1880	1915	1964	1841	1899	935	994	915	974	650	704	425	514
2130	2145	2185	2229	2111	2164	1205	1259	1185	1239	920	969	695	779
2320	2370	2375	2454	2301	2389	1395	1484	1375	1464	1110	1194	885	1004
1840	1860	2800	2850	2726	2785	1820	1880	1800	1860	1535	1590	1310	1400
1860	1880	2820	2870	2746	2805	1840	1900	1820	1880	1555	1610	1330	1420
2130	2145	3090	3135	3016	3070	2110	2165	2090	2145	1825	1875	1600	1685
2320	2370	3280	3360	3206	3295	2300	2390	2280	2370	2015	2100	1790	1910
1860	1880	2840	2890	2766	2825	1860	1920	1840	1900	1575	1630	1350	1440
2130	2145	3110	3155	3036	3090	2130	2185	2110	2165	1845	1895	1620	1705
2320	2370	3300	3380	3226	3315	2320	2410	2300	2390	2035	2120	1810	1930
2130	2145	3380	3420	3306	3355	2400	2450	2380	2430	2115	2160	1890	1970
2320	2370	3570	3645	3496	3580	2590	2675	2570	2655	2305	2385	2080	2195
2320	2370	3760	3870	3686	3805	2780	2900	2760	2880	2495	2610	2270	2420

注：表2中的数据单位均为MHz，填充部分为落在各系统上行频段上的互调产物。

## 2.2 杂散干扰

杂散干扰是一个系统下行频段外的杂散发射落入到本系统或其他系统的上行带内而造成的干扰，其本质上是同频干扰，在受干扰系统的上行接收端口无法滤除。杂散发射包含互调产物、谐波发射、寄生发射及变频产物等。杂散干扰会抬升被干扰系统的上行底噪，进而影响系统接收灵敏度及容量。

在室分系统中，杂散干扰产生的可能路径如图1所示（以LTE干扰3G为例）：

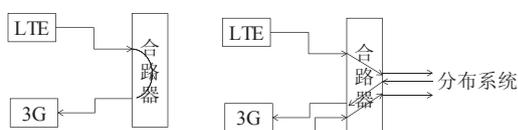


图1 杂散干扰路径

通过图1可以看出，左侧路径的杂散干扰主要通过合路器的端口隔离度来进行抑制，右侧路径的杂散干扰则需要通过合路器的带外抑制及分布系统的回波损耗来进行抑制。

## 2.3 阻塞干扰

阻塞干扰是指较强的信号进入基站接收端口，导致接收机过载，引起增益下降及波形变形，影响接收信号质量的干扰。

在多系统合路时，只要保证达到接收机输入端的强干扰信号功率不超过系统指标要求的阻塞电平，系统就可以正常工作。在一般的室分系统中，电桥以及合路器的隔离度能保证系统之间的阻塞干扰隔离度要求，该类问题较少出现。

# 3 室分系统驻波比分析

## 3.1 驻波比的定义

在无线电通信中，当天线、馈线及发射机之间的阻抗不匹配时，射频能量就会产生反射折回，并与

前进的部分干扰汇合发生驻波。为了表征正向波与反射波的情况，建立了VSWR（Voltage Standing Wave Ratio，驻波比）这一概念，表示为：

$$VSWR = R/r = (1 + |K|) / (1 - |K|) \quad (1)$$

反射系数K为：

$$K = (R - r) / (R + r) \quad (2)$$

当K为负值时，则表明相位相反。R、r分别是输出阻抗和输入阻抗。如果VSWR的值等于1，则表示发射能量在传输链路上没有反射，所有能量都向前传输，直至转换为无线电波发射出去；如果VSWR的值大于1，则表示有一部分能量被反射回来。

反射回的能量大小可由RL（Return Loss，回波损耗）表征（单位为dB），表示反射能量相较发射能量的衰减程度，其与驻波比的换算关系为：

$$RL = -20 \lg[(VSWR - 1) / (VSWR + 1)] \quad (3)$$

## 3.2 驻波比对干扰的影响

由上述驻波比的定义描述可知，分布系统的驻波比不好时，会影响系统的发射功率输出，但驻波比超标时对下行链路的影响是不大的，除非非常严重的情况才会造成下行功率输出的大幅下降。在一定条件下，驻波比过高会形成对上行的干扰，这个是驻波比故障对系统产生的最大影响。但是由于对其认识不够，在处理驻波比故障时往往忽视了它的重要性，并采用了过于宽松的标准。

驻波比影响实质是将发信机在各系统上行频段的杂散及互调产物反射回接收机，造成对接收机的干扰。驻波比与回波损耗对应值如表3所示。

以WCDMA为例来说明，其发信机落在上行频段的杂散如表4所示，为不大于-96dBm每100kHz，转换为3.84M的系统带宽，则为-80dBm。按照室分系统驻波比不大于1.4的指标要求，此时的回波损耗为15.56dB，则返回接收机的杂散信号为-80-15.56=-95.56dBm，WCDMA的RTWP（Received Total Wideband Power，宽带接收总功率）水平在这个值已经为比较严重的干扰了。

表3 驻波比与回波损耗对应值

驻波比	1.2	1.4	1.6	1.8	2	3	4	5	6	7	8	9	10
回波损耗/dB	20.83	15.56	12.74	10.88	9.54	6.02	4.44	3.52	2.92	2.50	2.18	1.94	1.74

表4 WCDMA发信机杂散水平要求

频段/MHz	最大电平/dBm	测量带宽/kHz	备注
1920—1980	-96	100	上行接收频段

因此，原有的对于驻波比的认识及要求已经不能满足实际工程的要求，它对于系统带来的影响是不可忽视的，包括杂散干扰及阻塞干扰都可由驻波故障造成。在现实的案例中，驻波存在故障时一般表现如下：

- (1) 下行链路衰耗加大，造成覆盖不足。
- (2) 上行链路衰耗加大及抬升系统底噪。
- (3) 系统话务统计数据表现为底噪随话务量抬升而抬升。
- (4) 驻波存在问题时，主设备及直放站设备不一定会告警。

### 3.3 室分系统驻波比的特殊性

在室分系统中，大量耦合器及功分器的使用对其故障的判断又形成了误导。其原因在于驻波的测试原理实质是计算回波能量与发射能量的关系；而器件的引入同时加大了上下行链路的损耗，驻波故障点的入射及反射能量在经过器件时均被衰耗，造成驻波比读值较实际值小。下面举例说明：

以图2的方式连接仪表及器件进行驻波比测试，在10dB耦合器耦合端断路时，频率驻波模式测试的最大值为1.37，故障定位模式测试的最大值为1.34，这两个值均小于1.4。若是在室分系统里，主干第一个耦合器为10dB，而其耦合端断路，这时测出的驻波比也是合格的，而实际上其耦合端所带的室分系统已经没有信号覆盖了。

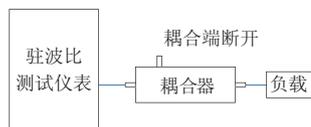


图2 器件对驻波比读值的影响测试

### 3.4 驻波与互调的关系

器件的质量及施工质量均可引起驻波比故障。在工程上，往往驻波比较高的点也是接触不良可能导致互调的点。也可以认为，驻波比较高的故障

点，其互调产物的反射也会增加，导致上行干扰。大量干扰处理案例证明，通过驻波排查可解决大部分因分布系统引起的干扰问题，较少用到互调排查手段。

## 4 驻波比故障排查方法

目前，处理多系统合路干扰的主要方法为频段规划及更换高性能器件，对工程施工质量带来的干扰问题较为忽略。应该认识到，硬件是一个系统正常运行的基础，要排查室分系统的干扰问题必须先保证室分系统硬件的正常，互调与驻波故障的排查是最主要的方法。而由于互调仪的体积大、重量大，现场使用时会比较不方便，在室分故障的排查中一般推荐使用驻波比来进行排查，排查完成后若故障还不能解决，则排查互调故障。

分布系统的驻波比测试是为了发现并定位分布系统的驻波问题，其一般采用逐级排查的方式，在进行分布系统的测试时会造成无线信号断路，应首先通知后台闭站。

闭站后，按照以下步骤检查并处理分布系统的驻波比问题：

- (1) 选择驻波比测试仪的测量模式故障定位模式。校准驻波比测试仪。
- (2) 驻波比测试仪表连接分布系统（系统的空载部分用负载堵住）。若有多条支路进主设备，应分别测试每一条支路。
- (3) 读数并判断问题。在判断驻波故障时，应结合系统原理图，当发现驻波测试波形存在明显凸起时，根据系统图定位并前往问题点做进一步确认及处理。

## 5 案例分析

该站点为中国联通独立建设站点，DCS、WCDMA、LTE三个系统合路。

其中，DCS系统配置频点配置为BCCH：637，TCH：660；LTE系统使用带宽为下行1850—1870MHz，实际使用带宽20M；WCDMA配置1载波，主频点为10763。经计算，LTE与DCS的五阶以下互调产物并不会落在WCDMA上行频带内。后台统计显示，在

无用户且LTE不加载的情况下，WCDMA系统的RTWP在-99dBm左右；现场模拟加载LTE时（100%加载），后台查询的RTWP在-90dBm左右，干扰严重。

现场驻波比故障测试结果如图3所示：

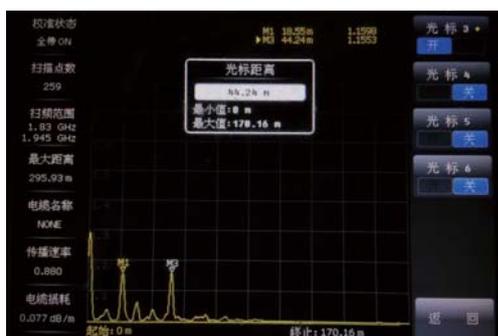


图3 驻波比故障测试案例

测试结果显示，在分布系统中，18m和44m的位置出现较明显的波峰，其值均为1.15左右，逐级测试并排查出驻波故障点。经排查，第一个故障点为耦合器与馈线之间的接头未拧紧，第二个故障点为馈线接头制作工艺问题。整改完成后，分布系统驻波测试正常，LTE模拟加载时，后台查询的RTWP为-104dBm，WCDMA系统上行底噪恢复正常。

## 6 结束语

多系统合路的室内分布系统中，施工质量是影响其干扰的主要因素之一，而驻波比是检测施工质量的主要指标，基于驻波比测试可快速定位故障及处理干扰。由于现有室内分布系统驻波测试及验收标准过于宽松，使用驻波比频率驻波模式及故障定位模式测试时应采用的标准还需要在实践中进一步进行总结。

## 参考文献：

- [1] 工业和信息化部国务院国有资产监督管理委员会. 关于2015年推进电信基础设施共建共享的实施意见[Z]. 2014.
- [2] 甘露. 射频连接器无源互调及测量[J]. 现代传输, 2009(1): 59-62.
- [3] 高翟. 移动通信系统中的干扰控制研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.

- [4] 周莲英,王嵩,兰晓晔. 多制式系统室内共存覆盖干扰的研究与工程分析[J]. 移动通信, 2012(1): 102-106.
- [5] 肖清华,朱东照. 共建共享模式下TD-LTE与其它系统的干扰协调[J]. 移动通信, 2011(6): 23-27.
- [6] 肖贺伟. 通信网络建设中阻塞干扰的研究与解决[J]. 信息通信, 2012(4): 205-206.
- [7] 3GPP TS 25.104. Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD) (Release12)[S]. 2014.
- [8] 中国铁塔股份有限公司. 无源分布系统总体技术要求 Q/ZTT 1003.1-2014[Z]. 2014.
- [9] 王强,魏康,翟英鸿. 浅析室内分布系统驻波比问题[J]. 电信网技术, 2015(1): 65-67.
- [10] 李旭,周琨. 天馈系统的测试原理及应用[J]. 广播与电视技术, 2011(2): 122-125.★

## 作者简介



贾卡乐：工程师，硕士毕业于华中科技大学，现任职于武汉虹信技术服务有限责任公司市场部，主要研究方向为无线网络优化及室内分布系统。



张晨：工程师，学士毕业于海军工程大学，现任职于武汉虹信技术服务有限责任公司项目运营部，从事通信施工项目管理及技术支持工作，主要研究方向为室内分布系统。



肖可：工程师，专科毕业于湖北经济管理学院，现任职于武汉虹信技术服务有限责任公司项目运营部，从事通信施工项目管理及技术支持工作，主要研究方向为室内分布系统。

# IMSI复用导致终端无法使用3G网络服务问题的研究

黄云飞<sup>1</sup>, 陆健贤<sup>1</sup>, 赵旭<sup>2</sup>, 王庆扬<sup>2</sup>

(1. 中国电信股份有限公司广东分公司, 广东 广州 510062;  
2. 中国电信股份有限公司广东研究院, 广东 广州 510630)

**【摘要】** 4G网络商用以来, 部分用户终端4G下切3G后无法使用网络服务。通过测试分析了问题产生的基本原因为IMSI复用, 然后从3G网络和终端角度定位问题, 并提出了3G网络和终端解决方案。该方案既能够解决无法使用3G网络服务的问题, 又能够复用IMSI盘活资源, 同时降低对3G网络的信令冲击。

**【关键词】** 4G eHRPD/HRPD IMSI复用 AN-AAA

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.006 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0028-04  
引用格式: 黄云飞, 陆健贤, 赵旭, 等. IMSI复用导致终端无法使用3G网络服务问题的研究[J]. 移动通信, 2016, 40(2): 28-31.

## Study on Failed 3G Network Service Caused by IMSI Reusing

HUANG Yun-fei<sup>1</sup>, LU Jian-xian<sup>1</sup>, ZHAO Xu<sup>2</sup>, WANG Qing-yang<sup>2</sup>

(1. Guangdong Branch of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510062, China;  
2. Guangdong Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China)

**[Abstract]** Since the commercial applications of 4G, parts of user terminals switching to 3G from 4G fail to use network service. Test analysis demonstrated that the fundamental cause of the failure is IMSI reusing. Combined with 3G network and terminal, a scheme based on 3G network and terminal was presented. The scheme not only deals with the failure of using 3G network service, activates resources by IMSI reusing, but also reduces the impact of signaling on 3G network.

**[Key words]** 4G eHRPD/HRPD IMSI reusing AN-AAA

## 1 引言

4G网络商用以来, 有部分用户投诉从4G切换到3G (eHRPD/HRPD) 后无法上网。对该用户IMSI (International Mobile Subscriber Identity, 国际移动用户识别码) 进行跟踪, 没有发现eHRPD (evolved High Rate Package Data, 演进的高速分组数据) /

HRPD (High Rate Packet Data, 高速分组数据) 相关信令交互。从话单上看, 跟踪期间在1X有上过2次数据业务, 均未成功但无线信号很好, 疑似数据业务未开通; 对3G核心网进行检查, 在接入鉴权服务器AN-AAA (Access Network-Authentication, Authorization, Accounting Server, 接入网鉴权、授权与计费服务器) 上没有查到该用户的相关操作日志。经核查, 在AN-AAA上该用户数据未激活, 因此导致用户无法通过3G接入, 也无法进行3G、4G切换。

收稿日期: 2015-09-18

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

对该用户在AN-AAA上未激活原因进行分析发现该3G IMSI已被锁卡，主要原因是该用户3G IMSI之前用于车载终端，该车载IMSI已过期属非法用户，但未退出，每次随车辆启动后尝试接入3G网络，在3G AN-AAA接入鉴权失败超过100次后被锁卡。

在AN-AAA上解锁该用户3G IMSI。经测试，用户可以使用3G业务，也可以正常进行3G、4G切换。

上述案例表明随着物联网的发展将产生一个明显的问题：物联网终端需要嵌入UIM卡，占用IMSI，在用户停机后，IMSI的回收面临困难，部分UIM卡将长期处于上电尝试通信状态，这将导致复用该IMSI的合法用户被锁卡或者IMSI不能复用。

基于以上情况，本文分析了eHRPD/HRPD AN-AAA的接入鉴权与锁卡机制以及存在的问题、3G/4G终端复用IMSI的鉴权特征，并提出了IMSI复用建议。

## 2 eHRPD/HRPD AN-AAA的鉴权机制与锁卡机制

### 2.1 鉴权机制

eHRPD/HRPD采用相同的空口鉴权算法和网元，即在AN-AAA上使用MD5算法进行CHAP（Challenge Handshake Authentication Protocol，挑战握手鉴权协议）接入鉴权。对于AN-AAA鉴权，其原理如图1所示。

具体如下：

1：AN（接入网络）向AT（接入终端）发起鉴权

挑战，携带value值。

2：AT收到后，使用鉴权参数（识别号、密码、挑战value值）在鉴权模块进行鉴权。

3：AT向AN发送鉴权响应（携带响应值、识别号和用户名）。

4：AN收到后，通过A12接口向AN-AAA发送接入请求（携带用户名、密码、挑战值和业务类型等）。

5：AN-AAA将识别号、密码和挑战值送入MD5鉴权模块进行鉴权。

6：AN-AAA鉴权结果与AT鉴权结果对比。

7a：二者一致，AN-AAA将接入接受返回给AN；

7b：二者不一致，鉴权失败，AN-AAA将接入拒绝返回给AN。

8a：AN向AT发送鉴权成功；

8b：AN向AT返回鉴权失败。

### 2.2 AN-AAA的锁卡机制及存在的问题

AN-AAA锁卡的基本原理是：如果某IMSI接入鉴权失败累计达到100次，则将该IMSI放入黑名单。IMSI接入鉴权时先查询是否在黑名单，如果在则无需鉴权，直接拒绝；如果不在则进行鉴权。具体如图2所示。

锁卡机制在一定程度上可以减少复用的IMSI鉴权过程，降低AN-AAA负荷。但是，锁卡方案也存在以下问题：

(1) 对仍在上电的终端上的过期或非法eHRPD/

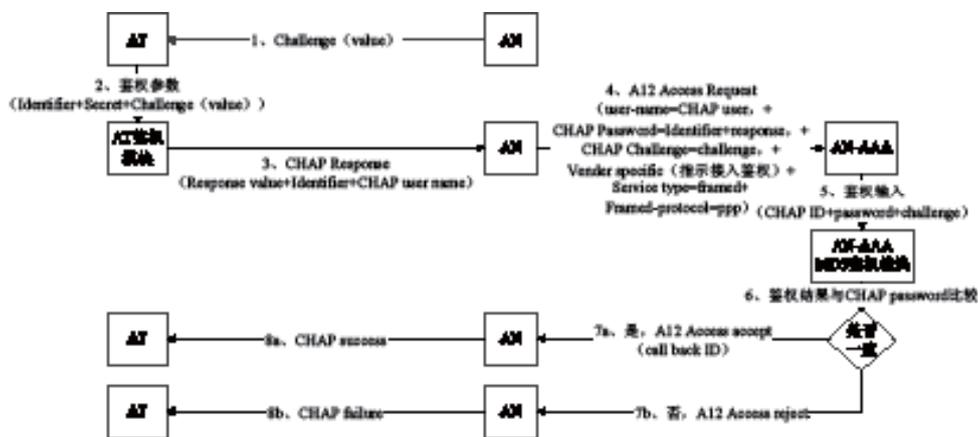


图1 eHRPD/HRPD AN-AAA接入鉴权原理

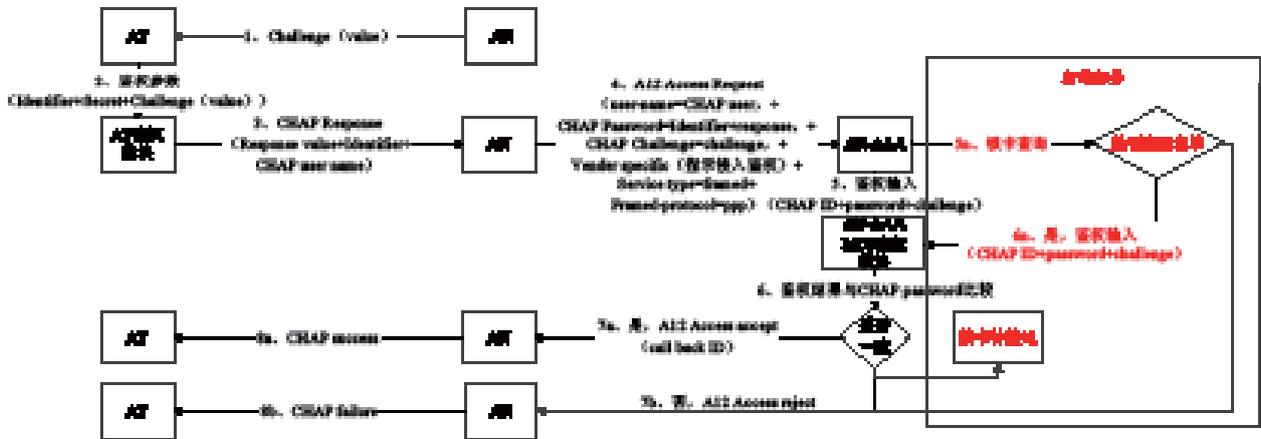


图2 AN-AAA锁卡机制

HRPD IMSI不能进行复用，若复用则合法用户不能使用3G业务。锁卡机制仅对IMSI进行判断，会锁定该IMSI，造成合法复用该IMSI的用户无法使用3G业务。为避免该问题，运营商可能会不使用该类IMSI，造成IMSI资源浪费。

(2) 锁卡机制需要在AN-AAA新增黑名单模块/服务器，不管合不合法，每个IMSI在进行接入鉴权时都需要进行是否位于黑名单的判断以及进行鉴权失败计数。这些新增的模块或流程步骤同样会增加AN-AAA负荷以及处理时延。

(3) 锁卡机制对是否减轻PDSN (Packet Data Serving Node, 分组数据服务节点) 业务鉴权没有影响，因为终端接入鉴权失败后发起的配置请求无网络侧响应。

(4) 锁卡机制不能减少或者避免终端在接入鉴权失败后重复发起UATI指派、会话协商、接入鉴权、会话关闭等过程，该过程将增加无线网处理负荷。

### 3 3G、4G终端复用3G IMSI接入eHRPD/HRPD网络分析

#### 3.1 3G终端

总体测试情况如表1所示。

#### 3.2 4G终端

总体测试情况如表2所示。

### 3.3 测试结论

在同种技术制式下，3G终端、4G (多模) 终端复用IMSI情况基本相同。

复用IMSI，在1X网络情况下一般只在开机时进行鉴权，鉴权失败后终端不再发起鉴权请求。复用IMSI对1X网络无冲击。

对于eHRPD/HRPD，接入鉴权失败后终端重复进行UATI请求、会话协商、接入鉴权/业务鉴权、会话关闭等一系列过程，平均周期可为260多秒或者60多秒。这意味着复用3G无效IMSI会导致终端平均每160秒将接入一次3G网络，从而大大增加3G网络信令开销。

对于LTE，在开机附着时鉴权失败，终端不再进行附着或鉴权请求。复用IMSI对4G网络无冲击。

## 4 IMSI复用的网络与终端建议

根据以上分析，建议如下：

(1) AN-AAA或取消锁卡机制，这样既可复用大量IMSI，盘活资源，同时也避免了合法用户被锁卡而不能使用eHRPD/HRPD业务的风险。

(2) 或者对AN-AAA锁卡机制进行改进，除了对IMSI进行判断外，也记录终端MEID (Mobile Equipment Identifier, 移动设备识别码) 等信息，以便精确地对非法用户进行锁卡而不影响合法用户；同时也可复用大量IMSI，盘活资源。

(3) 对于eHRPD/HRPD终端，要求在接入鉴权

表1 3G终端复用3G IMSI测试结果

网络	接口	事件	历时/s	特征	鉴权结果
1X	Um	开机登记	-	◆仅开机发生1次 ◆无周期性或重复性特征	接入鉴权失败，无法使用网络服务
HRPD	Um-AN PPP	UATI指派	0.183	◆事件总计历时5.131s ◆平均时间间隔为261.000s，最大值为1936.000s，最小值为6.800s，总计15次 ◆具有周期性或重复性特征	
		会话协商	2.360		
		接入鉴权	0.662		
		会话关闭	0.004		

表2 4G终端复用IMSI测试结果

网络	接口	事件	历时/s	特征	鉴权结果
1X	注册	基站无响应	-	◆MS发起注册 (reg_type = 10 (0xa))，但基站未回复。时间间隔约580ms。但在数小时的测试里仅出现2次注册请求，且无基站回应 ◆无明显周期性或重复性特征	鉴权失败，无法使用网络服务
LTE	Uu	LTE附着 (combined EPS/IMSI attach)，失败	0.130	◆1次 ◆无周期性或重复性特征	
eHRPD	Um-AN PPP	UATI指派	0.183	◆事件连续发生，历时平均值为66.37s，最大值为730s，最小值为1.68s，在测试过程中总计160次 ◆具有周期性或重复性特征	
		会话协商	2.360		
		接入鉴权失败	3.300		
		会话关闭	0.004		

失败或达到一定次数后，终端不再发起UATI指派、会话协商、接入鉴权、会话关闭等过程，直至下一次开机或使用其他IMSI。

## 5 结束语

本文通过分析指出部分用户从4G下切3G无法使用网络服务的原因是因为复用了已经锁卡的3G IMSI，然后对3G网络AN-AAA鉴权和锁卡机制及其存在的问题进行详细分析，并测试分析了3G和4G终端IMSI复用结果，提出了AN-AAA改进建议和3G终端改进方案建议。

## 参考文献：

[1] IETF RFC1994. PPP Challenge Handshake Authentication Protocol (CHAP)[S]. 1996.  
 [2] IETF RFC2865. Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS)[S]. 2000.  
 [3] 3GPP2 A.S0008-0 V3.0. Interoperation Specification (IOS) for High Rate Packet Data Access Network

Interfaces[S]. 2003.  
 [4] ANSI-41-D. Cellular Radio Telecommunications Intersystem Operations[S]. 1999.  
 [5] YD/T 1579-2007. 2GHz cdma2000数字蜂窝移动通信网设备技术要求：高速分组数据（HRPD）（第一阶段）AN-AAA设备[S]. 中华人民共和国信息产业部，2007.  
 [6] 3GPP2 C.S0024-A V3.0. cdma2000 High Rate Packet Data Air Interface Specification[S]. 2006.  
 [7] 3GPP2 C.S0005-A V6.0. Upper Layer (Layer 3) Signaling Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems[S]. 2002.  
 [8] 3GPP2 C.S0032-A V1.0. Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 High Rate Packet Data Access Network[S]. 2005.  
 [9] 3GPP2 C.P0033-A V1.0. Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 High Rate Packet Data Access Terminal[S]. 2005.

(下转第 36 页)

# 多系统合路POI无源互调测量研究

林鑫海<sup>1</sup>, 邹勇<sup>2</sup>, 谢树民<sup>3</sup>, 张需溥<sup>4</sup>, 吴浩发<sup>4</sup>

- (1. 中国电子科技集团公司第七研究所凯尔实验室, 广东 广州 510310;
- 2. 中国铁塔股份有限公司, 北京 100142;
- 3. 华为技术有限公司, 广东 深圳 518129;
- 4. 杭州紫光网络技术有限公司, 浙江 杭州 310052)

**【摘要】** 在POI系统中, 由于多系统接入导致互调干扰严重且复杂, 目前常用的互调测试系统很难满足POI系统无源互调的测试要求, 甚至无法测量。通过介绍传统的无源互调测量方式, 对POI无源互调测量面临的问题进行分析, 并在此基础上提出了一种POI系统无源互调测量的解决方案。该方案不仅能够解决POI系统无源互调的测量问题, 而且可以实现全自动测量, 测试效率非常高。

**【关键词】** POI 无源互调 互调测量

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.007 中图分类号: TN819.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0032-05  
引用格式: 林鑫海, 邹勇, 谢树民, 等. 多系统合路POI无源互调测量研究[J]. 移动通信, 2016, 40(2): 32-36.

## Research on Passive Intermodulation Measurement of POI

LIN Xin-hai<sup>1</sup>, ZOU Yong<sup>2</sup>, XIE Shu-min<sup>3</sup>, ZHANG Xu-pu<sup>4</sup>, WU Hao-fa<sup>4</sup>

- (1. Communication Calibration and Testing Laboratory of the 7th Research Institute of CETC, Guangzhou 510310, China;
- 2. China Tower Co., Ltd., Beijing 100142, China;
- 3. Huawei Technologies Co., Ltd., Shenzhen 518129, China;
- 4. Hangzhou Jointcom Communication Technology Co., Ltd., Hangzhou 310052, China)

**[Abstract]** In POI system, passive intermodulation interference due to multiple system accesses becomes more serious and complex. At present, the commonly-used passive intermodulation test system is very difficult to satisfy the test requirement of passive intermodulation for POI system, or impossible to be measured. Firstly, the traditional method of passive intermodulation measure (PIM) was introduced and potential problems of POI PIM were analyzed. Based on this, a solution to POI system PIM was presented. The solution not only solves POI system PIM, but realizes fully automatic measurement with very high efficiency.

**[Key words]** POI passive intermodulation intermodulation measurement

### 1 引言

由无源器件(如同轴电缆、波导、连接器、合路器、天线等)的非线性产生的互调称为PIM(Passive

Inter Modulation, 无源互调)。目前国际关于无源互调的测量方法介绍只有IEC(TC46/WG6)在1999年9月颁布的《IEC 62037: 射频连接器、连接器电缆组件和电缆互调电平测量》, 2007年对该标准进行了重要修订。2015年我国颁布等同于IEC 62037的行业标准YD/T2827-2015《无线通信射频和微波器件无

收稿日期: 2015-12-01

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

源互调电平测量方法 第1部分：通用要求》。以上标准给出了适合普通无源器件的测量方法，如功分器、耦合器、天线、跳线、双工器等，但并不适合对POI（Point Of Interface，多系统合路平台）系统进行无源互调测量。相比较普通无源器件，POI系统有两个显著特点：一是多系统（多端口）合路；二是每一端口频率都针对某一具体运营商分配频段（如中国电信CDMA Tx：870—880MHz，Rx：825—835MHz，而3GPP分配CDMA频段为Tx：869—894MHz，Rx：824—849MHz）。以上特点导致POI无源互调非常复杂，无法直接采用标准中推荐的方法进行测量，急需研究新的测试方法才能解决POI遇到的难题。

## 2 传统的无源互调测量方式

IEC标准中给出了两种基本测量方法：一种是反射测量法（见图1），另一种是传输测量法（见图2）。测量的基本原理是：将两个不同频率（F1、F2）的大

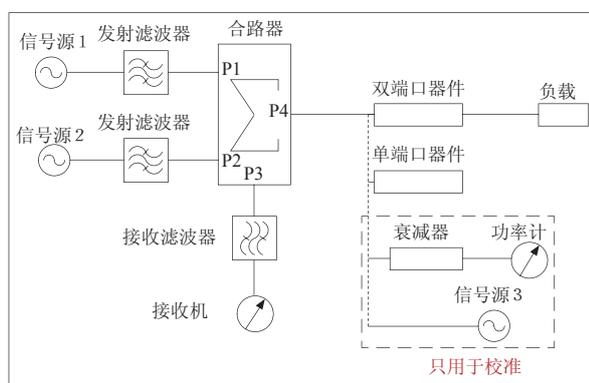


图1 反射互调测量

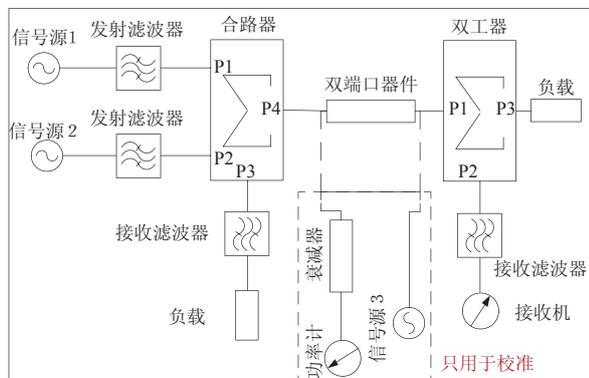


图2 传输互调测量

功率信号进行混合后输入被测器件，在器件内部将产生互调信号（ $2F1 \pm F2$ 、 $2F2 \pm F1$ ），在被测器件的输入端测量互调信号称为反射测量法，在被测器件的输出端测量互调信号称为传输测量法。

互调仪的频率范围主要决定于合路器（双工器）频率范围。需要指出的是，目前市场上所有通用互调仪合路器（双工器）频段范围都是按照3GPP规定频段进行设计的。表1给出我国所使用移动通信FDD（Frequency Division Duplexing，频分双工）系统频段范围。大功率信号频率为发射Tx频段，测量的互调信号为接收Rx频段，以GSM900MHz互调仪为例，发射Tx频段范围为925—960MHz，接收Rx频段范围为880—915MHz。

表1 3GPP规定的移动通信频段

序号	工作频段	频段名称	总带宽	接收频段 Rx/MHz	发射频段 Tx/MHz
1	Band1	2.1GHz	2 × 60MHz	1920—1980	2110—2170
2	Band3	1800MHz	2 × 75MHz	1710—1785	1805—1880
3	Band5	850MHz	2 × 25MHz	824—849	869—894
4	Band8	900MHz	2 × 35MHz	880—915	925—960

## 3 POI无源互调测量面临的问题

### 3.1 POI系统无源互调的特点

POI系统通过对多频段、多制式无线通信系统的接入及透明传输，实现多个网络共用一套覆盖天馈系统，其最重要的作用在于满足覆盖效果的同时节省运营商的投资，避免重复建设。POI与合路器在实现多系统合路这一点上功能相同，但是POI还具有合路器所不具备的功能，如监控功能、预留端口等。POI系统有多个输出端口，无源互调非常复杂，按测量阶数可分为二阶互调、三阶互调、五阶互调、七阶互调等，在测试测量时一般只关注二阶互调、三阶互调和五阶互调。其中，POI无源互调按照输入载波端口及受影响系统又可分为以下4种：

- (1) A系统+B系统→C系统；
- (2) A系统+B系统→B系统（或A系统）；
- (3) A系统+A系统→B系统；
- (4) A系统+A系统→A系统。

### 3.2 通用互调仪测量POI无源互调的限制

由传统的无源互调测试可以发现目前市场上所有通用互调仪都是按照3GPP规定频段进行设计，互调仪的频段只能支持测量单个系统的互调，无法对2个及以上系统之间的互调进行测试。

对于移动通信而言，频谱是一种重要的资源，运营商一般只能分配和使用某一段频率，不能使用该频段所有带宽资源，而互调仪的设计又是按照3GPP规定频段进行设计，如果使用通用的互调仪测试窄带的产品，并不能得到真实的互调值。例如，中国电信CDMA工作频段为Band5 850MHz，Tx频率为870—880MHz，Rx频率为825—835MHz，而通用CDMA互调仪的Tx频率F1范围为869—871MHz，F2范围为889—894MHz，互调仪的Rx频率为824—849MHz，显然使用通用的互调仪测量中国电信CDMA系统的互调。

由此可见，对POI系统互调的测量通用的互调仪仅能测试单个系统的互调，无法测量系统间的互调，同时也不能准确测试某单个系统的互调。

### 4 POI无源互调测量解决方案

以铁塔12频POI互调测试系统间（含系统内）互调测试为基础，提出以下解决方案：

该系统由四大部分组成：通用仪表、功放、开关矩阵和无源模块，各部分组成及功能如表2所示。该系统解决了通用互调仪对POI无源互调无法测量的问题，既支持系统内无源互调测量，也支持系统间无源互调测量，系统原理图如图3所示。

表2 POI无源互调测量系统组成及功能

序号	模块	组成	功能或规格
1	通用仪表	信号源	产生所需两路信号
		频谱仪	测试无源互调电平
		功率计	实时监控输出载波功率
2	功放模块	698—960双功放	放大信号源输出信号
		1805—2170双功放	
		2300—2700双功放	
3	开关矩阵	各种开关	发射/接收/监控链路切换
4	无源模块	双工器、滤波器、耦合器	抑制载波杂散；提取所需频率无源互调

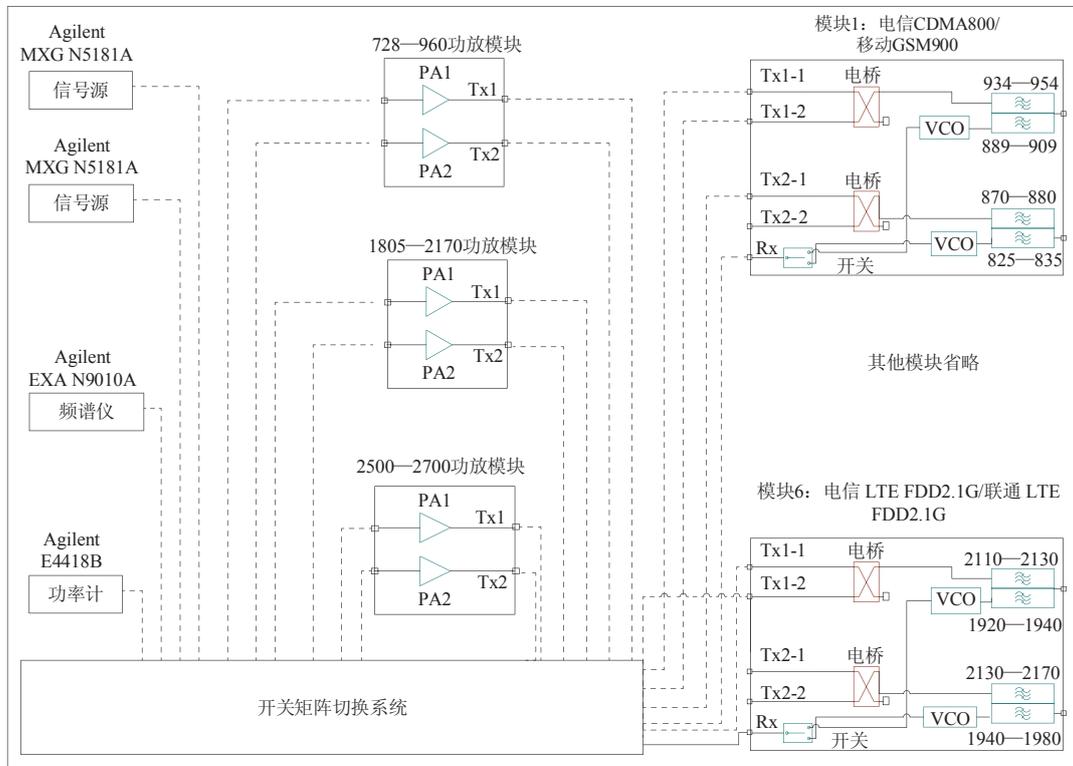


图3 POI无源互调测量系统原理图

以中国电信CDMA+中国移动GSM干扰中国电信CDMA PIM3干扰为例来说明系统工作机理。该系统CDMA800端口及GSM900端口分别与对应POI端口连接，POI输出天线口接低互调负载。控制两个信号源分别产生880MHz、935MHz两个载波信号，该信号通过开关矩阵切换后进入728—960功放模块进行放大，经过功率放大的F1：880MHz信号进入无源模块1 Tx2-1端口，经过功率放大的F2：935MHz信号进入无源模块1 Tx1-1端口，两路信号通过测试电缆进入被测POI，在POI天线口产生PIM3：825MHz的无源互调产物，该互调产物中反向部分（反向互调）通过测试电缆重新进入无源模块1 CDMA800端口，经过双工器滤波后输出PIM信号到开关矩阵，通过开关矩阵切换用频谱仪对该信号电平进行测量。以上是简单的测试原理，在实际中还要负载，并考虑Tx链路和Rx链路校准，这方面工作复杂且重要。

利用以上方案研制开发了一套POI无源互调测量系统，用该系统对一台POI的系统间互调进行了测量。现阶段4G LTE系统已经规模商用，图4和图5分别给出联通FDD1.8G和联通FDD2.1G干扰情况，铁塔公司规定POI系统间互调干扰标准为 $\leq -150\text{dBc}@2 \times 43\text{dBm}$ ，而下面两组数据中最差接近 $-130\text{dBc}$ ，这样的POI系统一旦在现网中商用，就很有可能产生无源互调干扰。图4、图5给出的测量结果，用通用互调测试仪无法进行测量。

此外，该系统的另一个优点就是支持全自动测试。此项功能主要由开关矩阵来完成，可以一次性将系统与POI对应端口相连接，然后通过软件对所要求测量的系统间（含系统内）互调逐一进行设置，只需按开始键就能自动执行测试命令。如果采用手动测量的方式，一台铁塔9进2出POI要完成所有测试项目需要4小时，而采用本系统测试时间可以缩短至5分钟，效率提高了约50倍。

## 5 结束语

本文介绍了通用无源互调的测试方法和原理，通过分析POI系统无源互调的特点，给出一种有效解决方案，该方案既可以解决POI系统间互调测量问题，同时

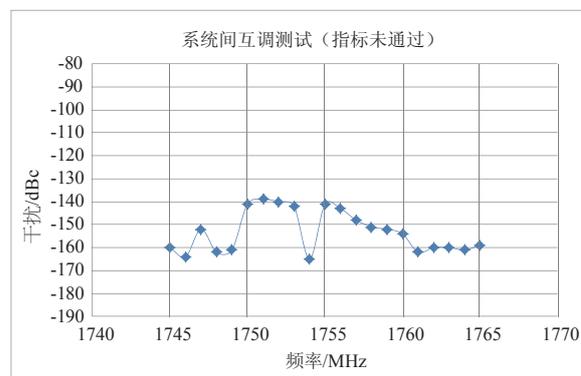


图4 移动TD-F+联通FDD1.8G干扰联通FDD1.8G

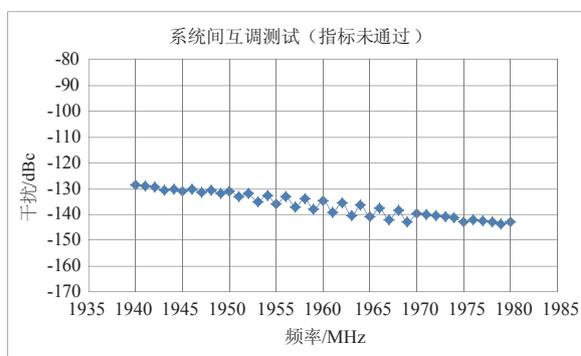


图5 移动TD-F+联通FDD1.8G干扰联通FDD2.1G

也极大地提高了测试效率。该方案基本可以解决国内POI系统无源互调的测试，考虑到不同国家的通信频率的差异，国外运营商与国内运营商的POI系统端口数量和端口频率会存在一定的不同，该方案能通过增加的相应硬件模块和软件升级实现不同运营商POI系统的互调测量要求。

## 参考文献：

- [1] 王辉球. 无源互调问题的初步研究[R]. 西安: 航天工业总公司504研究所, 1997.
- [2] 黄景民,梁童,曾二刚,等. 国内移动通信系统共建共享时的互调干扰分析[J]. 电信工程技术与标准化, 2013(9): 48-53.
- [3] 赵培,李凯,张需溥,等. 室内无线通信技术原理与工程实践[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2015.
- [4] 苏华鸿,孙孜勤. 蜂窝移动通信射频工程[M]. 北京: 人民

邮电出版社, 2005.

[5] 冯翔. 移动通信室内信号覆盖系统[M]. 北京: 中国建筑标准设计研究院, 2004.

[6] 杨宋兵,赵国民. 多系统接入平台(POI)的设计[J]. 移动通信, 2005(8): 92-96.

[7] 罗一锋. 舰船通信系统的无源互调研究[J]. 现代电子技术, 2010(23): 39-44.

[8] 张世全. 微波与射频频段无源互调干扰研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2004.

[9] 王海宁,梁建刚,王积勤,等. 高功率微波条件下的无源互调问题综述[J]. 微波学报, 2005,21(Z1): 1-6.

[10] 张世全,葛德彪. 通信系统无源非线性引起的互调干扰[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2004(1): 58-62. ★

### 作者简介



林鑫海: 毕业于桂林电子科技大学, 现任国家天线及射频部件产品质量监督检验中心、中国电子科技集团公司第七研究所凯尔实验室检测中心副经理, 主要从事移动通信产品检测、通信仪器仪表检定计量、通信技术标准的研究工作。



邹勇: 高级工程师, 毕业于武汉大学, 现任职于中国铁塔股份有限公司, 长期从事移动通信理论研究、标准制定、网络规划和工程设计工作, 具有较坚实的理论基础和丰富的工程设计实践经验, 负责组织过数十项大、中型通信工程项目, 多次获得省部级科技奖励。



谢树民: 毕业于陕西工学院无线电技术专业, 现任华为技术有限公司射频高级工程师, 长期从事无线通信设备射频系统的研发工作, 曾主持3G Node B射频系统研发、信产部MTnet一期射频系统测试, 具有丰富的射频系统研发与测试经验。

(上接第 31 页)

[10] 3GPP2 A.S0007-A V2.0. Interoperability Specification (IOS) for High Rate Packet Data (HRPD) Access Network Interfaces-Rev A[S]. 2000.

[11] 3GPP2 A.S0022-A V2.0. Interoperability Specification (IOS) for Evolved High Rate Packet Data (eHRPD) Radio Access Network Interfaces and Interworking with Enhanced Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)[S]. 2014.

[12] 3GPP2 C.S0087-A V4.0. E-UTRAN — cdma2000 HRPD Connectivity and Interworking Air Interface Specification[S]. 2014. ★

### 作者简介



黄云飞: 高级工程师, 博士毕业于华南理工大学, 现任职于中国电信股份有限公司广东分公司, 主要研究方向为移动网络演进、关键技术、网络规划、网络优化。



陆健贤: 高级工程师, 硕士毕业于华南理工大学, 现任职于中国电信股份有限公司广东分公司, 主要研究方向为移动网络关键技术、网络规划、网络优化。



赵旭: 工程师, 硕士毕业于电子科技大学, 现任职于中国电信股份有限公司广东研究院, 主要研究方向为移动网络关键技术、移动互联网、智能终端适配。

# 基于站址的联合规划方法探讨

王尚奇, 王亚昕, 潘三明

(中国铁塔股份有限公司, 北京 100142)

**【摘要】** 阐述了铁塔公司与电信企业联合规划的含义、范围以及重要性, 针对开展联合规划的方法、难点以及推进联合规划的措施进行了深入地探讨, 并着重把通信基础设施专项规划、新区站址规划、交通干线站址规划以及旅游景区站址规划作为开展联合规划的突破点, 且结合相关案例进行了详细说明。

**【关键词】** 联合规划 站址规划 专项规划 电信企业

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.008 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0037-05  
引用格式: 王尚奇, 王亚昕, 潘三明. 基于站址的联合规划方法探讨[J]. 移动通信, 2016, 40(2): 37-41.

## Discussion on Joint Planning Methods Based on Site Location

WANG Shang-qi, WANG Ya-xin, PAN San-ming

(China Tower Co., Ltd., Beijing 100142, China)

**[Abstract]** The implication, scope and importance of the joint planning of China Tower and telecommunication enterprises were elaborated. Methods, difficulties and measures to promote joint planning were discussed in depth. The special planning of telecommunication infrastructure and a series of site location planning of new district, traffic trunk and tourist attraction are the new breakpoints of joint planning. Corresponding cases were elaborated.

**[Key words]** joint planning site location planning special planning telecommunication enterprise

## 1 引言

为促进电信企业的共建共享, 优化资源配置, 提高行业投资效率, 2014年7月成立了中国铁塔股份有限公司(以下简称“铁塔公司”)。铁塔公司成立以来, 在全面承接和满足三家电信企业建设需求的同时最大程度地为行业节约了资源, 提升了投资效率。但在实际建设过程中, 电信企业需求通常呈现出数量大、交付急和疑难站址多等特点, 铁塔公司需要在短时间内进行大量选址和建设以迅速满足电信企业需求, 增大了工程质量控制的难度。因此, 铁塔公司有

必要在规划阶段就与电信企业展开合作, 提前获取站址需求, 储备站址资源。同时, 开展联合规划能够加快响应电信企业需求, 促进电信企业网络发展战略的快速落地, 双方应积极探索联合规划开展模式, 实现合作共赢。

## 2 联合规划的含义

所谓联合规划, 是指铁塔公司与中国电信、中国移动和中国联通三家电信企业在双方的规划阶段, 建立常态化沟通机制, 针对双方建设目标、建设策略以及站址落地等层面展开合作, 实现合作共赢。需要说明的是, 由于铁塔公司规划的输入为电信企业无线网络站需求, 因此这里重点是指双方无线网络站址的联

收稿日期: 2015-09-22

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

合规划。

为了更好地探讨铁塔公司规划与电信企业规划的联合，有必要对两者的区别与联系进行说明，区别主要体现在以下方面：

(1) 规划的目的不同：铁塔公司规划是以提前储备站址资源、引导共享和快速满足电信企业需求为目的；而电信企业规划则以改善网络质量、提升用户体验和超越竞争对手等为目的。

(2) 规划的需求输入不同：铁塔公司规划输入为电信企业的规划需求；而电信企业规划的需求来源比较广泛，主要包括网络优化、用户投诉、业务发展以及网络发展策略等需求。

(3) 规划的内容不同：铁塔公司规划的内容为站址资源的规划；而电信企业的规划内容主要为网络覆盖、网络容量和网络发展等。

铁塔公司规划与电信企业规划的联系主要体现在：电信企业规划为铁塔公司规划提供需求输入；而铁塔公司规划为电信企业规划提供站址落地方案。

联合规划的范围可以是针对某个省份、地市的全网站址规划，也可以指新区、高铁、地铁、旅游景区等重点场景的规划。

### 3 联合规划方法

#### 3.1 联合规划的切入点

联合规划流程图如图1所示：

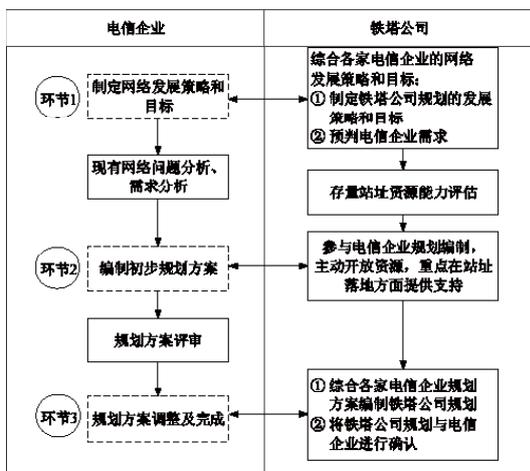


图1 联合规划流程图

根据电信企业编制规划的一般流程，铁塔公司可重点在电信企业规划编制中的3个环节作为切入点，开展联合规划。

#### 环节1：电信企业制定网络发展策略和目标环节

电信企业网络发展策略和目标反映了其未来网络部署的重点，铁塔公司应综合各家电信企业网络的发展策略和目标，考虑自身存量站址资源的分布及资源评估情况，制定铁塔公司的发展策略和目标，同时对电信企业的站址需求进行预判。例如，某市电信企业在规划中要求实现行政村的4G网络全覆盖的目标，当地铁塔公司需要通过对其存量资源进行分析，对没有存量站址或者存量站址资源不具备共享能力的行政村，提前进行站址资源部署。

#### 环节2：电信企业初步规划方案编制环节

电信企业通过分析本地网络现状问题和需求，对比网络发展策略和目标，编制初步的规划方案，铁塔公司可利用熟悉站址资源情况的优势，协助电信企业确定选址方案，减少电信企业规划支撑单位现场勘查工作量。另外，可主动开放存量站址资源和储备站址资源，引导电信企业使用存量站，提高共享率，节省投资，同时也能够减少由于选址难、站址建设等所带来的不确定性，加快电信企业发展策略的快速落地。

#### 环节3：电信企业规划方案调整及完成环节

所有电信企业规划方案定稿后，铁塔公司应结合自身发展策略和目标，对多家站址的需求进行统一整合，并与现有资源进行匹配，确定建设方式，编制规划方案，且将站址方案与各家电信企业进行确认。

#### 3.2 推进联合规划的措施

目前联合规划模式还处于探索阶段，在与电信企业合作中存在发展策略、目标和网络数据等敏感信息的交互，同时也存在个别电信企业在规划阶段不能提供站址级别需求或者规划编制节奏不一致等问题。针对这些问题，可以通过以下措施推进联合规划：

(1) 充分利用良好的外部氛围：铁塔公司在组建过程中，受到国务院、工业和信息化部、各级政府的大力支持，目前铁塔公司已经与部分省签订了战略合作协议，铁塔公司应充分利用良好的外部氛围，加快疑难站址解决，树立口碑。同时，积极开展通信基础

设施专项规划，创新合作机制，以点带面，不断推进联合规划的深度和广度。

(2) 强化保密意识，建立严格的信息保密制度：在联合规划中涉及发展策略、发展目标以及网络数据等敏感信息的交互，铁塔公司员工应树立保密意识，同时建立严格的信息保密制度以赢得电信企业的信任，夯实开展联合规划的基石。

(3) 收集信息，主动预判需求：针对部分电信企业无法提供站址级需求的情况，可根据其发展策略、目标以及网络优化信息等主动预判续期，提前进行站址资源的储备。

(4) 开发存量和储备站址资源：主动向电信企业开放存量站址和储备站址，引导电信企业优先使用存量站址资源。开放存量站址信息中应包括站址位置、资源空闲、资源状态等可用性方面的信息，同时滤除其他电信企业的敏感信息。储备站址应有针对性地向不同电信企业开放，开放信息至少应包括站址位置、站址资源条件和解决电信企业的具体问题等方面的信息。

(5) 成立联合规划办公室：与电信企业成立联合办公室以加强沟通，目前已经开展联合规划的省市大多采用了这种模式，此举可提高联合规划的沟通效率和信息准确性，收到良好的效果。

## 4 联合规划的突破点

在开展联合规划初期，创立成熟的操作模式是联合规划的重点。根据现实情况，应从已经开展双方合作的部分领域或者铁塔公司独有的优势领域出发，寻找突破点，以点带面，逐步建立联合规划合作模式。

城乡规划中的通信基础设施专项规划由政府牵头，铁塔公司与三家电信企业共同参与，双方已经建立一定的合作基础，是展开联合规划一个很好的契机。另外，一些重要的场景如新区、高铁、地铁和景区等，品牌效应强，电信企业单独建设难度大、成本高，合作意愿较强，双方可以重点在这些场景展开合作，探索联合规划模式。

### 4.1 通信基础设施专项规划

通信基础设施专项规划是指包含通信管线、基站

站址、机房等通信相关基础设施的规划。一般由当地经信委或者通信管理局组织，中国电信、中国移动和中国联通三家电信企业及铁塔公司共同参与。铁塔公司作为站址建设的主力，是通信基础设施专项规划的主要参与方。

通信基础设施专项规划对推动联合规划具有重要意义，具体如下：

(1) 编制通信基础设施专项规划，由它而建立起的由政府、电信企业和铁塔公司组成的规划编制小组是铁塔公司与电信企业开展联合规划的雏形，为日后更为广泛的合作打下了基础。

(2) 专项规划中的站址需求涵盖了三家电信企业未来3至5年网络发展的需求，是联合规划中的重要内容。

(3) 通信基础设施专项规划不但能够简化新建站的建设手续，降低选址难度，解决了电信企业以往的疑难站址建设，完善了电信企业网络覆盖，而且有利于站址保护，减少站址的拆迁和退服，提高了用户感知。

目前已有部分省下发推动通信基础实施建设的文件或者立法，这些为铁塔公司和电信企业开展通信基础设施专项规划创造了良好的外部氛围，应充分利用这一契机来建立信任，创新沟通模式，开展联合规划，实现合作互赢。

### 4.2 新区站址规划

随着我国经济社会的持续高速发展和城市人口的不断扩张，各地城市新区建设层出不穷，新区的网络覆盖及站址建设也成为各家电信企业和铁塔公司主要的关注内容。由于新区一般对站址建设具有统一的要求，具备统筹规划的条件，因此迫切要求铁塔公司和电信企业展开合作，与政府共同规划新区的站址。

新区站址规划相对于成熟地区的站址建设，具有以下明显的特点：

(1) 前瞻性：在新区市政规划阶段，站址建设就应及时跟进，提前布局站址资源，力争将新区站址资源规划纳入新区整体规划，减少建设过程中的选址难度。

(2) 全局性：新区站址的规划要着眼于新区市政

长远规划和电信企业未来网络的发展，需要对站址、管线等基础资源统筹规划。

(3) 针对性：由于城市新区建设周期长，站址规划的制定应与市政建设进度和人口入住情况充分结合。

在与电信企业开展新区联合规划时应充分把握这些特点，因地制宜布局站址资源，具体要求如下：

(1) 积极掌握规划局、管委会以及城市管理等政府部门对站址建设的要求，积极获取土地房屋、引电等站址资源。

(2) 主动获取新区的功能区定位、面积、人口分布等详细规划信息，分析不同功能区的建筑物特点，初步确定宏站、室分系统、室内外协同建设等不同的建设方式。

(3) 分析新城范围内各家电信企业现网覆盖和站址资源情况，为利旧改造使用存量站址提供依据。

(4) 根据电信企业覆盖策略、网络制式和频段、覆盖指标和容量指标等要求，结合电信企业现有类似场景的站址密度和链路预算，确定不同类型区域中站址规划需满足的站距、规模和挂高要求。

(5) 综合各家电信企业不同制式的站距、挂高等要求，布点时参考电信企业中站间距要求最小者，并在此基础上考虑其他电信企业的覆盖需求以及站间距要求，进行需求整合。同时，结合机房配套和天面资源的配置以及可获取的土地房屋资源，制定初步的站址方案。

(6) 新区站址应提前规划，推动纳入到城乡发展的详细规划中，后续根据功能区的完工时间、用户入住情况和电信企业的建设要求分步实施。

### 4.3 交通干线站址规划

交通干线特别是高铁、地铁等，品牌效应强，入场协调难，引电和建设成本高，电信企业共建共享意愿较强，因此也是开展联合规划重要的突破点。针对交通干线的特点，在开展交通干线的站址规划时应考虑以下方面的问题和要求：

(1) 积极掌握铁路、公路等交通管理部门对站址建设的要求以及可获取的土地房屋、电力等资源。

(2) 主动获取交通干线规划需要的里程、车流量、道路使用车型、车速、车体损耗和路基高度等信息。

(3) 分析沿线各家电信企业现网覆盖和站址资源情况，为利旧改造使用存量站址提供依据。

(4) 根据电信企业交通干线覆盖策略、网络制式和频段、覆盖指标和容量指标等要求，结合电信企业现有类似交通干线的站址布局和链路预算分析，确定交通干线覆盖中站址规划的站距、规模和挂高要求。

(5) 综合各家电信企业不同制式的站距、挂高、距路基垂直距离等要求，考虑机房配套和天面资源的配置，结合可获取的土地房屋资源，加强整合并制定初步的站址方案。

如某市地铁项目，地铁人流量大，用户对网络需求迫切，但是电信企业入场协调困难，施工难度大，当地铁塔公司主动与地铁公司进行对接，牵头各家电信企业制定网络规划方案。协调组织施工后，不但降低了各家电信企业入场和建设的难度，而且节省了大量投资。具体如图2所示。

### 4.4 旅游景区站址规划

由于旅游景区具有人口密集、用户对通信需求旺盛、生态环境保护严格、站址建设难度大等特点，因此三家电信企业有必要与铁塔公司开展合作，对景区站址规划进行统筹规划。针对景区的特点，在开展景区的站址规划时应考虑以下方面的问题和要求：

(1) 积极掌握景区管委会、城管等政府部门对站址建设的要求以及可获取的土地房屋、电力等资源。

(2) 分析景区内或周边各家电信企业现网覆盖和站址资源情况，为利旧改造使用存量站址提供依据。

(3) 根据电信景区覆盖策略、网络制式和频段、覆盖指标和容量指标等要求，结合电信企业现有类似场景的站址布局和链路预算分析，确定站址规划的站距、规模和挂高要求。

(4) 综合各家电信企业不同制式的站距、挂高、距路基垂直距离等要求，考虑机房配套和天面资源的配置，结合可获取的土地房屋资源，加强整合并制定站址方案。

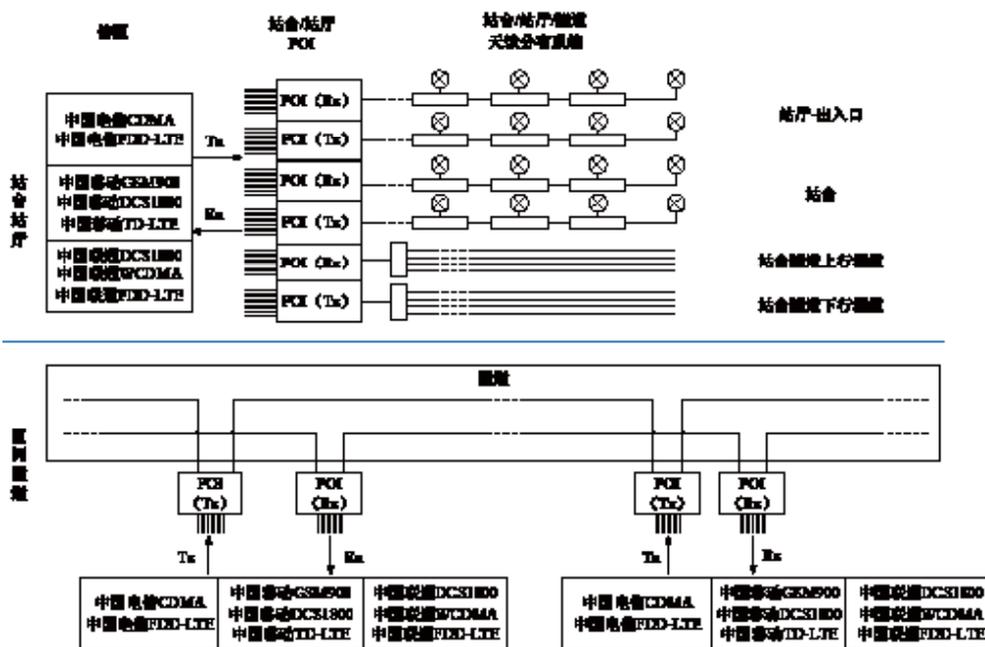


图2 某市地铁建设方案示意图

如国内某著名5A级景区网络覆盖较差，游客投诉严重，但由于景区环境保护严格，电信企业在景区的基站选址和建设难以开展，铁塔公司主动与本地政府进行对接，组建由经信委、景区管委会、三家电信企业和铁塔公司组成的站址规划小组，对景区内站址进行统筹规划，在三家电信企业198个站址需求的情况下，通过整合共享，采用与景区环境相协调的建设方式，最终规划建设100个站址，既满足了景区管委会关于景区生态、景观保护，又实现了电信企业网络覆盖要求，从而实现各方双赢的局面。

## 5 结束语

目前部分省市铁塔公司已经与电信企业开展了不同程度的联合规划，总体还处于探索阶段，联合规划的模式、方法以及内容都需要在实践中进一步地创新和经验积累，但通过开展联合规划，铁塔公司能够提前准备站址资源，引导共享，提高了行业投资效率，同时也加快了电信企业战略快速落地，符合国家、电信企业和铁塔公司等各方的利益，未来联合规划的广

度和深度必将得到进一步加强。

## 参考文献：

- [1] 方俊利,张帆,李富新. 城市新区无线网络规划方法探讨[J]. 邮电设计技术, 2011(10): 77-80.
- [2] 陈卜江. 面向城镇化发展的TD-LTE无线网络规划建设[J]. 移动通信, 2015(14): 19-23.
- [3] 蒋鲸海. 浅谈4G网络站址规划与城市规划相结合的应用[J]. 信息通信, 2015(1): 262-263.
- [4] 许晨昕,孙芳杰. 复杂地形下的TD-LTE规划方法[J]. 通信管理与技术, 2014(1).
- [5] 张必达,王森,曹凡. 数据挖掘助力LTE网络规划[J]. 邮电设计技术, 2015(3): 44-48.
- [6] 张世杰,马玉坤,李建明,等. 广州联通武广高铁LTE网络规划经验[A]. 2014广东通信青年论坛专刊[C]. 广州: 移

(下转第 47 页)

# 面向VoLTE的关口局组网方案分析

马洪源<sup>1</sup>, 刘博士<sup>2</sup>, 孙逊<sup>1</sup>, 卜忠贵<sup>1</sup>

(1. 中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080;  
2. 中国移动通信集团设计院有限公司内蒙古分公司, 内蒙古 呼和浩特 010010)

**【摘要】** 关口局作为运营商之间以及运营商内部不同网络之间互联中继的节点, 延伸了用户的通信范围。从中国移动引入VoLTE后的网络结构入手, 重点分析了语音业务流量流向变化, 基于不同时期的业务预测结果, 提出了关口局演进思路 and 分阶段部署建议。

**【关键词】** 关口局 VoLTE IMS MGCF GMSC

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.009 中图分类号: TN91 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0042-06  
引用格式: 马洪源,刘博士,孙逊,等. 面向VoLTE的关口局组网方案分析[J]. 移动通信, 2016,40(2): 42-47.

## Analysis on Gateway Networking Structure Oriented to VoLTE

MA Hong-yuan<sup>1</sup>, LIU Bo-shi<sup>2</sup>, SUN Xun<sup>1</sup>, BU Zhong-gui<sup>1</sup>

(1. China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China;  
2. China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Inner Mongolia Branch, Hohhot 010010, China)

**[Abstract]** As the relay node interconnecting between operators or between operators' different internal networks, gateway extends user's communication range. According to the network structure of China Mobile after introducing VoLTE, the traffic change of voice was analyzed in depth. Based on results of traffic prediction at different times, the evolution thought and phased deployment recommendation of gateway were presented.

**[Key words]** gateway VoLTE IMS MGCF GMSC

### 1 关口局现状

中国移动现网关口局主要包括移动关口局和CM-IMS (China Mobile-IP Multimedia Subsystem, 中国移动IP多媒体子系统) 固网关口局, 其中移动关口局分为综合业务关口局和独立关口局。综合业务关口局负责增值业务平台类和客服 (外呼和省际来话) 业务的互联, 一般省内设置一对; 独立关口局负责部分长途业务、彩铃平台、本地网端局以及其他运营商之间的互联互通, 独立关口局采用控制与承载相分离, 大

本地网组网方式, GMSC SERVER (Gateway Mobile Switching Center Server, 网关服务器) 集中设置在省中心节点, 采用1+1互助方式容灾, GMGW成对设置在各本地网, 采用双归属、负荷分担方式疏通业务; 独立关口局与移动网内软交换端局100%采用IP连接, 与其他运营商之间采用TDM (Time Division Multiplexing, 时分复用) 方式连接。CM-IMS固网关口局负责IMS域与CS (Circuit Switched, 电路域) 域之间的业务互通, 由于2014年之前中国移动没有固网运营牌照, IMS固网用户与其他运营商用户之间业务互通需要通过铁通关口局转接。关口局网络结构现状如图1所示。

收稿日期: 2015-10-16

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

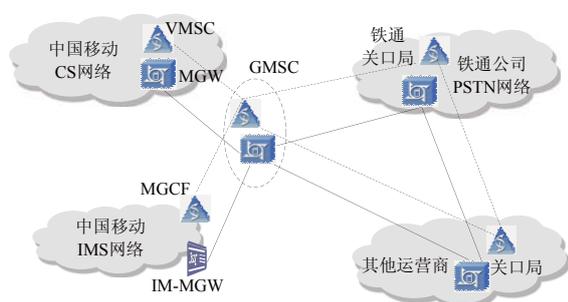


图1 关口局网络结构现状

## 2 引入VoLTE后对关口局的影响

### 2.1 话音业务流量流向

引入VoLTE（Voice over LTE）之前，CM-IMS固网用户较少，约占全网用户的2%。以A接口话务量为基准，分析某省会本地网近两年话务模型，独立关口局疏通CS与其他运营商之间的话务约占总话务量的

30%，而CM-IMS与CS之间话务量以及CM-IMS与其他运营商之间话务量仅占总话务量的1%。

中国移动VoLTE建设策略明确IMS网络中功能基本一致的网元采用固移融合的方式进行建设。随着VoLTE用户的逐步增长，CS与IMS间互通总容量将远大于现有IMS关口局容量。

假定VoLTE主被叫用户比例为1:1，初期VoLTE用户注册在LTE网络和2G/3G网络的比例为7:3，通过该本地网VoLTE用户、CM-IMS固网用户以及传统CS语音用户占比乘以表1中的不同场景可得出IMS与CS之间互通话务比例。以VoLTE发展初期为例，VoLTE用户比例占全网总用户的10%，CS与IMS网络之间穿透话务比约为77%，约占本地网总话务的11%。

通过确定VoLTE不同发展阶段IMS与CS之间互通话务比例后，可得出该本地网MGCF（Media Gateway Control Function，媒体网关控制功能）/IM-MGW（IP Multimedia-Media Gateway，IP多媒体子系统媒体网

表1 引入VoLTE后话务流量流向场景比例

场景比例/%	本端		场景比例/%	对端		场景比例/%	场景比例/%	业务路由
50	VoLTE用户主叫	主叫VoLTE位于LTE网络	70	被叫VoLTE位于LTE网络	10	70	IMS网内疏通	
				被叫VoLTE位于2G/3G网络		30	IMS与CS网间（域选CS）	
				被叫VoBB用户位于CM-IMS网	1	100	IMS网内疏通	
				被叫2G/3G用户、外网用户	89	5	IMS与他网IMS间（互通）	
				被叫2G/3G用户、外网用户		95	IMS与CS网间（互通）	
		主叫VoLTE位于2G/3G网络	30	被叫VoLTE位于LTE网络	10	70	IMS与CS网间（锚定IMS）	
				被叫VoLTE位于2G/3G网络		30	CS域内（锚定IMS、域选CS）	
				被叫VoBB用户位于CM-IMS网	1	100	IMS与CS网间（互通）	
				被叫2G/3G用户、外网用户	89	5	IMS与他网IMS间（互通）	
				被叫2G/3G用户、外网用户		95	CS域内	
50	VoLTE用户被叫	被叫VoLTE位于LTE网络	70	主叫VoLTE位于LTE网络	10	70	IMS网内疏通	
				主叫VoLTE位于2G/3G网络		30	IMS与CS网间（锚定IMS）	
				主叫VoBB用户位于CM-IMS网	1	100	IMS网内疏通	
				主叫2G/3G用户、外网用户	89	5	IMS与他网IMS间（互通）	
				主叫2G/3G用户、外网用户		95	IMS与CS网间（锚定）	
		被叫VoLTE位于2G/3G网络	30	主叫VoLTE位于LTE网络	10	70	IMS与CS网间（域选CS）	
				主叫VoLTE位于2G/3G网络		30	CS域内（锚定IMS、域选CS）	
				主叫VoBB用户位于CM-IMS网	1	100	IMS与CS网间（域选IMS）	
				主叫2G/3G用户、外网用户	89	5	IMS与他网IMS间（互通）	
				主叫2G/3G用户、外网用户		95	CS域内（锚定IMS、域选CS）	

关) 承载的穿透话务量, 其中VoLTE用户作为被叫用户发生锚定的情况需要考虑对MGCF/IM-MGW的业务需求。

$$\text{MGCF/IM-MGW容量需求} = (\text{满足期末本地网VoLTE话务量} + \text{满足期末本地网I-SBC话务量}) \times \text{CS与IMS穿透话务比} \div 30 \div \text{每线利用率} \quad (1)$$

同时, 基于现有网络结构及话务路由也可以导出不同时期GMSC/GMGW需要承载的互通话务量。

$$\text{GMSC/GMGW容量需求} = (\text{满足期末2G/3G用户对GMSC的话务需求} + \text{满足期末CM-IMS固网用户对GMSC的话务需求} + \text{满足期末VoLTE用户对GMSC的话务需求}) \div 30 \div \text{每线利用率} \quad (2)$$

其中, 满足期末2G/3G用户对GMSC的话务需求测算需考虑2G/3G用户与CM-IMS固网用户、铁通用户、外网用户的互通话务需求以及呼叫中心接入话务需求等; 满足期末CM-IMS固网用户对GMSC的话务需求测算需考虑CM-IMS固网用户与2G/3G用户、铁通用户、外网用户的互通话务需求; 满足期末VoLTE用户对GMSC的话务需求测算需基于表1的语音流量流向场景考虑VoLTE与其他运营商之间的互通比例以及与中国移动CS域之间的互通比例; 每线利用率取70%。

VoLTE发展各阶段用户及话务占比指标表如表2所示。

通过上述推算过程, 基于表2假定及测算结果, 可以得出在VoLTE不同发展阶段CS与IMS间话务、IMS与外网间话务、CS与外网间话务发展趋势如图2所示。

表2 VoLTE发展各阶段用户及话务占比指标表

指标名称	初期/%	中期/%	主导期/%	后期/%
本地外网用户/总用户	39	37	35	33
本网用户/总用户	61	63	65	67
VoLTE用户/本网用户	10	30	50	70
本网普通CS用户/本网用户	90	70	50	30
IMS域内的VoLTE用户/VoLTE总用户	70	90	96	100
CS域内的VoLTE用户/VoLTE总用户	30	10	4	0
本网普通CS用户/总用户	54	42	30	18
CS域内的VoLTE用户(被叫锚定)/总用户	2	2	1	0
IMS域内的VoLTE用户/总用户	5	19	34	49

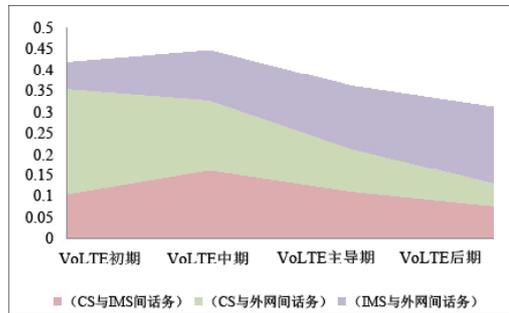


图2 VoLTE不同发展阶段互联互通话务发展趋势图

从图2中可以直观得到, 随着VoLTE用户规模的增长:

(1) IMS与外网间话务量持续增长。其中, VoLTE中期之前主要是IMS与外网CS之间互通话务, 中期之后主要是IMS与外网IMS之间互通话务。

(2) CS与外网间话务量持续下降。其中, VoLTE中期之前主要是CS与外网CS之间互通话务, 中期之后主要是CS与外网IMS之间互通话务。

(3) 移动CS与IMS间话务量将呈现先增后减的趋势。

引入VoLTE后, 各局向之间互通话务流量流向出现明显变化, 在现有网络结构下, 越来越多的话务需要经由MGCF/IM-MGW疏通至GMSC/GMGW。语音业务流量流向的改变将对GMSC/GMGW网络资源尤其是网内IP处理能力产生较大需求。

## 2.2 锚定方案的影响

依据中国移动VoLTE语音业务主叫不锚定、被叫锚定的方案, 外网用户呼叫移动VoLTE用户将对本地网GMSC的SSP (Service Switching Point, 业务交换节点) 能力产生需求, 初期可以利用现网设备冗余满足能力需求, 但随着VoLTE用户增长到一定比例, 对GMSC的SSP能力有一个快速增长需求, 增长趋势如图3所示。

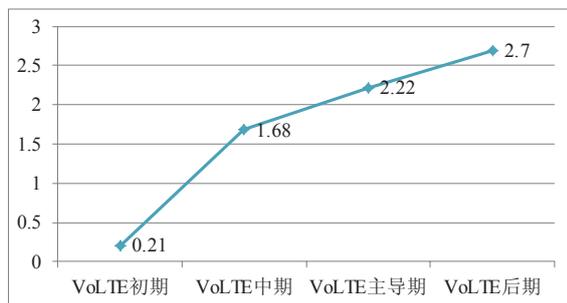


图3 GMSC SSP能力需求增长趋势示意图

### 2.3 投资及网络结构的影响

基于图1所示的现有网络结构，随着VoLTE用户增长，不可避免地需要对MGCF/IM-MGW和GMSC/GMGW网络能力同时进行扩容，造成投资浪费。同时，现有网络结构话音业务互联互通路由不统一，网络资源无法共享；语音业务出现部分路由迂回，经过多次编解码转化，语音质量受损；路由中过多的节点也增加了潜在的网络故障点，给故障定位和网络维护带来困难。

## 3 引入VoLTE后关口局组网方案

针对上述问题，需要在VoLTE发展不同阶段采用合适的策略方案，符合未来三至五年网内网间互通话务量增长和分配规律，减少IMS和外网间呼叫途径的节点，节省网络资源，避免重复投资。

### 3.1 VoLTE发展初期和中期

IMS网络及VoLTE用户规模有限，各大运营商网络部署不够完善，传统语音业务仍占主导地位。此时主要考虑软交换独立关口局和MGCF进行融合建设，具体方案如下：

方案一：现网升级支持融合

方案一网络拓扑图如图4所示。现网GMSC升级支持MGCF，原有固网MGCF取消，硬件利旧。

方案二：新建MGCF支持GMSC功能，与软交换端局或汇接局互联

方案二网络拓扑图如图5所示。新建MGCF支持固网IMS和VoLTE，同时具备GMSC功能，通过CMN（Call Mediation Node，呼叫协调节点）或信令转接点LSTP与

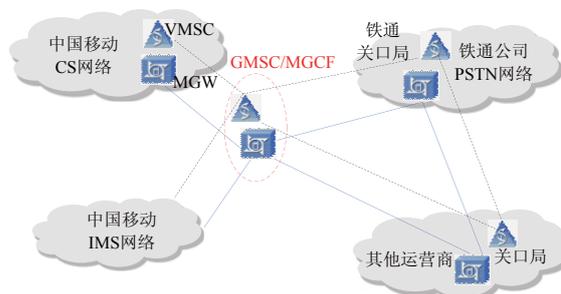


图4 方案一网络拓扑图

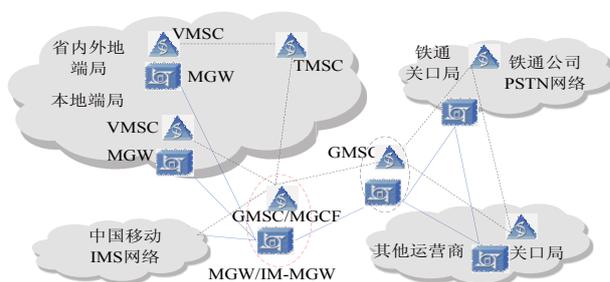


图5 方案二网络拓扑图

端局直连；现网软交换关口局不变，与其他运营商互联保持不变，新建MGCF随VoLTE用户增长扩容。

方案三：新建MGCF支持GMSC功能，逐步替换现网GMSC

方案三网络拓扑图如图4所示。新建MGCF兼做GMSC，随VoLTE部署以本地网为单位采用同信令点方式进行替换，逐步完成改造。

三种方案优缺点对比如表3所示：

表3 三种方案优缺点对比

	优点	缺点
方案一	网络结构简单，界面清晰； 现网软交换网元不受影响	升级网元较多，投资大； 同时因系统资源瓶颈，无法满足后续发展需求
方案二	避免对软交换独立关口局投资； 初期改造局点少，路由规则简单	汇接局和本地端局需要增加新局向，局数据复杂； 与他网用户话务互通依旧需要经过MGCF和GMSC，后期随着GMSC老化可能增加网络故障隐患
方案三	网络结构清晰，替换老旧设备； 支持后续发展	工程量较大，尤其是网间割接协调工作量大，改造周期长

鉴于移动现网部分独立关口局平台老旧，建议在工程任务紧的VoLTE发展初期采用方案二快速实现业务部署；对于现网GMSC/GMGW平台老旧且一定时期内该本地网其他运营商传统2G/3G语音业务仍占主导时，考虑采用方案三，同时以此为契机替换独立关口局老旧平台。

### 3.2 VoLTE发展中远期

从图2可以看出，VoLTE发展到中期以后，各大运营商IMS网络发展基本成熟，IMS与外网尤其是IMS与外网IMS网间话务出现较快增长，此时运营商之间将部署VoLTE直接互通节点I-SBC。I-SBC可解决跨域IMS通信中存在的拓扑结构暴露、不同IP版本网络或用户之间不通等问题。

根据3GPP标准规定，I-SBC网元包含IBCF（Interconnection Border Control Function，互通边界控制功能）和互通边界网关功能两个逻辑网元。其中，IBCF在SIP/SDP协议层能够提供特定功能（如IPv4与IPv6转换、拓扑隐藏、控制传输平面等）并选择恰当信令，使IPv4与IPv6间的SIP应用实现互通。TrGW（Transition Gateway，过渡网关）位于媒体路径中，具有网络地址/端口转换、IPv4/IPv6协议转换、编解码转换等功能，用于实现用户面在网络边界的互通。IBCF与TrGW之间通过Ix接口连接，不同运营商之间IMS网络互通架构和接口示意如图6所示：

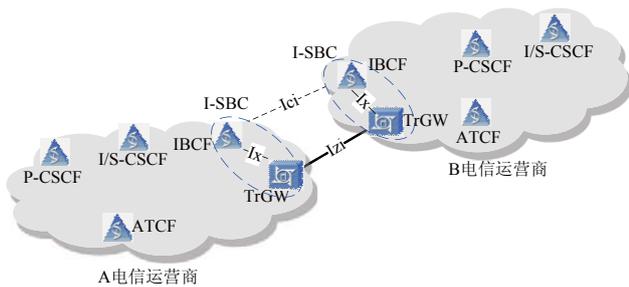


图6 IMS网间互通网络拓扑图

根据国内其他运营商的VoLTE进度及SIP互通测试进度，I-SBC可能在两至三年后开始部署，本网VoLTE与他网VoLTE之间的互通话务将经过I-SBC；对

于网内互通话务，部分网间互通话务继续经过MGCF/GMSC。

VoLTE发展中期以后，根据I-SBC节点部署情况，经过I-SBC互通的话务量可能持续增长，而经过MGCF和GMSC融合节点的互通话务量可能停止增长，出现下降。

## 4 结束语

上述推算过程基于中国移动关口局网络现状，并假设总用户规模基本平稳。在VoLTE引入初期，建议新建MGCF支持GMSC功能，并通过IP承载网与汇接局实现互通；对于GMSC/GMGW硬件平台老旧且相当一段时间内传统语音仍占主导地位的本地网，可以考虑新建MGCF替换老旧GMSC；GMSC/GMGW割接应充分考虑互通谈判代价及投资，在条件允许的情况下，同步实施铁通关口局融合改造。

关口局融合过程中由于MGCF和GMSC分属不同域的设备，融合改造后网管接入方式需要根据本地网分工界面确定；同理，话单上报方式在MGCF和GMSC合设后也应当明确。

随着VoLTE用户逐步占主导地位，MGCF/GMSC需求开始逐步萎缩，而I-SBC需求则进一步增强，引导IMS网间互通话务经过I-SBC设备有助于减少对MGCF/GMSC SSP能力的扩容。此外，I-SBC设置还应考虑VoLTE SBC及EPC媒体网各节点设置情况。

## 参考文献：

- [1] 3GPP TS 29.165 V13.1.1. Inter-IMS Network to Network Interface[S]. 2015.
- [2] 3GPP TS 23.228 V11.3.0. Technical Specification Group Services and System Aspects; IP Multimedia Subsystem (IMS)[S]. 2011.
- [3] 3GPP TS 29.163 V10.7.0. Interworking between the IP Multimedia (IM) Core Network (CN) subsystem and Circuit Switched (CS) networks[S]. 2012.
- [4] YD/T 1930-2009. 统一IMS组网总体技术要求（第一阶段）[S]. 2010.

[5] YD/T 2007-2009. 统一IMS的功能体系架构(第一阶段)[S]. 2009.

[6] YD/T 1984-2009. 移动通信网IMS系统设备技术要求[S]. 2009.

[7] Kgfleischmann. IP Multimedia Subsystem[EB/OL]. (2015-10-12). [http://en.wikipedia.org/wiki/IP\\_Multimedia\\_Subsystem#Interfaces\\_description](http://en.wikipedia.org/wiki/IP_Multimedia_Subsystem#Interfaces_description).

[8] 中国移动通信集团公司. 中国移动通信网络组织规范\_GSM网络路由组织原则V2.1.2[S]. 2013.

[9] 中国移动通信集团公司. 中国移动CM-IMS MGCF设备规范V1.0.0[S]. 2010.

[10] 中国移动通信集团公司. 中国移动CM-IMS IM-MGW设备规范V1.0.0[S]. 2010.

[11] 中国移动通信集团公司研究院. 中国移动CM-IMS网络总体技术要求[S]. 2010.★

### 作者简介



马洪源：工程师，硕士毕业于北京邮电大学，现任中国移动通信集团设计院有限公司项目经理，从事移动通信核心网咨询、规划和工程设计工作。



刘博士：助理工程师，学士毕业于内蒙古大学，现任中国移动通信集团设计院有限公司内蒙古分公司项目经理，从事移动通信核心网规划与咨询等工作。



孙逊：工程师，硕士毕业于重庆邮电大学，现任中国移动通信集团设计院有限公司项目经理，从事移动通信核心网咨询、规划和工程设计工作。

(上接第 41 页)

动通信, 2014: 88-94.

[7] 李飞. 中小城市控制性详细规划编制的办法探讨[J]. 建筑工程技术与设计, 2015(13).

[8] 李朝政, 许强, 邱学. 地铁移动通信网络规划研究[A]. 2011信息通信网技术业务发展研讨会[C]. 北京: 北京通信学会, 2011.

[9] 张树才. 移动通信密集市区无线网络规划探究[J]. 中国新通信, 2014(19): 17-18.

[10] 刘金艺, 陈越茂, 吕亚莉. 小基站成LTE异构网中特殊场景覆盖主角[J]. 通信世界, 2013(2): 48-49.★

### 作者简介



王尚奇：工程师，硕士毕业于北京交通大学，现任职于中国铁塔股份有限公司通信技术研究院，主要从事无线网络技术研究、网络规划和方案设计等工作。



王亚昕：工程师，硕士毕业于北京交通大学，现任职于中国铁塔股份有限公司通信技术研究院，主要从事无线网络规划和优化等工作。



潘三明：高级工程师，硕士毕业于北京邮电大学，现任职于中国铁塔股份有限公司通信技术研究院，主要从事无线通信相关规划及新技术研究工作。

# 基于自组织网络的LTE RACH优化技术研究

江华

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)

**【摘要】** 通过对基于自组织网络的LTE RACH自优化技术进行研究, 包括RACH自优化的基本需求和影响因素、实现RACH自优化功能的自组织网络架构和RACH自优化处理方法, 以提高LTE网络性能和降低运维成本。基于eNodeB和UE的统计及测量数据, 可以在无人工干预的情况下自动触发RACH的优化。

**【关键词】** LTE RACH自优化 自组织网络 运维成本

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.010 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0048-04  
引用格式: 江华. 基于自组织网络的LTE RACH优化技术研究[J]. 移动通信, 2016,40(2): 48-51.

## Research on LTE RACH Optimization Technology Based on Self-Organizing Network

JIANG Hua

(Zhongxing Telecommunication Equipment Corporation, Shenzhen 518057, China)

**[Abstract]** LTE RACH optimization technology based on self-organizing network was discussed in this paper. Specifically, the basic requirements, influencing factors, self-organizing network architecture and processing methods of RACH optimization were taken into consideration to improve the performance, operation and maintenance cost of LTE network. Based on statistics and measured data of eNodeB and UE, the automatically triggered RACH optimization can be realized.

**[Key words]** LTE RACH optimization SON OPEX

### 1 引言

随着移动技术的演进和实际网络的部署, 移动运营商在提高移动服务质量的同时面临着两方面压力: 一方面是越来越高的人力成本; 另一方面是越来越低的通信资费。因此, 移动运营商不得不越来越重视降低OPEX (Operating Expense, 运维成本)。通过技术来实现移动网络的自动化和智能化, 减少运维过程

中人工参与的力度和维度, 成为移动运营商降低成本的迫切需求。为此, 在由移动运营商主导的NGMN (Next Generation Mobile Networks, 下一代移动通信网络) 联盟上, 一些国际主流运营商如西班牙的Telefonica、中国移动、英国的沃达丰等, 提出了SON (Self-Organizing Network, 自组织网络) 的需求, 并推动3GPP根据NGMN需求逐步实现标准化。

自组织网络的需求主要由四部分组成, 分别是自配置、自优化、自治愈和网管自组织网络, 每部分都包括多个需求用例, LTE的RACH (Random Access

收稿日期: 2015-09-22

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

Channel, 随机接入信道) 负荷优化就是自优化的需求用例之一。本文通过分析基于SON的RACH自优化需求和影响因素、基于SON的实现架构和处理方法等内容, 以自优化技术来降低运维成本、提高LTE RACH接入性能和优化上行链路资源。

## 2 基于SON的RACH自优化需求和影响因素

LTE随机接入信道是LTE的主要上行信道之一, 用于建立UE (User Equipment, 用户设备) 和LTE基站之间的无线链路, 实现上行同步和上行共享信道资源申请。为了实现随机接入信道的功能, LTE根据实际网络覆盖情况为其分配了专用的上行链路无线资源, 而随机接入过程涉及物理层、MAC (Medium Access Control, 媒体接入控制) 层和RRC (Radio Resource Control, 无线资源控制) 层等多个协议层。

图1为LTE物理层定义的RACH前导格式, 主要由三部分组成: 长度为 $T_{CP}$ 的循环前缀 (CP)、长度为 $T_{SEQ}$ 的前导序列 (SEQ) 和长度为 $T_{GT}$ 的保护间隔 (GT), 后者是为RACH分配的时隙长度或UpPTS与前导的时间差。



图1 LTE RACH前导格式

表1罗列了LTE定义的五种前导格式, 包括对应分配的子帧数、CP长度、序列长度和保护间隔长度, 每种格式都与扇区覆盖半径直接关联, 较长的序列占用的上

表1 LTE RACH前导相关参数

前导格式	分配子帧数	CP长度/ $\mu\text{s}$	序列长度/ $\mu\text{s}$	GT长度/ $\mu\text{s}$	支持扇区半径/km
0	1	103	800	97	14.53
1	2	648		516	77.34
2	2	203	1600	197	29.53
3	3	684		716	100.16
4	UpPTS	15	133	9	1.41

行无线资源也就越多, 当然覆盖的范围也就越大。

在多扇区组网和多用户接入的实际应用场景下, RACH的相关参数配置对LTE系统性能产生重要影响, 主要有两方面: 首先可能产生RACH碰撞, 接入碰撞会使呼叫建立延时、失败或上行失步, 后者影响数据恢复延时、切换延时等, 也直接影响呼叫建立成功率和切换成功率, 因此影响LTE网络性能和用户体验; 其次影响系统容量, 由于上行链路需要为RACH保留无线资源, 在有限的上行无线资源中, 如果RACH占用过多, 那么上行共享信道资源就相应减少。

LTE RACH优化实际是每个扇区的RACH配置参数优化, 但影响每个扇区RACH配置的因素有很多, 包括如下:

(1) 扇区覆盖的人口密度。人口密度越大, 接入碰撞的可能性也就越大。

(2) 呼叫到达率。到达率越高, 接入碰撞的概率就越低。

(3) 引入切换率。尽管影响切换成功率的因素很多, 但如果切换第一步在目标扇区接入失败, 后续切换过程则无从谈起。

(4) 扇区是否位于跟踪区边缘。UE跨越跟踪区需要重新接入注册过程, 因此接入边缘扇区接入频率高, 当然碰撞的可能性也就越大。

(5) 业务模式影响DRX (Discontinuous Reception, 非连续接收) 和上行同步状态, 因为需要通过RACH的接入过程完成。

(6) 网络配置影响。如天线倾角、发射功率设置和切换门限, 在这些配置中, 任何变化都影响最佳的RACH配置。例如, 扇区的天线倾角变化, 扇区的覆盖将改变, 从而影响呼叫到达率和每个扇区的切换率, 网络覆盖直接影响每个扇区的RACH配置, 因此RACH优化与网络优化密切相关。

基于SON的RACH自优化的需求目标首先是性能方面, 包括降低RACH接入碰撞的概率、提高接入成功率、减少呼叫建立时间、提高切换成功率等; 其次是

优化LTE上行链路为RACH保留的资源，提升系统上行链路容量，即增加上行共享信道资源。

### 3 基于SON的RACH自优化架构

根据实现功能所处是在基站或OAM (Operation Administration and Maintenance, 操作、管理和维护) 上, SON架构主要分为集中式、分布式和混合式。其中, 如果SON实现功能集中在OAM上, 则是集中式架构; 如果SON实现功能分布在各个基站上, 则是分布式架构; 如果SON实现功能既在OAM上也分布在各个基站上, 则是混合式架构。

鉴于RACH自优化过程需要大量的相关性性能统计数据 and 运算, 为了降低基站系统的负荷及不影响基站性能, 采用SON集中式架构来实现, 如图2所示。集中式架构使RACH自优化功能集中在OAM上, 而RACH自优化控制策略也由OAM导入; 根据移动运营商的实际需求, 一些人工干预的指令也是通过OAM导入; eNodeB负责收集和测量RACH性能参数, 并接收OAM优化后的RACH参数。

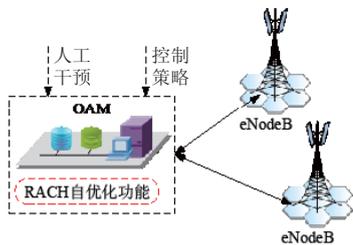


图2 集中式SON架构的RACH自优化

基于SON的RACH自优化技术要求LTE系统支持自适应控制, 并通过RACH的相关KPI (Key Performance Indicator, 关键性能指标) 和性能参数来触发自优化构成。不同的RACH自优化控制策略, 相关的KPI及关键性能参数也不同, 但宗旨都是在提升LTE RACH性能的基础上提高4G系统的容量。

影响LTE RACH自优化因素很多, 即使相同的扇区在不同的时间段差异也很大, 因此自优化过程不是一次性的而是长期过程, 这就需要采集大量的性能数据作为下一步优化的基础。基于大量性能数据分析和处理, 输出RACH优化性能参数将作为下一轮自优化的基础和前提。总之, LTE RACH自优化实际是周而复始的过程。

### 4 LTE RACH自优化的处理方法

SON的自优化功能实现主要是通过KPI或性能统计参数来触发, 如果每个LTE扇区的RACH性能不满足其KPI指标要求, 则可以进一步触发RACH的优化和校正。

RACH配置优化包括如下:

- (1) RACH的资源单元分配优化。
- (2) RACH前导拆分, 涉及在专用、组A和组B之间。
- (3) RACH的backoff参数值优化; RACH发送功率控制优化。

LTE RACH的自优化要基于相关性性能统计数据, 这些数据主要来源于以下方面:

(1) UE统计和上报。为此UE需要支持RACH优化信息上报, 并通过RACH参数与eNodeB进行交换, UE收到轮询信令后需上报的信息包括: 在成功RACH完成前发送RACH前导的次数和竞争解决失败的次数。UE支持接入试探次数上报, 这与LTE之前的移动系统性能统计差别明显, 而之前的系统很难统计到这方面数据, 更多需要人工路测或经验值, 因此LTE RACH自优化机制简化了RACH参数配置过程并降低了运维成本。

(2) eNodeB测量。将在单位时间间隔内每个扇区接收到RACH的前导数量作为覆盖区内的话务量统计, 判断接入碰撞的可能性。

对于RACH的自优化过程, 实际是RACH自优化功能对UE统计和上报的RACH数据以及对eNodeB测量的数据进行统计与估算, 并通过优化策略判断是否自动触发RACH优化的过程。

图3为基于集中式SON架构的RACH自优化性能参数的闭环处理过程, 各个网元的功能是: UE根据eNodeB的轮询信令上报相关RACH前导的统计信息; eNodeB收集UE上报的测量收据、测量收到的RACH前导数量; OAM中的性能管理功能是收集、存储和处理来自eNodeB的性能统计数据, 根据RACH自优化控制策略, 通过运算和数据挖掘, 输出RACH自优化控制参数, 并输出到OAM中的配置管理; 配置管理负责将RACH自优化控制参数输出到eNodeB, 最后完成了闭环RACH自优化过程, LTE基站系统在优化后的RACH

参数下运行，提升网络系统性能。LTE RACH的自优化构成实际是RACH性能数据采集、统计、传输、存储、分析处理和重新配置的周而复始过程。

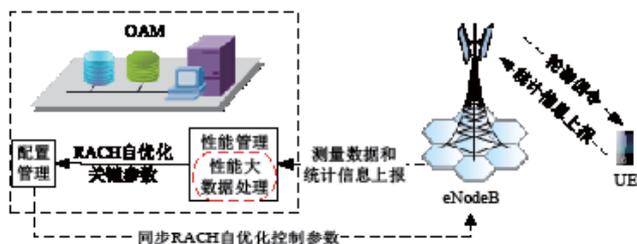


图3 基于集中式SON架构的RACH自优化性能参数处理

图4是在同一个扇区中的测试数据对比，该扇区的显著特征是一天中在某些时间段用户较多、在某些时间段用户很少，接入成功率呈“凹”形。其中，未优化的接入成功率变化幅度范围很大，当接入用户数量很多时，接入成功率降低，而当接入用户数量很少时，接入成功率很高；基于SON自优化后的接入成功率变化幅度平稳，无论是用户多还是用户少，都不会大起大落，保证了较高的接入成功率。

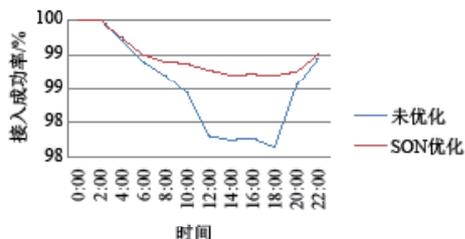


图4 未优化和基于SON自优化的接入成功率测试对比

## 5 结束语

基于SON的LTE RACH优化目的是降低接入碰撞并提高系统容量，而影响RACH性能提升的因素很多，涉及覆盖的人口密度、呼叫和切换成功率等；RACH自优化可通过基于SON的集中式架构或分布式架构实现，但触发RACH的自优化需要分别根据UE和eNodeB的大量相关RACH测量数据，并上报进行统计和挖掘，输出RACH性能控制参数实现自动RACH优化自动控制。总之，基于SON的LTE RACH优化是基于

测量数据并在无人工干预的场景下自动完成，可在提升LTE网络性能的同时降低OPEX。

## 参考文献：

- [1] 3GPP TS 36.211. E-UTRA; Physical Channels and Modulation[S]. 2009.
- [2] 3GPP TS 36.300. E-UTRA and E-UTRAN, Overall description; Stage 2[S]. 2009.
- [3] 谢大雄,朱晓光,江华. 移动宽带技术——LTE[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2012.
- [4] NGMN Alliance. NGMN Recommendation on SON and O&M Requirements[S]. 2008.
- [5] 朱晓光. 基于自组织网络的基站自优化节能技术研究[J]. 移动通信, 2013(18): 93-96.
- [6] 廖俊锋,朱晓光,周文端. 基于TCP的微波回程链路自适应优化技术研究[J]. 移动通信, 2014(14): 32-36.
- [7] 朱晓光. LTE基站系统的自动软件加载技术研究[J]. 电信科学, 2013(7): 131-135.
- [8] 任倩男,胡楠. TD-LTE随机接入过程与网络优化[A]. Proceedings of 2011 Asia-Pacific Youth Conference on Communication (2011APYCC) Vol.1[C]. 2011.
- [9] 金红军. 宽带战术通信系统架构设计与实现[J]. 通信技术, 2014(9): 1021-1026.
- [10] 朱晓光,江华. LTE基站系统的PCI自配置技术研究[J]. 电信科学, 2014(7): 130-134.
- [11] 张燕. 基于LTE系统的OFDM技术与仿真[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [12] 3GPP TS 32.500. Telecommunication Management; Self-Organizing Networks (SON); Concepts and Requirements[S]. 2008.★

## 作者简介



江华：学士毕业于上海交通大学，现任中兴通讯股份有限公司首席架构师、战略规划部副部长、“移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室”学术委员会主任，长期从事通信产品的技术规划、应用研究和产业化工作。

# 基于NCP1396控制的 LLC半桥串联谐振变换器的设计

邓永清

(连云港杰瑞电子有限公司, 江苏 连云港 222061)

**【摘要】** 通过介绍谐振控制器NCP1396的基本原理及内部组成,对LLC半桥串联谐振变换器的工作原理及数学模型进行分析,详细论述了NCP1396在LLC半桥串联谐振变换器中的典型应用,并给出了相关实验波形。

**【关键词】** 谐振控制器 半桥串联谐振变换器 软开关

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.011 中图分类号: TM46 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0052-05  
引用格式: 邓永清. 基于NCP1396控制的LLC半桥串联谐振变换器的设计[J]. 移动通信, 2015,40(2): 52-56.

## Design of LLC Half-Bridge Series Resonance Converter Based on NCP1396

DENG Yong-qing

(Lianyungang JARI Electronics Co., Ltd., Lianyungang 222061, China)

**[Abstract]** The fundamentals and internal structures of resonance controller NCP1396 were introduced firstly in this paper. Then, the working principle and mathematical model of LLC half-bridge series resonance converter were analyzed. In addition, typical applications of NCP1396 in LLC half-bridge series resonance converter were elaborated. Finally, related experimental waves were presented.

**[Key words]** resonance controller half-bridge series resonance converter soft switch

## 1 引言

LLC谐振型开关变换器是一种具有工作频率高、损耗小、效率高、体积小等诸多优势的软开关变换器。其拓扑结构简单,可以在0~100%全负载范围内轻松实现原边功率开关管的ZVS (Zero Voltage Switching, 零电压开关)和次边整流二极管的ZCS (Zero Current Switching, 零电流开关),且输入电压范围宽,可以满足全球通用的交流输入电压范围及

频率范围。

本文通过对半桥型LLC谐振变换器的工作原理进行分析,并对其频率特性、负载特性进行计算,得出了变换器的谐振元器件参数对其工作过程的影响。为此,设计了一款采用集成电路NCP1396为控制器件的半桥型LLC谐振变换器,其输出功率最大为240W。NCP1396以其控制简单、外围器件少等优点,被大量地应用于LLC串联半桥谐振变换电路中。文中深入探讨了变换器的主要构成及谐振器件的参数计算和选型,并给出实验样机的原边开关管测试波形、次边整流二极管测试波形及整机测试数据。通过对这些波

收稿日期: 2015-06-11

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

形、数据的分析可知，该半桥型LLC谐振变换器设计合理、运行稳定，具有广阔的应用前景。

## 2 LLC半桥串联谐振变换器工作原理

LLC半桥串联谐振变换器的拓扑包括：方波发生部分、整流部分和谐振部分，其控制电芯片为NCP1396。LLC半桥串联谐振变换器拓扑示意图如图1所示：

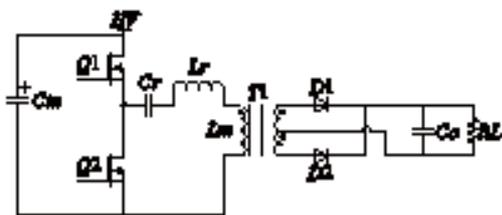


图1 LLC半桥串联谐振变换器拓扑示意图

由图1可知，LLC半桥串联谐振变换器主要由以下元器件组成：

原边功率开关管Q1和Q2；主变压器T1为中心抽头变压器，其励磁电感Lm作为LLC变换器的并联谐振电感；Lr是串联谐振电感，可以外加也可以利用变压器的漏感实现；Cr是谐振电容；次边为半桥全波整流二极管D1、D2及输出电容Co、负载RL。

谐振型半桥LLC变换器的控制芯片的控制方式为PFM（Pulse Frequency Modulation，脉冲频率调制）模式，即按50%的占空比采用固定死区的互补脉冲频率调制控制方式来驱动Q1和Q2。次边通过全波整流二极管D1和D2与输出电容Co将变压器次边的感应电压整定为直流稳压输出，Cr、Lr和T1的励磁电感Lm组成谐振部分。变换器有fs、fm两个谐振频率，fs中Lm不参与谐振，fm中Lm参与谐振，fs、fm与谐振部分器件参数的关系分别如下：

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_r L_r}} \quad (1)$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_r(L_r + L_m)}} \quad (2)$$

为使开关管工作在ZVS状态，LLC半桥串联谐振变换器的工作频率f应满足fm < f < fs。因此，对原边开关管来说，通过其体二极管的导通及谐振元件的谐振，将其两端的电压钳位在0V，为实现ZVS做好准

备，开通损耗很小，近似为0。LLC半桥串联谐振变换器工作逻辑图如图2所示：

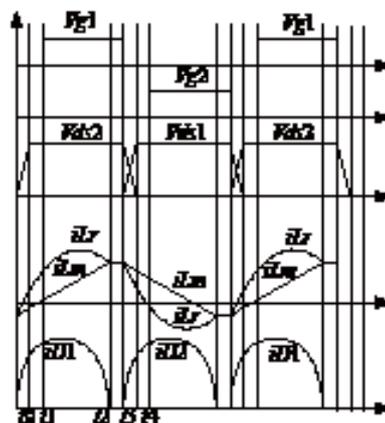


图2 LLC半桥串联谐振变换器工作逻辑图

其中，Vg1、Vg2分别为Q1和Q2的控制信号；iLr、iLm分别为流过谐振电感和励磁电感的电流；iD为流过整流管的电流。

在t0→t1阶段，谐振电流给Q1的寄生电容放电使Q1的漏源级电压为0，Q1实现ZVS，变压器原边为正电压，次边整流二极管D1导通、D2截止，谐振电流iLr增加，变压器开始在次级输出电压。并联谐振电感Lm上的电压为nVo，n为变压器变比，即被输出电压Vo钳位。因此，在此阶段，变换器中只有Cr和Lr参与谐振，Lm在此过程中仅是恒压充电。

在t1→t2阶段，在t1时刻iLr上升为0，开始由负变正，Q1开始正向导通，次边二极管D1导通，变压器原边电压仍被钳位在nVo，Lm在该电压下线性充电，不参与谐振。在该阶段，变换器是一个谐振电感Lr和电容Cr组成的串联谐振电路，能量由输入Vin传递到输出Vo。在t2时刻，Lr与Lm中电流相等。

在t2→t3阶段，在t2时刻Lr中的电流与Lm中的电流相等，次边整流二极管D1电流变为零，D1与D2截止，变压器将输入输出隔离。Lm开始参与谐振，与Lr、Cr组成LLC谐振回路，输出电容Co放电，继续给输出负载RL供电。直到t3时刻，Q1的驱动电压Vg1为低电平，使Q1关断。

在t3→t4阶段，因控制芯片死区时间设置，使得在

$t_3$ 时刻 $Q_1$ 与 $Q_2$ 均关断。由于 $Q_1$ 与 $Q_2$ 存在寄生电容,此时进入谐振电流给 $Q_1$ 的寄生电容充电、给 $Q_2$ 的寄生电容放电过程, $L_m$ 中的电流大于 $L_r$ 中的电流,变压器的原边开始有电流流过,使次边二极管 $D_2$ 导通。在 $t_4$ 时刻, $Q_2$ 的寄生电容放电完毕,其体二极管导通。之后各阶段原边开关管 $Q_2$ 的工作模式与 $Q_1$ 的工作模式相同。

综上所述,谐振型LLC变换器的原边功率开关管 $Q_1$ 、 $Q_2$ 导通时,其漏源极间电压接近于零,因此 $Q_1$ 、 $Q_2$ 工作在ZVS状态。同时,该拓扑还具有以下优点:

(1) 电路简单,输入电压宽,在全输入范围内开关管的通态损耗和开关损耗较低。

(2) 输出全波整流二极管的电压应力低,故通态损耗也低,因此变换器的效率得到提高。

(3) 输出二极管没有反向恢复损耗,大大提高了变换器的效率。

(4)  $L_m$ 与 $L_r$ 都可以用主变压器的励磁电感和漏感替代,方便磁集成,减小变换器的体积,降低寄生参数对电路的不利影响,在高频运行时电磁兼容问题变小。因此,该拓扑可以在高频及超高频场合中应用。

### 3 NCP1396特点及功能

NCP1396是安森美公司专门为半桥串联谐振拓扑所设计的一款谐振控制器,其典型应用电路如图3所示:

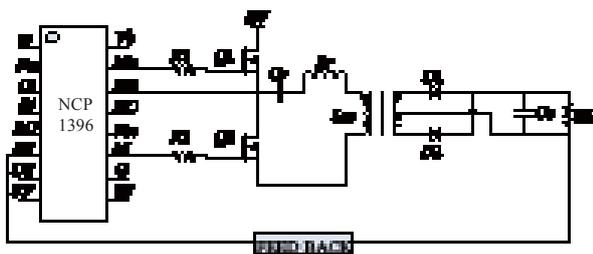


图3 NCP1396典型应用电路

其具有以下特点及功能:

(1) 频率范围宽: 50—500kHz, 使电路设计具有很强的灵活性, 驱动电压最高可达600V, 最低频率可精确控制到 $\pm 3\%$ 。

(2) 空载时振荡频率可设置到100ns~2 $\mu$ s(使得电源耗能大为降低)、软启动响应可调, 具有过热、过压保护。供电可超过20V、通过使能控制脚或开/待机控制实现电路启动或关闭, 300 $\mu$ A低电流启动能力。无需另外提供高压侧的辅助电源, 由内部直接驱动后输出推动两个N沟道高压功率管 $Q_1$ 、 $Q_2$ 交替工作。

(3) 芯片内部集成了500kHz的压控振荡器, 可将转换器安排在正确的工作区而避开谐振尖峰。芯片内置了可通过外部阻容器件选取来进行精确调整的最低开关频率振荡器。

(4) 控制芯片的死区时间可通过外接精密电阻实现调整, 调整死区时间可以保证功率开关管 $Q_1$ 、 $Q_2$ 在0~100%负载情况下轻松实现ZVS, 并通过打嗝模式来降低变换器的待机功耗以及空载功耗。

### 4 主要元器件参数计算及实验结果

LLC半桥串联谐振变换器的核心元器件为谐振电容 $C_r$ 、谐振电感 $L_r$ 和励磁电感 $L_m$ 。首先确定变换器的参数, 然后再对 $C_r$ 、 $L_r$ 及 $L_m$ 进行计算。

设计一个输出功率 $P_o$ 为240W的变换器, 其输入电压范围 $V_{in}$ 为120~420V, 输出电压 $V_o$ 为24V, 输出电流 $I_o$ 为10A, 预设谐振频率 $f_s$ 为100kHz, 理论计算变压器匝比 $n$ 为4.6,  $L_m$ 与 $L_r$ 的比值为4.9, 品质因数 $Q$ 为0.35。其中 $L_r$ 与变压器集成, 利用变压器的漏感。

负载阻抗 $R_{dc}$ 为:

$$R_{dc} = \frac{8n^2V_o^2}{\pi^2P_o} \quad (3)$$

由式(3)可得:  $R_{dc}=41.2\Omega$ 。

谐振电容 $C_r$ 为:

$$C_r = \frac{1}{2\pi Q R_{dc} f_s} \quad (4)$$

由式(4)可得:  $C_r=110\text{nF}$ 。在实际工作中, 取 $C_r=0.12\mu\text{F}$ 。

谐振电感 $L_r$ 为:

$$L_r = \frac{1}{(2\pi f_s)^2 C_r} \quad (5)$$

由式(5)可得:  $L_r=21.2\mu\text{H}$ 。

励磁电感 $L_m=103.1\mu\text{H}$ ,  $L_r=21.2\mu\text{H}$ 。由式(1)、

(2) 可得:  $f_s=104.2\text{kHz}$ ,  $f_m=43.05\text{kHz}$ 。

由以上计算可知, 当实验样机电路中的工作频率为 $100\text{kHz}$ 时, 可确保NCP1396以及主变压器工作在高转换效率状态。

当输出功率为 $240\text{W}$ 时, 功率管的ZVS波形如图4所示:

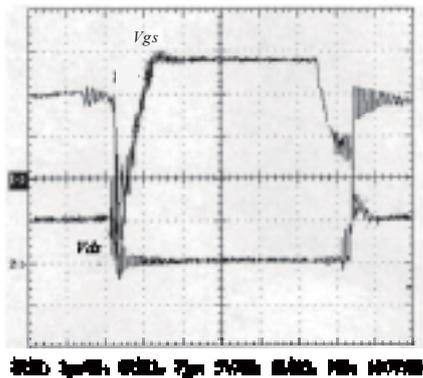


图4 功率管的ZVS波形

其中,  $V_{ds}$ 为功率开关管漏源极波形;  $V_{gs}$ 为栅极波形。从实测波形来看, 当输出功率为 $240\text{W}$ 时, 功率管的驱动波形是在功率管两端电压变为零后才开始上升, 这表明功率管实现了ZVS, 开通损耗减小。

变换器工作频率 $f$ 在区域 $f > f_s$ 时次边全波整流二极管电压波形如图5所示, 在区域 $f_m < f < f_s$ 时的波形如图6所示。

由图5可知, 当变换器工作在大于谐振频率时, 因二极管反向恢复导致二极管两端电压波形出现较大振荡, 在振荡过程中 $D1$ 、 $D2$ 处于共导换流状态。当变换器工作频率小于谐振频率时, 二极管振荡基本消除, 实现自然换流无共导, 从而实现ZCS。从图5、图6可知, 当变换器工作频率小于谐振频率时, 因次边整流二极管的ZCS使变换器的效率大大提高。

在实验室条件下测试变换器样机, 当输出功率为 $240\text{W}$ 时, 不同输入电压对应的效率如表1所示; 当输入电压固定为 $300\text{V}$ 时, 负载变化对应的效率如表2所示。

从表1数据来看, 当输出恒定, 变换器效率随输入电压升高而增加, 当电压大于 $300\text{V}$ 时效率略有降低, 这是因为变换器工作频率在此输入电压范围内大于谐

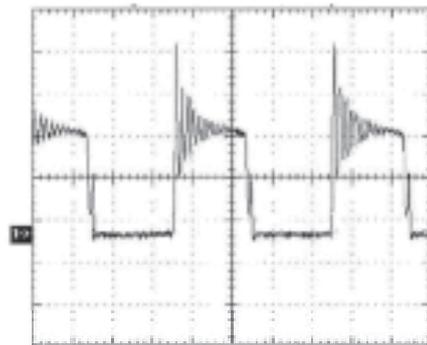


图5 次边整流二极管电压波形 ( $f > f_s$ )

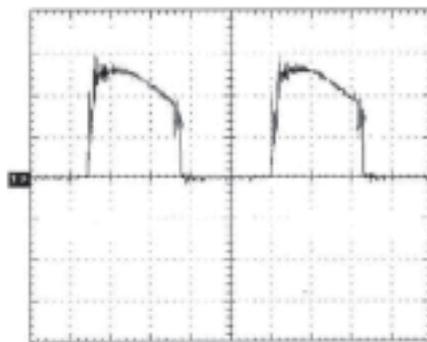


图6 次边整流二极管电压波形 ( $f < f_s$ )

表1 输出功率为 $240\text{W}$ 时变换器的效率

输入电压/V	输入功率/W	效率/%
120	257.8	93.1
200	255.8	93.8
300	252.1	95.2
360	254.5	94.3
420	256.7	93.5

表2 输入电压为 $300\text{V}$ 时变换器的效率

输出功率/W	输入功率/W	效率/%
48	52	92.3
96	102.6	93.6
144	152.9	94.2
192	202.5	94.8
240	252.1	95.2

振频率, 使得次边二极管出现ZCS丢失。由表2可知, 当固定 $300\text{V}$ 输入时, 效率随输出功率增加而增加, 整机一直保持在 $92\%$ 以上的高效率工作状态。

## 5 结论

通过对实验样机的测试波形和效率数据进行分析,再合理地调整谐振参数,可以使研制的谐振型半桥LLC变换器实验样机在全输入电压范围及全负载范围内实现原边功率开关管的ZVS。由于变换器工作频率在大于谐振频率时,出现ZCS丢失而使效率略有下降,因此其性能还有一定的优化空间,尤其是在高、低极限电压输入和小功率输出时的效率还有待提高,才能达到绿色电源对节能环保的基本要求。

### 参考文献:

- [1] 洪健,李可. 半桥串并联谐振变换器的分析与设计[J]. 雷达科学与技术, 2000(1): 48-54.
- [2] 闫子波. 基于LLC的半桥零电压开关谐振变换器[J]. 电子技术应用, 2005(9): 68-71.
- [3] 陈伟,王志强. 半桥LLC谐振变换器稳态建模及分析[J]. 通信电源技术, 2008,25(4): 17-19.
- [4] 朱立泓,方宇,张艳军,等. LLC谐振变换器参数设计[J]. 电源技术应用, 2007,10(1): 27-30.
- [5] 张超,管松敏,陈乾宏. 适于航空高压直流供电的1kW LLC全桥变换器[J]. 电力电子技术, 2011,45(6): 29-31.
- [6] 贾世江,彤连超. 半桥LLC谐振变换器的研究[J]. 中国化工贸易, 2012,47(6): 201-202.
- [7] 李旭升,张岱南,岑凯妮,等. 磁集成LLC谐振变换器的设计[J]. 磁性材料及器件, 2012(4): 44-48.
- [8] 柏余,王荣,朱忠尼,等. LLC谐振变换器的谐振元件设计[J]. 通信电源技术, 2013,30(1): 1-4.
- [9] 刘玮,牛鸣德,夏永涛. 半桥LLC谐振变换器的特性分析[J]. 现代机械, 2011(5): 30-32.
- [10] 赵敏杰,戴瑶,张怀武. LLC谐振变换器的参数设计[J]. 磁性材料及器件, 2011(2): 53-57. ★

### 作者简介



邓永清: 学士毕业于哈尔滨工程大学, 现任职于连云港杰瑞电子有限公司, 主要从事中小功率AC-DC、DC-DC电源开发工作。

## 广州联通携手海能达开展专项专网合作 共建互联网+智慧城市

1月22日上午,广州联通与海能达通信股份有限公司签署战略合作协议,正式建立了战略合作关系。本次签约标志着双方将作为最重要的长期合作伙伴,在专网领域开展广泛的业务合作。

广州联通作为中国联通在广州的分支机构,全面负责中国联通在广州地区公众通信网的建设和运营,旨在通过优质的服务与网络技术优势,更好地满足广州地区用户对通信服务的需求。近年来,广州联通积极履行大型央企社会责任,深度参与智慧城市建设;积极响应国家互联网+发展战略,在政企合作、异业联盟等领域开展了一系列有力的创新举措。

海能达通信股份有限公司是全球领先的专网通信解决方案提供商,为客户提供恰如所需的专业通信解决方案,提高应急通信与指挥调度能力,促进通信与管理的融合,提升组织效能。海能达在全球建立了2000多张专业无线通信网络,与全球600多家经销商、集成商以及合作伙伴建立了合作关系,并为600多万行业客户提供无线通信解决方案。

目前,海能达政务应急指挥调度解决方案已在新疆巴州应急办、海南省应急办等客户中得到广泛使用,并在汶川地震、光明滑坡、印尼海啸、德国洪灾、菲律宾台风等重大灾害救援中发挥了重要作用。作为专网通信企业,海能达在应急救援、抢险救灾中,特别是在公网瘫痪时积极响应,第一时间到达救援现场,为当地的政务应急救援工作提供了稳定的沟通调度平台。

据悉,本次合作中,广州联通将发挥自身综合优势为海能达提供全方位的网络技术支撑。双方将依托先进通信技术,实现政企行业在应急指挥、防灾、减灾领域的广泛应用,全力协助政企用户提升应急通信指挥反应速度和管理水平。

可以预见,两大公司的强强联合将为政府客户、商业客户提供一站式的专网和公网专项合作,共同推进智慧城市建设,助力互联网+技术与产品在政府层面实现广泛应用,让互联网+信息技术的成果惠及更多市民。(本刊)

# 一种基于模式识别的新型FM0解码方法

温志勇

(广东利通信息科技投资有限公司, 广东 广州 510663)

**【摘要】** FM0编码在通信系统中被广泛采用, 高效、智能化的解码方法成为研究的重点。首先简述了常用的FM0解码方法, 并提出了一种基于模式识别原理的新型解码方法; 然后在FPGA平台上针对其解码原理进行了设计与测试。实验证明解码成功率达到了领先水平, 充分体现了模式识别在FM0解码中的优越性。

**【关键词】** FM0 模式识别 解码 FPGA

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.012 中图分类号: TN919 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0057-04  
引用格式: 温志勇. 一种基于模式识别的新型FM0解码方法[J]. 移动通信, 2016,40(2): 57-60.

## A New FM0 Decoding Method Based on Pattern Recognition

WEN Zhi-yong

(Guangdong Leatop Information Technology Investment Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**[Abstract]** FM0 coding is widely adopted in communication system whose efficient and intelligent decoding method is the key point of research. Firstly, the commonly-used FM 0decoding methods were briefly introduced and a new decoding method based pattern recognition was proposed. Then, its decoding steps were designed and tested on FPGA platform. Experiments demonstrate the successful rate of decoding achieves an advanced level to reflect the superiority of pattern recognition in FM0 decoding.

**[Key words]** FM0 pattern recognition decoding FPGA

## 1 引言

FM0 (即Bi-Phase Space) 编码的全称为双相间隔码编码, 即在一个位窗内采用电平变化表示逻辑, 每个位窗过渡必须发生跳变。FM0编码在通信系统中被广泛采用, 如UHF (Ultra High Frequency, 超高频) RFID (Radio Frequency Identification, 射频识别) 读写器、ETC (Electronic Toll Collection, 电子收费) 不停车设备等无线射频识别设备。

FM0解码方式通常用定时采样判断的方式, 在使用中普遍存在解码率不高的情况。因此, 本文提出一种基于模式识别的FM0解码方法, 在FPGA (Field-Programmable Gate Array, 现场可编程门阵列) 的平台进行设计、开发, 并在硬件电路上进行了测试与验证。

## 2 模式识别

模式识别是指对表征事物或现象的各种形式的 (数值、文字、逻辑关系等) 信息进行处理和分析, 从而对事物或现象进行描述、辨认、分类和解释的过

收稿日期: 2015-08-31

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

程。被识别对象首先数字化，其次进行特征抽取，然后根据特征按照策略进行判决。

针对FM0解码的主要方法是固定采样直接判断的方法，即判断数据在一个位窗内是否发生电平跳变。如文献[1]中采取的实现方法：首先延时 $T/4$ ，采样I/O口电平；延时 $T/2$ 后再次采样I/O电平，并与前一次的采样值进行比较；电平翻转则接收“0”，否则接收“1”。

多次定时采样实现方法如文献[2]中的方法：FM0解码的时候需要对前半周期内的数据多次采样，并与后半周期多次采样数据进行比较，从而判断接收到的数据位是“1”还是“0”。

采用模式识别的新型解码方法原理是：首先，对接收到的FM0编码数据进行高速率数据采样，将采样值以信号跳变为单元存入数组中；其次，对数组内满足条件的数据进行数据切割，根据切割情况形成1、2、3、...、N位窗的切割，继续对切割后数据位窗进行再次切割；最后，当数据位窗满足数据判决条件时，判决采用特征值识别，根据编码规则及特性采用后判最大概率事件进行判决。具体如图1所示：

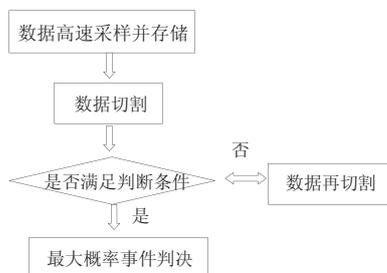


图1 基于模式识别的FM0解码原理图

### 3 基于FPGA的模式识别FM0解码的实现过程

如图2所示，基于模式识别的FM0解码模块包含了数据高速采样并存储、时钟建立与校正、数据类型判断及状态标记、数据位窗切割、数据判决、数据状态修改、数据缓冲输出等。解码对象为ETC应用中电子标签返回的信号，该信号采用FM0编码，数据速率为512kbits。

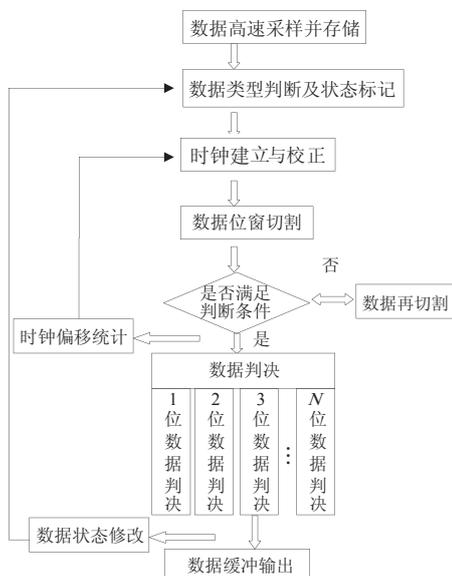


图2 模式识别FM0解码模块的实现流程图

#### 3.1 数据高速采样并存储

AD采样电路以16.384MHz的速率对512kbits的FM0编码数据进行采样，每次电平转换就将上一状态电平采集的个数存入数组内。

#### 3.2 数据类型判断及状态标记

该模块的作用是对数据类型及数组内的数据是否已处理进行标记。数据类型包括：毛刺、半位窗、全位窗、过长及其它。

#### 3.3 时钟建立与校正

时钟建立是指从接收到的FM0数据中恢复512kHz的数据时钟，具体实现方法是根据数组中的数据进行判断。例如：当数组内存在对应“0-1-0-1”数据时，可以从中恢复数据时钟并保持。如数组[0, 0, 0, 0, 0, 0, 16, 16, 32, 16, 16, 32]，16-16对应数据“0”，32对应数据“1”。在程序实现中数据是允许存在一定偏差，如16可定义为14~17。

时钟校正针对大数据量时由于发射机和接收机的时钟存在偏差，这个偏差随着时间的累积会变大，从而导致恢复出来的时钟与数据不同步。需要不断根据接收到的数据针对时钟进行校正，以保证数据与时钟的同步，校正的参数来源于时钟偏移统计的结果。

### 3.4 数据位窗切割

位窗切割是在数组中将位窗对应的数据划分开，根据建立的时钟及后判原则进行切割。切割点选取规则是：1个数据位宽为32个采样点，在第8个点进行数据位窗切割判断。数据位窗切割示意图如图3所示：

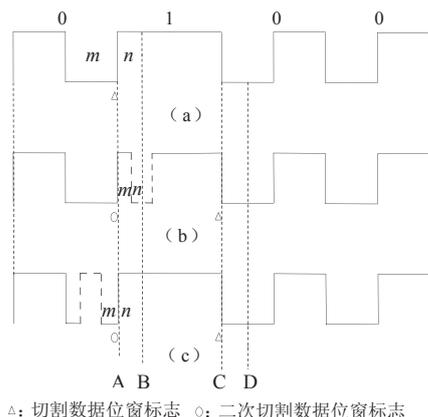


图3 数据位窗切割示意图

在B点采集该电平值为 $n$ ，A点采集该电平值为 $m$ ， $m$ 、 $n$ 值范围在本例中分别为 $[10, \infty]$ 和 $[5, 17]$ （ $m$ 为上一电平采集个数， $n$ 为当前电平采集个数），如果 $m$ 、 $n$ 均满足条件，则判断A点处为数据位窗结束处，如图3（a）所示。通常情况下，数据位窗切割出来的数据宽度为1个数据，但当数据异常时（如存在毛刺或者信号畸变等情况），由于在B点不满足切割条件而需要等到下个数据结束满足条件时进行切割（见图3（b）的D点处），切割出来的数据宽度就是2个数据，如图3（b）所示。

针对多个数据的位窗采用平均分割搜寻边沿的方法进行再次切割。如图3（b）所示，将C点切割出来的位窗进行宽度统计，从而判断出为2个数据宽度，然后搜寻与中间值最靠近的电平跳变沿，将2个宽度的位窗划分为2个宽度为1的位窗。

### 3.5 数据判决

顾名思义，数据判决是将切割后的数据位窗根据最大概率事件原则判决为数据。采用特征值的方法进行判决，特征值按照数据位窗宽度及电平跳变次数进行分类归纳，如2位数据宽度出现3次电平跳变的情况

下，分析其特征如表1所示：

表1 特征值及判决结果

电平1 (采样个数)	电平2	电平3	数据 判决结果	说明
32	16	16	“10”	正常状态
16	16	32	“01”	正常状态
23	24	17	“10”	数据存在畸变，根据最大概率可判决
17	24	23	“01”	数据存在畸变，根据最大概率可判决
20	24	20	“00”	数据存在畸变，不可判决

根据FM0编码规则，2位数据位窗存在3次电平跳变，可判定为“10”或“01”。根据表1所列情况可以归纳出数据的特征：即比较电平1和电平3，哪个值大就判断对应为“1”，另一个则为“0”。

### 3.6 时钟偏移统计

时钟偏移统计是指当数据位窗被切割出来后，统计当前电平的采集值与理想采集值个数的偏差。为防止波动，本例中采用8次平均的方法。时钟校正模块根据此参数对时钟进行校正。

### 3.7 数据状态修改

该模块的作用是将已经进行数据判决过的数据状态进行修改，即将数组内的数据状态标为已处理。

### 3.8 数据缓冲输出

数据缓冲输出的目的是为了延时输出，延时长短可根据需要进行适当调整。延时输出的目的是为数据位窗切割及处理提供时间，如果不进行延时输出则就会造成数据输出中断和积压。

## 4 实际测试

将设计代码下载至硬件电路中，经过测试验证，该解码方法具有很大的优势，如针对毛刺、占空比失真等情况能够进行最大概率事件判决并进行最大程度地纠错。实验数据如图4至图6所示（逻辑仪采集的实际数据）。

其中，`datainbuf0`为AD采样电路采集的信号波形；`CLKout`为解码模块根据信号恢复的时钟；

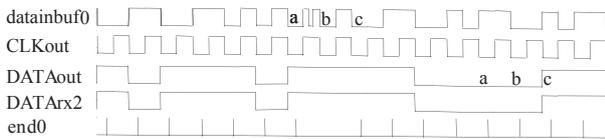


图4 数据位窗a处(后半部分)存在毛刺

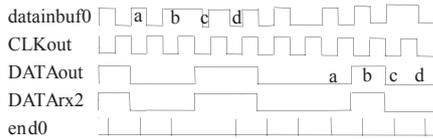


图5 数据位窗b、c处占空比失真

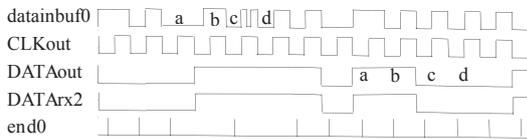


图6 数据位窗a、b处占空比失真，c处存在毛刺

DATAout为发射机编码前的数据(经过延时处理); DATArx2为解码后的数据; end0为数据切割标志。从结果可以看出,在信号存在毛刺、畸变的情况下仍然能够正常解码。

经过实际测试,验证了基于模式识别的新型FM0解码方法极大地提高了数据解码的成功率。在同样信号噪声比的情况下(9.6dB),采取传统方法的误码率为300ppm至1000ppm,而经过模式识别的新型FM0解码方法的误码率为5ppm至8ppm。

## 5 结论

基于模式识别的FM0解码方法相比较传统方法具有如下优势:

(1) 基于数据切割方法:保证了数据判断的合理性及稳定性,避免了当存在毛刺或数据失真等现象时出现判断错误的情况;

(2) 基于后判最大概率事件进行判决:充分利用了FM0的编码规则及特点,并可以进行一定程度的数据纠错。

基于上述特性,可以极大地提高FM0解码的成功率。其方法思路同样适用于类似特性的解码电路中。

本方案验证了模式识别在FM0解码中的优势,极大地降低了误码率,解码成功率达到了领先水平,并且充分发挥了模式识别的人工智能的特性,让机器像人脑一样智能地去完成解码任务。

## 参考文献:

- [1] 山宝银,陈俊杰. ETC电子标签的FM0编解码设计与实现[J]. 微计算机信息, 2010(35): 151-152.
- [2] 张远海,翁佩纯. UHF RFID读写器基带信号FM0解码研究[J]. 电子设计工程, 2011(6): 104-106.
- [3] 范会敏,王浩. 模式识别方法概述[J]. 电子设计工程, 2012(19): 48-51.
- [4] 汪芳. 模式识别技术及其在文字识别领域的应用研究[D]. 西安:西北工业大学, 2004.
- [5] 交通运输部公路科学研究院. 收费公路联网电子不停车收费技术要求[M]. 北京:人民交通出版社, 2011.
- [6] GB/T 20851-2007. 电子收费 专用短程通信[S]. 2007.
- [7] 姚渭箐,周伟. ETC中FM0解码器的设计[J]. 电子设计工程, 2011(9): 121-124.
- [8] 梁飞,张红雨,陈友平. UHF读写器设计中的FM0解码技术[J]. 电子设计工程, 2010(11): 172-174.
- [9] 王叶. 车牌识别系统中字符切分和识别技术的研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2009.
- [10] 黄山. 车牌识别技术的研究和实现[D]. 成都:四川大学, 2005.
- [11] 康健新. 基于图像的车牌识别系统的设计和实现[D]. 长春:吉林大学, 2014. ★

## 作者简介



温志勇: 电子工程师, 学士毕业于西安电子科技大学, 现任职于广东利通信息科技投资有限公司, 研究方向为无线射频、天线、编解码, 研究成果为ETC电子不停车收费设备。

# 基于FAHP的运营管理系统业务健康度综合评价模型研究

杜巍

(中国移动(深圳)有限公司, 广东 深圳 518048)

**【摘要】** 基于对业务支撑网运营管理系统中业务健康度管理的评价模型和评估算法的研究, 提出了相对完善、算法清晰的业务健康度综合评价模型。该模型采用模糊层次分析法根据业务特征确定各指标所在层的权重系数, 并利用模糊综合评价模型结合实际系统关键性能指标值计算业务总体健康度并逐层回溯到各层指标, 找出影响业务健康度的根源。

**【关键词】** 业务健康度 模糊层次分析 综合评价模型

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.013 中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0061-05  
引用格式: 杜巍. 基于FAHP的运营管理系统业务健康度综合评价模型研究[J]. 移动通信, 2016,40(2): 61-65.

## A Comprehensive Evaluation Model of Operation Management System' Service Health Degree Based on Fuzzy Analytical Hierarchy Process

DU Wei

(China Mobile(Shenzhen) Ltd., Shenzhen 518048, China)

**[Abstract]** Based on evaluation models and corresponding algorithms of service health degree in the operation management system of service supporting network, a relatively perfect and clear comprehensive evaluation model of service health degree was proposed in this paper. In the model, the fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) method was adopted to determine the weight coefficient of different indicators' layers. Combined with key performance indicators of the practical system, the service's overall health degree can be calculated and different indicators can be deduced to find out the root to affect service health degree.

**[Key words]** service health degree fuzzy analytical hierarchy process comprehensive evaluation model

## 1 引言

运营商运营管理系统始终致力于推进各省公司的运维管理水平, 提升日常运维工作效率。其中, 业务管理中心以客户体验感知为基础, 从业务视角、客户体验视角对业务运行进行整体评价, 使IT基础资源管

理和业务服务管理关联融合起来。从业务模型建立、业务整体评价、业务管理专题三个方面把运营管理系统提高到一个新的阶段。为适应新技术的变革和更高的业务要求, 运营管理系统业务管理仍需进一步调整和优化, 从而更好地发挥其运维管理作用。

业务健康度是从衡量业务整体健康的角度, 为运维和业务管理人员等提供一种监控和评估业务健康状况的途径。业务健康度管理作为深化客户感知监控

收稿日期: 2015-08-12

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

能力的一种手段，一直以来是运营管理系统建设的重点。目前业务健康度管理存在模型不完善、算法模糊、应用不好等诸多问题。

对业务健康度的分析可知业务健康度评价属于多层次、多指标问题，适用于模糊层次法和模糊综合评价法相结合的方法进行建模，该模型削弱了主观评价对健康度的影响，其过程主要包含两个重要部分：

- (1) 建立各层指标权重体系：采用模糊层次法并与专家意见相结合，计算评价所需的相关指标权重数据；
- (2) 构建评价体系：采用模糊综合评价法并与实际系统关键性能指标（KPI）数据相结合，建立完善的健康度评价模型，最后计算出业务的健康度值。利用该模型不但可以通过上溯底层IT系统架构事件来判断其对业务产生的影响，还可以根据实际业务KPI指标的变化逐层下钻到IT基础架构层，找出影响业务健康状况的根本原因，该方法可作为运营管理系统建设的理论与实践支撑。

## 2 模糊层次综合评价法

目前，运营商的运营管理系统中业务健康度各层指标的权重基本依赖于运维人员的主观经验判断，这种做法明显缺乏合理性。另外，评价业务健康的指标非常多，如果对每个指标权重的评估都存在一定偏差，那么总体健康度的计算结果将不能反映实际业务的健康状况。由于运营管理系统中业务系统的健康度评价是一个典型的多目标、多层次的问题，因此考虑用模糊层次分析综合评价法建立评价指标体系，科学客观地计算业务健康度，对各省业务支撑能力做出定量的、准确的综合评价。

### 2.1 模糊层次分析法确定各指标权重

传统的层次分析法应用普遍。其一，传统层次分析法的判断矩阵中，元素的直接比较有严苛的界限，而实际上，由于指标因素的复杂性以及决策人员认识的局限性等，运用模糊概念反而可以更精确地表达出比较因素之间的关系<sup>[1]</sup>；其二，传统层次分析法检验和调整判断矩阵的一致性非常困难，由于运营管理系统中一项业务的健康度涉及到的判断矩阵很多，因此对其进行检验与再调整的工作量相当大；其三，传统层次算法的一致性

判断标准（CR<0.1）缺乏科学依据<sup>[2]</sup>。因此本文将运用模糊层次分析（FAHP）法评估业务健康度各层指标的权重，具体步骤如下：

(1) 建立多层次评价体系。如图1所示，总体决策目标由n个一级指标因素决定，而每个一级指标层中的各指标逐层下钻，最终与底层指标层的m个指标因素相关联。该评价体系旨在求解这n个影响因素对决策目标的重要程度，即权重。

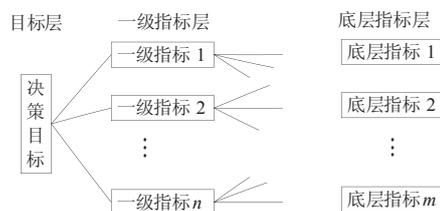


图1 多层次评价体系示意图

(2) 构造模糊互补判断矩阵。通过专业人士对同一指标层级的各个指标的相对重要程度进行两两比较，用数字0.1-0.9及其余数作为一个因素比另一个因素重要程度大小的标度，其具体含义如表1所示。根据式（1）可得到模糊互补判断矩阵：

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

表1 模糊互补判断矩阵0.1-0.9标度含义

标度值	解释
0.5	两个因素具有相同的重要性
0.6	前者比后者的重要程度稍强
0.7	前者比后者的重要程度进一步增强
0.8	前者比后者的重要程度明显增强
0.9	前者比后者的重要程度极度增强
0.1、0.2、0.3、0.4	若第i因素与第j因素的重要性相比的标度值为r，那么第j因素与第i因素重要性相比得到的标度值为1-r

(3) 层次单排序及一致性校验。根据模糊互补判断矩阵计算各级指标层级的各个因素在本层次的相对权重，每层级的各个权重加和为1，即 $\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n = 1$ 。根据公式（2）计算各层次指标的权重向量后，对每层的权重向量进行一致性检验，采用的一致性检验标准如

公式(3)所示。

$$\omega_i = \frac{1}{n} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{n\alpha} \sum_{j=1}^n r_{ij}, \quad \alpha \geq n - \frac{1}{2}, i \in I \quad (2)$$

$$\rho = \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i, j}}^n |r_{ij} - (r_{ik} + r_{kj} - 0.5)| \quad (3)$$

对于3阶模糊互补判断矩阵,可取 $\rho < 0.1$ ,4阶模糊互补判断矩阵可取 $\rho < 0.15$ 。当 $n$ 增大时, $\rho$ 值可适当放大<sup>[3]</sup>。如果 $\rho$ 的取值满足一致性条件,则说明步骤(3)中计算出的权值分配是合理的,否则应对步骤(2)中的判断矩阵作适当调整,反复进行一致性验证直到符合标准为止。

(4) 层次总排序和一致性验证。层次总排序就是计算出底层指标层各指标相对于决策目标的权重。层次总排序应从上到下逐层进行,如一级指标层包含 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 共 $n$ 个因素,其层次总排序权重分别为 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 。另设二级指标层包含 $m$ 个因素 $B_1, B_2, \dots, B_m$ ,它们关于 $A_j$ 的层次单排序权重分别为 $b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{mj}$ (当 $B_i$ 与 $A_j$ 无关时, $b_{ij}=0$ )。如果二级指标层中各因素相对于总目标的权重为:

$$b_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} a_j, i=1,2,\dots,m \quad (4)$$

根据上一步求得的单排序一致性指标 $\rho(j)$ , ( $j=1,2,\dots,n$ )计算出二级指标层总排序一致性指标为:

$$\rho = \sum_{j=1}^n \rho(j) a_j \quad (5)$$

## 2.2 建立模糊综合评价模型

多层模糊综合评估法应根据模糊关系合成原理,从多个因素对被评判事物隶属等级状况进行综合评估,移动业务健康度具有模糊性,而其指标具有层次性,因此适合应用该种算法对其进行评估<sup>[4]</sup>。该算法能在某种程度上屏蔽主观经验对健康度计算结果的影响,具有一定的客观性。该算法的原理如下:

(1) 确定评价因素指标集。即确定层次模型中各级指标单因素及其权重,如第一级评价因素集合 $A=[A_1, A_2, \dots, A_n]$ , $\omega_i$ 表示评价指标在 $A$ 中的权重,且 $\omega_1+\omega_2+\dots+\omega_n=1$ ;第二级指标 $\omega_k=[\omega_{k1}, \omega_{k2}, \dots, \omega_{km}]$ ( $m$ 表示指标 $k$ 的二级指标

的个数)。

(2) 建立评语等级集。评语等级个数通常在4到9之间,根据本文对指标的评判要求,把评语等级分为5级,即 $N=[好, 较好, 一般, 较差, 差]$ 。

(3) 建立评价矩阵。模糊评价矩阵 $R_k=(r^{kij})_{n \times 5}$ 是 $A_{ik}$ 隶属于 $N$ 的隶属度矩阵, $r^{kij}$ 表示评价对象 $\omega_k$ 的因素 $\omega_{ki}$ 具有评语 $N_j$ 的程度。根据上述评价标准由专家构成判断矩阵 $R_k=(r^{kij})_{n \times 5}$ ,其中 $r^{kij}=n^{kij}/N_k$ 。由此得到的权重矩阵 $\omega_i$ 和评价矩阵 $R_i$ ,第 $i$ 个评价指标的评价向量 $S_i=\omega_i \times R_i$ ,对单因素模糊评价结果 $S_i$ ( $i=1,2,\dots,n$ )进行集成,构成更高级的评价矩阵 $R$ ,再与高级的评价系数相乘就可以得出综合评价结果,即 $S=\omega \times R$ <sup>[5]</sup>。

## 3 移动缴费业务健康度评价体系的案例设计

运营管理系统业务管理中心新一期的建设重点要求通过业务整体评价和业务管理综合实施,把运营管理系统提高到一个新的阶段。业务健康度管理是提高业务整体评价的一个重要手段,其中面向外部用户的关键业务有开机、停/复机、服务激活、账单查询、缴费等。本文以具有代表性的缴费业务为例,构建多层次评价体系,建立综合评价模型,求取各层指标的相对权重,并根据KPI指标得出业务健康度得分,以此反应业务健康状况,从而快速定位影响业务健康的根源所在。

如图2所示,缴费业务健康度评价体系由渠道指标和底层指标构成。相关底层指标有数据库负荷、数据库剩余表空间百分比、主机CPU负荷、主机磁盘剩余空间、环节受理成功率、环节平均时长、缴费开机及

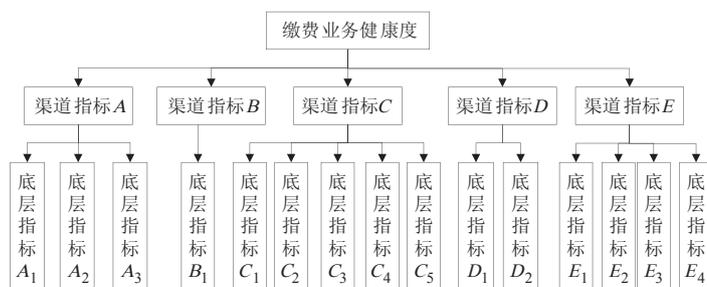


图2 缴费业务健康度多层次评价体系

时率、缴费出发开机的指令执行成功率等。渠道指标有前台缴费、财务处理、开机指令开通等。这里将不在此评价体系中一一列出。

### 3.1 业务健康度评估指标权重的确定

利用上一章节提出的模糊层次分析法，将专家的意见与该方法相结合，确定健康度各渠道指标以及与各渠道指标相关的指标的权重。具体步骤如下：

(1) 模糊互补判断矩阵的建立。参考表1的规则，将上层的某个元素作为标准，由专家经过一致判断得出对该元素所属的各指标两两比较的重要性，得出判断矩阵。将缴费业务健康度的渠道指标A、B、C、D、E两两进行重要性比较，得到模糊矩阵R为：

$$R = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.7 \\ 0.6 & 0.4 & 0.5 & 0.7 & 0.6 \\ 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.5 & 0.4 \\ 0.5 & 0.3 & 0.4 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (6)$$

根据图2，各渠道指标对应的底层指标建立的模糊互补矩阵分别为：

$$R_a = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.7 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 \\ 0.3 & 0.4 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$R_c = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.7 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.6 \\ 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 \\ 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.5 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R_d = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 \\ 0.4 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$R_e = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.6 \\ 0.4 & 0.5 & 0.7 & 0.6 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.3 \\ 0.4 & 0.4 & 0.7 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (10)$$

(2) 权重的计算。利用公式(2)，通过MATLAB编程得出各渠道指标相对于业务健康度的权重为：

$$\omega = [0.2 \quad 0.23 \quad 0.23 \quad 0.16 \quad 0.18] \quad (11)$$

A、B、C、D、E标准下各指标的权重值计算分别为：

$$\omega_a = [0.4333 \quad 0.3333 \quad 0.2333] \quad (12)$$

$$\omega_b = 1 \quad (13)$$

$$\omega_c = [0.28 \quad 0.23 \quad 0.2 \quad 0.14 \quad 0.15] \quad (14)$$

$$\omega_d = [0.6 \quad 0.4] \quad (15)$$

$$\omega_e = [0.3167 \quad 0.2833 \quad 0.15 \quad 0.25] \quad (16)$$

(3) 一致性检验。根据一致性标准公式(3)，利用MATLAB编程计算得到模糊判断矩阵R、R<sub>a</sub>、R<sub>b</sub>、R<sub>c</sub>、R<sub>d</sub>、R<sub>e</sub>的一致性标准分别为： $\rho = 0.14$ 、 $\rho_a = 7.4015 \times 10^{-17}$ 、 $\rho_c = 0.07$ 、 $\rho_e = 0.1$ ，可以看出R、R<sub>a</sub>、R<sub>b</sub>、R<sub>c</sub>、R<sub>d</sub>、R<sub>e</sub>均有满意的一致性。

### 3.2 业务健康度的综合评估

根据缴费业务的各底层指标情况，本文将健康状况的评价划分为“好”、“较好”、“一般”、“较差”、“差”五个等级。由于这些指标之间没有明确的界限，属于模糊的概念，且业务健康度指标体系具有层次性，因此本文利用多级模糊综合评价法，建立业务健康度的评估模型，运用模糊变换和最大隶属度原则，对缴费业务健康度进行综合评估。具体步骤如下：

(1) 确定业务健康度的因素集。根据业务健康度的评价体系，使用二级模糊评价。在一级评价中，评价因素集为 $U = \{A, B, C, D, E\}$ ，在二级模糊评价中，因素集有 $U_a = \{A_1, A_2, A_3\}$ ， $U_b = \{B_1\}$ ， $U_c = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$ ， $U_d = \{D_1, D_2\}$ ， $U_e = \{E_1, E_2, E_3, E_4, E_5\}$ 。

(2) 确定评价因素的评语集。设 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ 为具有“好”、“较好”、“一般”、“较差”、“差”五个等级的评语集。

(3) 建立模糊隶属关系矩阵。缴费业务健康度二级指标层的各项相关指标均可被量化，因此可建立以各指标为论域五个评语等级的隶属函数。根据实际业务的KPI值确定健康度评价等级，得出A、B、C、D、E标准下的隶属关系矩阵，分别为：

$$r_a = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$r_b = [0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \quad (18)$$

$$r_c = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$r_d = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$r_e = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

(4) 确定单因素评判向量。将3.1节步骤(2)得出的A、B、C、D、E标准下各指标的权重值 $\omega_a, \omega_b, \omega_c, \omega_d, \omega_e$ 作为模糊算子,在A、B、C、D、E标准下得到关于缴费业务健康度的一级模糊评判向量,分别为:

$$z_a = \omega_a \times r_a = [0.6667 \ 0.3333 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (22)$$

$$z_b = \omega_b \times r_b = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (23)$$

$$z_c = \omega_c \times r_c = [0.52 \ 0.28 \ 0 \ 0 \ 0.2] \quad (24)$$

$$z_d = \omega_d \times r_d = [0.4 \ 0.6 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (25)$$

$$z_e = \omega_e \times r_e = [0.4333 \ 0.5667 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (26)$$

(5) 二级模糊综合评判。令

$$Z = \begin{bmatrix} z_a \\ z_b \\ z_c \\ z_d \\ z_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6667 & 0.3333 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.52 & 0.28 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4333 & 0.5667 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (27)$$

又根据 $\omega = [0.2 \ 0.23 \ 0.23 \ 0.16 \ 0.18]$ 得出缴费业务健康度二级模糊评判为:

$$r = \omega \times Z = [0.3949 \ 0.5591 \ 0 \ 0 \ 0.0460] \quad (28)$$

(6) 健康度分值的计算。业务健康度一般都是以百分制计算,令五个等级“好”、“较好”、“一般”、“较差”、“差”依次赋值为 $v = [100 \ 80 \ 60 \ 40 \ 0]$ ,则得到缴费业务健康度评分为:

$$S = r \times v^T = 84.2187 \quad (29)$$

(7) 准确定位业务系统运行隐患。对健康度计算结果进行挖掘下钻查看健康因子信息,通过该信息查看健康度低的健康因子的相关指标组,并最终确定出

问题的底层指标,从而帮助运维人员快速准确地定位问题指标的位置。根据 $S' = z \times v^T$ ,计算各渠道指标在健康度 $S = 84.2187$ 下的得分,分数如式(30)所示:

$$S' = [93.334 \ 80 \ 74.4 \ 88 \ 88.666] \quad (30)$$

显然,可将问题定位在渠道指标C上,查看与指标C相关的各底层指标的告警,即可将问题根源定位在底层指标 $C_3$ 上,从而快速解决运行隐患提高业务的健康度。

## 4 结束语

未来运营管理系统将要求建立完善的业务健康度评估机制,优化健康度指标算法,提高健康度衡量业务运行状态的准确性,从而深化客户感知、提升运维管理水平。本文通过移动缴费业务健康度评价的例证,充分说明了通过建立指标权重体系和评价方法体系得到的健康度评价模型是科学客观和完善可行的。通过分析IT基础设施的KPI值的变化,计算业务健康度分值,并快速定位影响业务健康度的问题根源所在,为运维人员快速解决问题,提升运维工作效率提供了重要依据。该模型的建立对运营管理系统中所有业务健康度的评估均适用,运用该模型能科学客观地衡量业务运营状况,从根本上提高运营管理系统运营管理水平,符合未来运营管理系统建设的要求,为下一代运营管理系统业务健康度管理的建设提供了有力的依据。

## 参考文献:

- [1] DL Olson. The Analytic Hierarchy Process[J]. Springer New York, 1996,4(29): 49-68.
- [2] 郑艳影. 改进的模糊层次分析法的研究及应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [3] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学, 2000,14(2): 80-88.
- [4] 周行. 移动增值新业务项目评价指标体系与评价方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2006.
- [5] 洪文松,陈武凡. 广义模糊集合论及其应用模式[J]. 暨南大学学报: 自然科学与医学版, 2000,21(1): 77-79.
- [6] 徐杰,赵芳. 基于多层次组合权重的企业信息化模糊

(下转第73页)

# 基于干扰对齐的能量效率优化算法分析

钱进<sup>1</sup>, 孙银江<sup>2</sup>, 郭磊<sup>3</sup>, 李冰清<sup>3</sup>

(1. 海军驻航天三院军事代表室, 北京 100074;

2. 北京机电工程研究所, 北京 100074;

3. 哈尔滨工业大学电子与信息工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**【摘要】** 为了提高MIMO系统的能量效率, 本文首先提出一种干扰对齐优化算法—正交最大信干噪比算法, 该算法针对最大信干噪比算法在中高信噪比条件下的不足完成优化。然后, 在该算法基础上进一步提出能量效率优化算法, 该算法充分发挥了干扰对齐在抑制干扰方面的优势, 利用MIMO系统的大量自由度, 使系统中各用户能够同时收发信息而不产生相互干扰。仿真实验结果表明, 提出的基于干扰对齐的能量效率优化算法能够显著提高MIMO系统的能量效率。

**【关键词】** 多输入多输出系统 干扰对齐 能量效率

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.014 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0066-08  
引用格式: 钱进,孙银江,郭磊,等. 基于干扰对齐的能量效率优化算法分析[J]. 移动通信, 2016,40(2): 66-73.

## Analysis on for Energy Efficiency Optimization Algorithm Based on Interference Alignment

QIAN Jin<sup>1</sup>, SUN Yin-jiang<sup>2</sup>, GUO Lei<sup>3</sup>, LI Bing-qing<sup>3</sup>

(1. The Navy's Military Representative Room of the Third Academy of CASIC, Beijing 100074, China;

2. Beijing Institute of Electrical and Mechanical Engineering, Beijing 100074, China;

3. School of Electronics and Information Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**[Abstract]** In order to improve the energy efficiency of MIMO systems, an interference alignment optimization algorithm named orthogonal maximum signal-to-interference-plus-noise (SINR) was proposed in this paper. The proposed algorithm realizes the optimization according to the flaw of maximum SINR algorithm at high SNR. Then, based on the proposed algorithm, an energy efficiency optimization algorithm was further proposed, which fully takes the advantage of interference alignment in interference suppression. Specifically, a large number of degree of freedom in MIMO system was utilized so that users in the system to receive and send information simultaneously without mutual interference. Simulation results show that the energy efficiency optimization algorithm based on interference alignment can significantly improve the energy efficiency of MIMO system.

**[Key words]** MIMO system interference alignment energy efficiency

### 1 引言

多输入多输出 (Multiple Input Multiple Output, MIMO) 技术可以显著提高信道容量, 仅在

被提出后的几年里就已应用到大规模、标准驱动的无线网络系统, 如无线局域网、宽带无线接入、3G通信网络等<sup>[1]</sup>。在提供高信道容量的同时, MIMO技术也使得干扰问题变得愈加显著。常规干扰抑制技术本质上是基于目标信号和干扰信号在特定空间内不重叠的特点进行分离, 如时间分集、频率分集、空间分集

收稿日期: 2015-09-14

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

和码分集等，分集方法都会在一定程度上降低传输速率。与传统方法不同，干扰对齐将信号空间分为目标信号和干扰信号子空间，通过设计发送端，使接收信号中的干扰部分对齐到干扰信号子空间内，降低干扰信号占用的自由度，而将剩余的大部分未被污染的自由度留给目标信号<sup>[2]</sup>。

提高信道容量导致的另一个问题是能量消耗的急剧增长，这已经成为一个关键的经济和环境问题。因此，在设计无线通信系统过程中，急需从传统的追求更大的传输速率和频谱效率的模式，转换到追求更大的能量效率的模式。目前，包括3GPP、欧洲电信标准协会、中国通信标准化协会等在内的多个无线标准制定组织均已将提升能量效率列入了无线标准的制定过程中。许多意在提高能量效率的研究项目也被提了出来，如Green Radio<sup>[3]</sup>、EARTH<sup>[4]</sup>和eWin<sup>[5]</sup>等。同时，致力于加快5G发展的欧洲研究小组METIS提出，能量效率应该作为第五代移动通信技术的关键指标之一<sup>[6]</sup>。

本文首先提出了一种干扰对齐优化算法，该算法能够弥补最大信干噪比算法在高信噪比条件下的不足。之后，在该算法基础上提出了一种能量效率优化算法，在提高传输速率的同时，保证系统具有较高的能量效率。最后，仿真结果验证了理论分析的正确性以及算法的有效性。

## 2 干扰对齐算法

### 2.1 算法实现

以图1所示K用户MIMO系统为例，简要介绍MIMO干扰对齐的实现方法。假设系统模型中用户m的发送端和接收端分别配备了M<sup>[m]</sup>和N<sup>[m]</sup>根天线。

在发送端m上，对发信号x<sup>[m]</sup>进行预编码处理。对应的接收端m上，需要对接收的信号进行干扰抑制。定义预编码矩阵和干扰抑制矩阵分别为V<sup>[m]</sup>和U<sup>[m]</sup>，其分别是M<sup>[m]</sup>×d<sup>[m]</sup>维和N<sup>[m]</sup>×d<sup>[m]</sup>维矩阵（其中，d<sup>[m]</sup> = min(M<sup>[m]</sup>, N<sup>[m]</sup>), ∀m=1, 2, ..., K定义为发送端m发送数据流的维数）。

由此可以得到接收端m经过干扰抑制后的信号为：

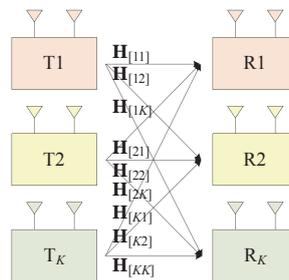


图1 K用户MIMO系统示意图

$$\bar{Y}^{[m]} = \sum_{l=1}^K U^{[m]*} H^{[ml]} V^{[l]} \bar{X}^{[l]} + U^{[m]*} Z^{[m]} \quad (1)$$

多用户MIMO系统中，接收端m只将发送端m的传输数据作为目标信号，而将其他发送端的传输数据作为干扰信号。因此，可将公式（1）重写为：

$$\bar{Y}^{[m]} = U^{[m]*} H^{[mm]} V^{[m]} \bar{X}^{[m]} + \sum_{l=1, l \neq m}^K U^{[m]*} H^{[ml]} V^{[l]} \bar{X}^{[l]} + U^{[m]*} Z^{[m]} \quad (2)$$

式（2）中等式右边第一项为期望目标信号，第二项为其他用户产生的干扰信号，最后一项为噪声信号。为实现干扰对齐，需要预编码矩阵V和干扰抑制矩阵U满足以下约束条件：

$$U^{[m]*} H^{[mj]} V^{[j]} = 0, \forall j \neq m \quad (3)$$

$$\text{rank}(U^{[m]*} H^{[mm]} V^{[m]}) = d^{[m]}, \forall m = 1, \dots, K \quad (4)$$

针对对称网络，式（3）和式（4）成立的条件是，M、N、K、d的取值满足关系式（5）<sup>[7]</sup>：

$$K \leq (M + N) / (d - 1) \quad (5)$$

经过干扰对齐后，用户m的传输速率（对带宽B归一化后的结果）r<sup>[m]</sup>可以定义为：

$$r^{[m]} = \log_2 \left| \mathbf{I}_{d^{[m]}} + \mathbf{V}^{[m]*} \mathbf{H}^{[mm]} \mathbf{U}^{[m]} \mathbf{U}^{[m]*} \mathbf{H}^{[mm]} \mathbf{V}^{[m]} \mathbf{R}^{[m]-1} \right| \quad (6)$$

其中，干扰协方差矩阵R<sup>[m]</sup>可以表示为：

$$\mathbf{R}^{[m]} = \sum_{l=1, l \neq m}^K \mathbf{V}^{[l]*} \mathbf{H}^{[ml]} \mathbf{U}^{[l]} \mathbf{U}^{[l]*} \mathbf{H}^{[ml]} \mathbf{V}^{[l]} + \sigma_m^2 \mathbf{I}_{d^{[m]}} \quad (7)$$

MIMO系统中预编码矩阵V和干扰抑制矩阵U的求解，只有在少数特殊情况下才能够得到闭式解。对于一般情况，采用分布式迭代的方式进行求解，该过程如图2所示。

### 2.2 经典干扰对齐算法

（1）基于最小干扰泄漏准则的干扰对齐算法

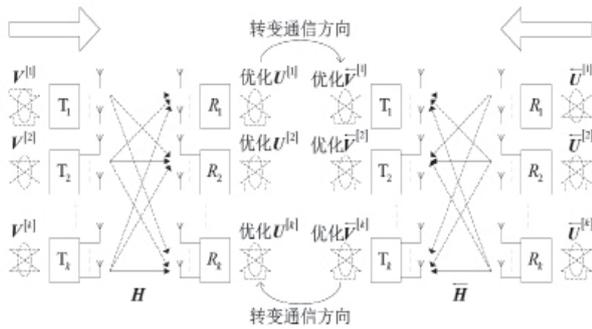


图2 干扰对齐的迭代算法示意图

在多用户MIMO系统中，非目标用户干扰信号功率的总和被称为干扰泄漏，通过将系统中所有用户总的干扰泄漏最小化，可以完成干扰对齐。此种思路的干扰对齐称为基于最小干扰泄漏优化准则的（Minimum Interference Leakage, MinIL）干扰对齐算法。

### (2) 基于最小均方误差准则的干扰对齐算法

通过使每个用户接收信号的均方误差最小也可以实现干扰对齐。此种算法称为基于最小均方误差优化准则的（Minimum Mean Square Error, MMSE）干扰对齐算法。

### (3) 基于最大信干噪比准则的干扰对齐算法

MinIL干扰对齐算法在迭代过程中，最小化了系统中各发送端对非目标接收端的干扰泄漏功率总和，但并未考虑最大化目标接收端的有用信号功率。因此，在干扰被抑制的过程中，并没有对有用信号产生增益。此算法较适用于信噪比较大的情况。为改善MinIL干扰对齐算法在中小信噪比条件下的不足，研究人员提出了基于最大信干噪比优化准则的（Maximize Signal to Interference and Noise Ratios, MaxSINR）干扰对齐算法。

## 2.3 干扰对齐优化算法

MaxSINR算法在信噪比较高时较其它算法略差，但在中低信噪比条件下，优势十分明显。因此，可以在MaxSINR算法的基础上增加正交处理的过程，弥补其在高信噪比条件下的不足，使和速率得到进一步提

升。由此，提出了一种称为基于正交最大信干噪比优化准则（Orthogonal Maximize Signal to Interference and Noise Ratios, OrthMaxSINR）的干扰对齐算法。该算法在MaxSINR算法基础上增加了正交化处理，其余步骤不变。

第 $m$ 个接收端数据流 $l$ 的信干噪比为：

$$\text{SINR}_{ml} = \frac{U_{*l}^{[m]*} H^{[mm]} V_{*l}^{[m]} V_{*l}^{[m]*} H^{[mm]} U_{*l}^{[m]}}{U_{*l}^{[m]*} B^{[ml]} U_{*l}^{[m]}} \frac{P^{[m]}}{d^{[m]}} \quad (8)$$

其中，

$$B^{[ml]} = \sum_{j=1, j \neq m}^K \frac{P^{[j]}}{d^{[j]}} \sum_{d=1}^{d^{[j]}} H^{[mj]} V_{*d}^{[j]} V_{*d}^{[j]*} H^{[mj]*} + I_{N^{[m]}} \quad (9)$$

表示第 $m$ 个接收端数据流 $l$ 所对应的干扰和噪声自相关矩阵。

要想使信干噪比 $\text{SINR}_{ml}$ 最大，需满足公式（10）：

$$U_{*l}^{[m]} = (B^{[ml]})^{-1} H^{[mm]} V_{*l}^{[m]} / \left\| (B^{[ml]})^{-1} H^{[mm]} V_{*l}^{[m]} \right\| \quad (10)$$

正交处理采用Gram-Schmidt正交化的方法。具体步骤如下：

(1) 从给定的向量组中取出第一个向量，将其标准化，并作为标准正交基的第一个元素；

(2) 从给定向量组中依次取出后续向量，减掉正交基中的投影部分并标准化，作为标准正交基中的新元素，直至全部取完。公式描述为：

$$\begin{aligned} w_1 &= \alpha_1; e_1 = \frac{w_1}{\|w_1\|} \\ w_2 &= \alpha_2 - \frac{\langle \alpha_2, w_1 \rangle}{\|w_1\|^2} w_1; e_2 = \frac{w_2}{\|w_2\|} \\ &\dots \\ w_n &= \alpha_n - \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\langle \alpha_n, w_i \rangle}{\|w_i\|^2} w_i; e_n = \frac{w_n}{\|w_n\|} \end{aligned} \quad (11)$$

经过以上处理，向量组中各向量相互正交。按照图2的流程，通过原信道与对偶信道的交替迭代运算，可以得到最终结果。

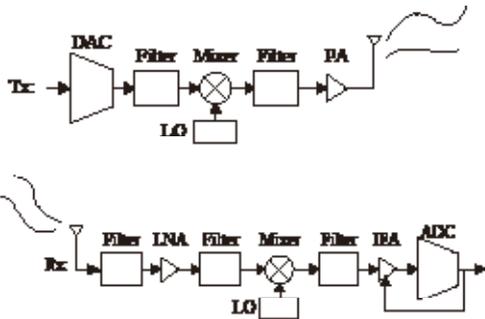
OrthMaxSINR干扰对齐算法的求解过程可以简述为以下步骤：

OrthMaxSINR干扰对齐算法	
(1)	初始化预编码矩阵 $V^{(0)}$ , 要求 $V^{(0)}$ 的列向量是线性独立的单位向量
(2)	根据公式(9)计算用户 $m$ 的第 $l$ 个数据的干扰和噪声自相关矩阵 $B^{(ml)}$
(3)	根据公式(10)计算干扰抑制矩阵 $U_{*d}^{[m]}$
(4)	干扰抑制矩阵 $U_{*d}^{[m]}$ 正交化
(5)	反转通信方向, 令 $\tilde{V}^{[m]}=U^{[m]}$
(6)	计算对偶信道中的干扰和噪声自相关矩阵 $\tilde{B}^{[ml]}$
(7)	计算对偶信道中的干扰抑制矩阵 $\tilde{U}_{*d}^{[m]}$
(8)	干扰抑制矩阵 $\tilde{U}_{*d}^{[m]}$ 正交化
(9)	再次反转通信方向, 令 $V^{[m]}=\tilde{U}^{[m]}$
(10)	循环执行步骤(2)~(9)直到算法收敛或者完成预设的迭代次数

### 3 能量效率优化算法

#### 3.1 功耗模型

各通信节点都要完成信息的收发功能, 因此考虑系统功耗时, 要综合收发两方面因素。图3为此种情况下的收发系统模型。功耗由两部分组成, 即信号传输功率 $P$ 和其他部分电路消耗功率 $P_c$ 。



(b) 接收链路模型

图3 传统通信系统模型

针对图3的模型,  $P_c$ 包括混频器功率 $P_{mix}$ , 频率合成器功率 $P_{syn}$ , 低噪声放大器功率 $P_{LNA}$ , 模数、数模转换器功率 $P_{ADC}$ 和 $P_{DAC}$ , 滤波器功率 $P_{fil}$ 和 $P_{fir}$ , 功率放大器功率 $P_{amp}$ 和中频放大器功率 $P_{IFA}$ 等。下面分别介绍各部分功率的计算方法。

(1) 信号发射功率

传输功率 $P_t$ 可以表示为:

$$P_t = \frac{2}{3} \left( \frac{\bar{P}_b}{4} \right)^{\frac{1}{M_t}} \frac{2^b - 1}{b^{1/M_t+1}} M_t N_0 R_b \times \frac{(4\pi d)^2}{G_t G_r \lambda^2} M_t N_f \quad (12)$$

(2) DAC功率

DAC的功耗可以表示为:

$$P_{DAC} \approx \frac{1}{2} V_{dd} I_0 (2^n - 1) + n_1 C_p (2B + f_{cor}) V_{dd}^2 \quad (13)$$

(3) ADC功率

按照文献[9]的方法计算ADC, 计算公式为:

$$P_{ADC} \approx \frac{3V_{dd}^2 L_{min} (2B + f_{cor})}{10^{-0.1525n_2 + 4.838}} \quad (14)$$

(4) 其余部分模块功率

混频器、频率合成器、滤波器、LNA等的功耗都可以近似为常数。

具体参数选择如表1所示:

表1 参数设置

$f_c=2.5\text{GHz}$	$T_{tr}=5\mu\text{s}$	$\bar{P}_b=1 \times 10^{-3}$
$B=10\text{kHz}$	$T=100\text{ms}$	$M_t=1$
$V_{dd}=3.3\text{V}$	$P_{fil}=P_{fir}=2.5\text{mW}$	$b=2$
$L_{min}=0.5\mu\text{m}$	$P_{IFA}=3\text{mW}$	$N_0=-174\text{dBm/Hz}$
$n_1=n_2=10$	$P_{mix}=30\text{mW}$	$G_t G_r=5\text{dBi}$
$f_{cor}=1\text{MHz}$	$P_{LO}=100\text{mW}$	$M_L=30\text{dB}$
$I_0=10\mu\text{A}$	$P_{LNA}=20\text{mW}$	$N_f=10\text{dB}$
$C_p=1\text{pF}$	$\eta=0.35$	---

#### 3.2 能量效率定义

能量效率被定义为单位能量传输的比特数, 用公式表示为:

$$EE^{[m]} = \frac{r^{[m]}}{P} \quad (15)$$

公式(15)是对带宽 $B$ 归一化后的结果, 单位是bits/Hz/joule。其中,  $r^{[m]}$ 表示用户 $m$ 的传输速率,  $P$ 是用户 $m$ 总的消耗功率。

#### 3.3 能量效率优化算法

根据公式(12)可知, 信号发射功率 $P_t$ 的计算需要已知信号传输速率 $R_b$ 。当考虑迭代过程中发射功率的变化时, 为了进一步提高系统能量效率, 下面

提出一种基于干扰对齐的能量效率优化算法 (Energy Efficiency Optimization Based on Interference Alignment, EEIA)。此时, 考虑用户  $m$  发射功率只与其预编码矩阵有关, 关系如公式 (16) 所示:

$$P_t^{[m]} = \text{Tr}(\mathbf{V}^{[m]*} \mathbf{V}^{[m]}) \quad (16)$$

将系统总的能量效率定义为:

$$f_c(\mathbf{V}, \mathbf{U}) = EE = \sum_{m=1}^K EE^{[m]} \quad (17)$$

最优的预编码矩阵和干扰抑制矩阵满足:

$$(\mathbf{V}^{\text{opt}}, \mathbf{U}^{\text{opt}}) = \arg \max_{\mathbf{V}, \mathbf{U}} f_c(\mathbf{V}, \mathbf{U}) \quad (18)$$

由于公式 (15) 中定义的能量效率是非凸的, 因此很难找到公式 (18) 的闭式最优解, 为此, 采用迭代算法。计算过程中, 首先保持预编码矩阵  $\mathbf{V}$  不变, 通过设计干扰抑制矩阵  $\mathbf{U}$  来优化能量效率。此时, 最大化能量效率等价于最大化和速率。因此, 可以采用之前章节介绍的干扰对齐算法, 计算干扰抑制矩阵  $\mathbf{U}$ 。然后, 保持干扰抑制矩阵  $\mathbf{U}$  不变, 通过设计预编码矩阵  $\mathbf{V}$  来优化能量效率。此时, 能量效率是关于  $\mathbf{V}$  的非凸函数, 难以找到全局最优解, 因此采用一种基于零梯度的算法来寻找局部最优解。

基于零梯度的算法求解过程如下:

将  $f_c$  对  $\mathbf{V}^{[m]}$  求梯度, 结果如式 (19) 所示:

$$\frac{\partial f_c}{\partial \mathbf{V}^{[m]}} = \frac{2}{P} (\mathbf{A}_c^{[m]} \mathbf{E}_c^{[m]} - \mathbf{M}_c^{[m]} \mathbf{V}^{[m]}) \quad (19)$$

其中,

$$\mathbf{A}_c^{[m]} = \mathbf{H}^{[mm]*} \mathbf{U}^{[m]} (\mathbf{R}^{[m]})^{-1} \mathbf{U}^{[m]*} \mathbf{H}^{[mm]} \quad (20)$$

$$\mathbf{E}_c^{[m]} = \left[ \mathbf{I}_{d^{[m]}} + \mathbf{B}^{[m]} (\mathbf{R}^{[m]})^{-1} \mathbf{B}^{[m]} \right]^{-1} \quad (21)$$

$$\mathbf{M}_c^{[m]} = \frac{(1+\alpha) \hat{r}_c^{[m]}}{P} \mathbf{I}_{d^{[m]}} + \sum_{l=1, l \neq m}^K \mathbf{H}^{[lm]*} \mathbf{U}^{[l]} (\mathbf{R}^{[l]})^{-1} \mathbf{B}^{[l]} \mathbf{E}_c^{[l]} \mathbf{B}^{[l]*} (\mathbf{R}^{[l]*})^{-1} \mathbf{U}^{[l]*} \mathbf{H}^{[lm]} \quad (22)$$

$$\mathbf{B}^{[m]} = \mathbf{U}^{[m]*} \mathbf{H}^{[mm]} \mathbf{V}^{[m]} \quad (23)$$

$$\hat{r}_c^{[m]} = \ln \left| \left( \mathbf{E}_c^{[m]} \right)^{-1} \right| \quad (24)$$

$$\mathbf{R}^{[m]} = \sum_{l=1, l \neq m}^K \mathbf{V}^{[l]*} \mathbf{H}^{[ml]} \mathbf{U}^{[l]} \mathbf{U}^{[l]*} \mathbf{H}^{[ml]*} \mathbf{V}^{[l]} + \sigma_m^2 \mathbf{I}_{d^{[m]}} \quad (25)$$

则,  $f_c(\mathbf{V})$  的梯度表示为:

$$\nabla f_c(\mathbf{V}) = \left[ \left( \frac{\partial f_c}{\partial \mathbf{V}^{[1]}} \right)^*, \left( \frac{\partial f_c}{\partial \mathbf{V}^{[2]}} \right)^*, \dots, \left( \frac{\partial f_c}{\partial \mathbf{V}^{[K]}} \right)^* \right]^* \quad (26)$$

$f_c(\mathbf{V})$  局部最优解满足零梯度条件, 即:  $\nabla f_c(\mathbf{V}) = 0$ 。

如果  $\mathbf{V}^{[m]}$  是静态点, 它必须满足以下关系式:

$$\mathbf{M}_c^{[m]} \mathbf{V}^{[m]} = \mathbf{A}_c^{[m]} \mathbf{V}^{[m]} \mathbf{E}_c^{[m]} \quad (27)$$

由公式 (27) 可以看出, 公式两边均有未知矩阵  $\mathbf{V}^{[m]}$ 。因此在实际的求解过程中, 采用迭代的方式, 即根据前一次的计算结果求解当前未知矩阵  $\mathbf{V}^{[m]}$ 。用公式表示为:

$$\mathbf{M}_c^{[m]} \mathbf{V}^{[m]} = \mathbf{A}_c^{[m]} \mathbf{V}^{[m-1]} \mathbf{E}_c^{[m]} \quad (28)$$

对偶信道中有类似的结论。

按照图2的流程, 通过原信道与对偶信道的交替迭代运算, 可以得到最终结果。与干扰对齐算法不同的是, EEIA算法在原信道和对偶信道的求解过程中都需要计算预编码矩阵  $\mathbf{V}$  和干扰抑制矩阵  $\mathbf{U}$ 。

EEIA算法的求解过程可以简述为以下步骤:

EEIA算法	
(1)	初始化预编码矩阵 $\mathbf{V}^{[0]}$ 和干扰抑制矩阵 $\mathbf{U}^{[0]}$ 需满足干扰对齐算法的抑制条件
(2)	根据公式 (20)、(21)、(22) 计算 $\mathbf{A}_c^{[m]} \mathbf{E}_c^{[m]} \mathbf{M}_c^{[m]}$
(3)	根据公式 (28) 计算预编码矩阵 $\mathbf{V}^{[m]}$ , 根据正交干扰对齐算法公式计算干扰抑制矩阵 $\mathbf{U}^{[m]}$
(4)	反转通信方向, 令 $\mathbf{S}^{\text{U}[m]} = \mathbf{U}^{[m]}$
(5)	计算对偶信道中的 $\mathbf{A}_c^{\text{SU}[m]} \mathbf{E}_c^{\text{SU}[m]} \mathbf{M}_c^{\text{SU}[m]}$
(6)	计算对偶信道中的预编码矩阵 $\mathbf{V}^{\text{SU}[m]}$ 和干扰抑制矩阵 $\mathbf{U}^{\text{SU}[m]}$
(7)	再次反转通信方向, 令 $\mathbf{V}^{[m]} = \mathbf{V}^{\text{SU}[m]}$
(8)	循环执行步骤 (2) ~ (7) 直到算法收敛或者完成预设的迭代次数

## 4 实验结果及分析

### 4.1 仿真实验平台构建

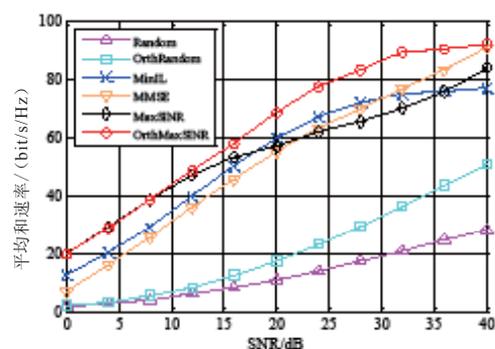
根据之前的叙述, 干扰对齐实现的条件是: 用户数量  $K$ 、发送天线数  $M$ 、接收天线数  $N$  以及信号维数  $d$  之间满足以下关系:  $K \leq (M+N)/(d-1)$ 。当不满足该关系式时, 干扰对齐不能发挥最佳作用。为了验证这一

结论和各干扰对齐算法的有效性，以下仿真实验在如下的条件下进行：收发天线数 $M=N=5$ ；发送信号维数 $d=2$ ；分仿真用户数 $K=4$ 和 $K=5$ 两种情况，为便于书写，记为 $(M \times N, d)K$ ；迭代次数为100；各算法进行2000次实验后取均值。

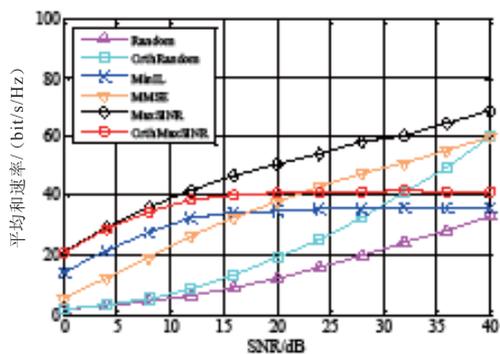
#### 4.2 干扰对齐优化算法仿真结果及分析

对OrthMaxSINR算法进行仿真实验，结果如图4所示，为方便比较，与经典算法的结果绘制在一起。由图4可以看出：OrthMaxSINR算法性能优于经典算法。正交化处理的效果在信噪比较低（ $<15\text{dB}$ ）时并不明显，OrthMaxSINR算法与MaxSINR算法基本没有区别，但是随着信噪比的提高，OrthMaxSINR算法和速率快速升高，优于MaxSINR算法，甚至超过其余各算法，优势显著。

对比不同用户数量的情况，当用户数目过多，不满足干扰对齐实现条件时，各算法对和速率的提升



(a)  $K=4$



(b)  $K=5$

图4  $(5 \times 5, 2)K$ 结构干扰对齐算法和速率与信噪比的关系

明显减少。由图4可以看出：OrthMaxSINR算法下降严重，尤其是当信噪比较大（ $>20\text{dB}$ ）时。这说明对MaxSINR算法的正交优化是建立在系统中干扰较少的前提下，当不满足这一前提时，正交处理不仅没有起任何作用，甚至会降低原算法的性能。

通过之前的叙述可知，基于不同的物理意义，可以采用不同的算法实现干扰对齐。下面分析各算法收敛性。此处，将收敛条件定义为相邻两次迭代运算结果相差小于 $1\text{bit/s/Hz}$ 。

此处只仿真 $K=4$ 的情况，在信噪比为 $30\text{dB}$ 时，各算法收敛情况如图5所示。由图5可以看出：MMSE算法和MaxSINR算法收敛速度基本一致，快于另外两种算法，MinIL算法和OrthMaxSINR算法基本一致。按照定义的收敛条件，MMSE算法和MaxSINR算法均在迭代进行到20次左右收敛，MinIL算法和OrthMaxSINR算法在迭代进行到80次左右收敛。

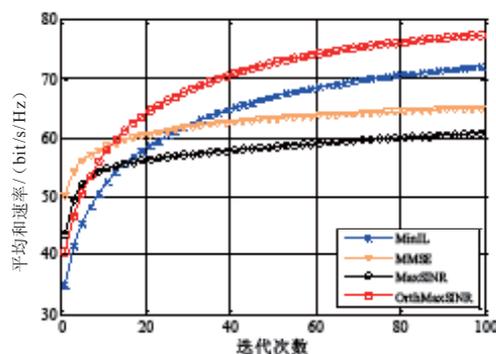
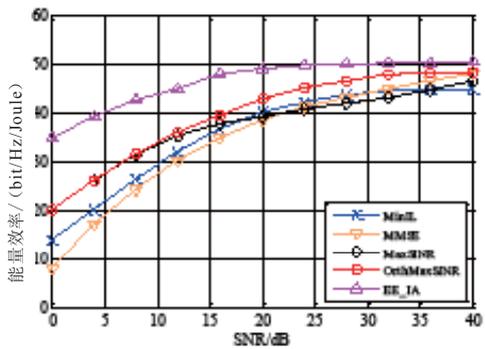


图5  $(5 \times 5, 2)4$ 结构干扰对齐算法收敛性

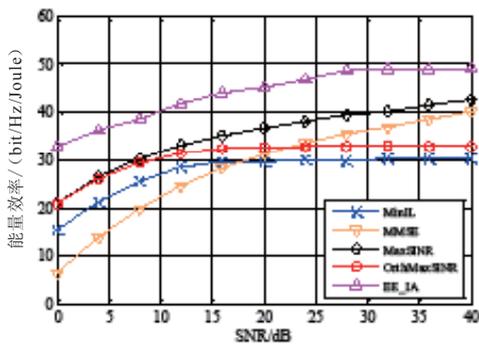
#### 4.3 能量效率优化算法仿真结果及分析

根据2.1节的系统模型，对EEIA算法进行仿真，并与干扰对齐算法的结果绘制在一起，结果如图6所示。由图6可以看出：相比于干扰对齐算法，EEIA算法能够进一步提高系统能量效率，尤其是在信噪比较低时，效果显著。

对比不同用户数量的情况，当用户数目过多，不满足干扰对齐实现条件时，EEIA算法能量效率也略有下降，但相比于干扰对齐算法所受影响明显较小。这是由于在计算过程中，并没有完全按照干扰对齐的计算方



(a)  $K=4$



(b)  $K=5$

图6  $(5 \times 5, 2)K$ 结构EEIA算法能量效率与信噪比的关系

式，因此对约束条件的要求并不十分严格。

从算法对能量效率的优化角度可以看出，EEIA算法优势十分明显。但是，根据2.3节中的介绍可知，EEIA算法是在OrthMaxSINR算法基础上提出的，而OrthMaxSINR算法在各经典干扰对齐算法中运算复杂度比较高。因此，在计算量方面，EEIA算法明显要大得多。当考虑运算过程的能量消耗时，该算法是否能够具有最好的优化效果并未可知。基于以上原因，下面将对该优化算法的收敛性进行分析。此处，将收敛条件定义为相邻两次迭代运算结果相差小于1bit/s/Hz。

此处只仿真 $K=4$ 的情况，在信噪比为30dB时，各算法的仿真结果如图7所示。由图7可以看出：该算法很快就达到收敛。在迭代进行到20次左右时就已完成收敛。

通过分析比较，EEIA算法一次迭代的计算量最多相当于OrthMaxSINR算法的两次迭代。通过单次迭代计算量和算法收敛所需迭代次数比较，可以看出EEIA

算法总计算量少于OrthMaxSINR算法。通过更少的运算取得更好的结果，这说明EEIA算法在提高能量效率方面具有十分明显的优势。

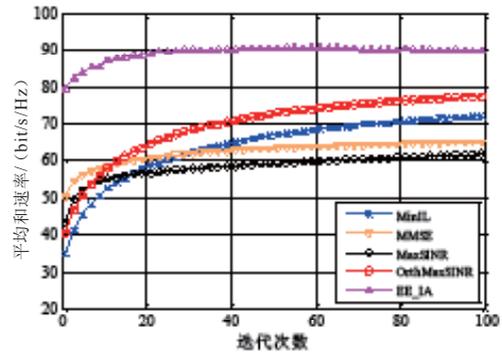


图7  $(5 \times 5, 2)4$ 结构各算法收敛性

## 5 结论

本文对多用户MIMO系统中日渐严重的干扰问题和能量效率问题进行了研究。

首先，针对三种经典干扰对齐算法在仿真过程中的缺点和不足，提出了正交最大信干噪比干扰对齐算法。仿真验证结果表明：正交最大信干噪比算法在提高系统和速率和能量效率方面较经典算法具有更好的效果。

其次，针对传统无线通信系统中，传输功率作为能量消耗重点所体现出的不足，建立了一种新的功耗模型。该模型涵盖了收发链路中各模块电路，能够更加准确地描述通信过程中的能量消耗情况，利于更加准确地计算系统的能量效率，是后文提出的能量效率优化算法的基础。

最后，在正交最大信干噪比干扰对齐算法基础上，提出了一种能量效率优化算法。仿真验证结果表明：该算法能够进一步提高系统能量效率。

## 参考文献：

- [1] D Gesbert, M Shafi, DS Shiu, et al. From theory to practice: an overview of MIMO space-time coded wireless systems[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2003,21(3): 281-302.
- [2] Cadambe V R, Jafar S A. Interference alignment and

- degrees of freedom of the K-user interference channel[A]. IEEE Transactions on Information Theory[C]. 2008: 3425-3441.
- [3] Mobile VCE. Virtual Centre of Excellence in Mobile and Personal Communications-Mobile VCE-CORE-5 Research Area: Green Radio[Z].
- [4] Gruber M, Blume O, Ferling D, et al. Earth—Energy Aware Radio And Network Technologies[A]. IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications[C]. 2009: 1-5.
- [5] Havinga P J M, Smit G J M. Energy-efficient wireless networking for multimedia applications[J]. Wireless Communications & Mobile Computing, 2001,1(2): 165-184.
- [6] Fallgren M T B. Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system[J]. METIS deliverable D, 2013.
- [7] Yetis C M, Gou T, Jafar S A, et al. On Feasibility of Interference Alignment in MIMO Interference Networks[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2010,58(9): 4771-4782.
- [8] Paulraj A, Nabar R, Gore D. Introduction to space-time wireless communications[M]. Cambridge university press, 2003: 187-192.
- [9] Lauwers E, Gielen G. Power estimation methods for analog circuits for architectural exploration of integrated systems[J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 2002,10(2): 155-162. ★

### 作者简介



钱进：硕士毕业于海军装备研究系统，现任职于海军驻航天三院军事代表室，任导弹研制生产监督师。



孙银江：助理工程师，硕士毕业于哈尔滨工业大学，现任职于北京机电工程研究所，研究方向为目标识别、无线通信。



郭磊：硕士研究生就读于哈尔滨工业大学电子与信息工程学院电子与通信工程专业，研究方向为无线通信。



李冰清：硕士研究生就读于哈尔滨工业大学电子与信息工程学院信息与通信工程专业，研究方向为无线通信、目标跟踪。

(上接第 65 页)

- 综合评价方法[J]. 河北大学学报：自然科学版, 2012,32(3): 320-325.
- [7] 易振宁. 全业务套餐健康度评估体系建设研究[J]. 通信与信息技术, 2012(4): 62-64.
- [8] 苏为华. 多指标综合评价理论与方法问题研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2000.
- [9] A Aryafar, S Yousefi, F D Ardejani. The weight of interaction of mining activities: groundwater in environmental impact assessment using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP)[J]. Environmental Earth Sciences, 2013,68(8): 2313-2324.

- [10] 赵黎明. 基于DM的电信业核心客户健康度评估研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2012. ★

### 作者简介



杜巍：测试工程师，硕士毕业于哈尔滨工业大学，现任职于中国移动（深圳）有限公司，主要从事硬件测试以及业务支撑网运营管理系统测试的系统测试工作。

# 基于Tetrolet变换和四元数模型的视频质量评价方法\*

杨斌斌, 李纲, 金炜

(宁波大学信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

**【摘要】** 提出了一种基于Tetrolet变换和四元数的视频质量评价方法, 通过对视频帧进行Tetrolet变换得到相应的纹理细节和边缘轮廓特征信息。对视频图像进行帧间残差运算后, 结合结构相似性算法获取原始视频和失真视频在时域方面的信息差异, 作为四元数的各个部分, 再对四元数矩阵进行奇异值分解以提取特征向量的方式来获取视频评价价值。对LIVE视频质量数据库进行测试, 实验结果表明该方法有效地提高了视频质量评价的主客观一致性。

**【关键词】** Tetrolet变换 结构相似性 四元数奇异值分解

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.015 中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0074-05  
引用格式: 杨斌斌, 李纲, 金炜. 基于Tetrolet变换和四元数模型的视频质量评价方法[J]. 移动通信, 2016, 40(2): 74-78.

## A Video Quality Evaluation Method Based on Tetrolet Transform and Quaternion Model

YANG Bin-bin, LI Gang, JIN Wei

(College of Information Engineering and Computer Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**[Abstract]** A video quality evaluation method based on Tetrolet transform and quaternion model was proposed in this paper. The Tetrolet transform was taken for video frames to obtain the corresponding texture detail and edge contour feature information. After calculating the residual information between frames, the structural similarity algorithm was used to obtain the information difference between the original and distorted videos in time domain as all parts of quaternion. Then, the quaternion singular value decomposition was taken to extract feature vector to evaluate video. Experimental results tested on LIVE test data set showed that the proposed method effectively enhanced the consistency of subjective and objective for video quality evaluation.

**[Key words]** Tetrolet transform structural similarity quaternion singular value decomposition

\*基金项目: 国家自然科学基金项目(61271399, 61373068);  
宁波市自然科学基金资助项目(2012A610047); 浙江省  
“信息与通信工程”重中之重学科开放基金资助项目  
收稿日期: 2015-10-19  
责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

## 1 引言

视频处理技术被广泛地应用于各个领域, 每个领域对其服务质量的要求各有不同, 经过压缩、传输等各种处理后, 视频质量也各有变化。为了维持互联网中视频服务质量的有效评估, 视频的质量评价方法逐渐变得极为重要。到目前为止, 主观评估方法是国际

上公认的一种最有效、可靠的测量途径，但是它对评价环境的要求极高，需要花费大量的时间、精力，同时观测环境、观察者的知识背景以及视觉心理会对评价产生影响。因此，大量新的客观视频质量度量方法被逐步提出来，通过采用数学模型来衡量原始视频与失真视频之间的相似性来得到评价结果。

传统的客观视频质量评价方法，如均方误差（Mean Squared Error, MSE）、峰值信噪比（Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR）等<sup>[1]</sup>属于运用范围较广的方法，因为其计算复杂度低，物理意义清晰，便于实施。但是，这些方法存在与主观评价一致性较差的问题，而人眼视觉才是视频应用的最终接收端。近年来，Wang<sup>[2]</sup>等人提出的结构相似性（Structural Similarity, SSIM）模型算法被广泛运用，它与人类感知具有良好的相关性且计算简单。一些基于SSIM的算法<sup>[3]</sup>也不断地被提出来。

目前，小波变换应用普遍受到了众多研究者的关注，已成为分析人眼多分辨率的重要工具。小波变换能对信号进行多尺度的时频分析，对一维的非平稳信号具有更优秀的逼近能力<sup>[4]</sup>。但是，由一维小波扩展成的可分离二维小波仅限于四个方向，对轮廓、边缘等特征的表示能力极其有限。

本文引入了一种将Tetrolet变换和四元数模型结合的视频质量评价方法，该方法能够较好地保留视频图像的方向纹理和边缘等信息，从而有效地对视频质量进行评价。同时考虑到视频的运动特征，本文通过视频帧间残差能量结合结构相似性算法求得时域信息，取得了良好的实验结果。

## 2 Tetrolet变换

Tetrolet变换是一种基于自适应Harr小波变换的方法<sup>[5]</sup>。该变换首先把待变换图像分成多个 $4 \times 4$ 的小块，然后找出每一块中与其几何结构相匹配的四格拼板。图1给出了5种不同形状的自由四格拼板，而在 $4 \times 4$ 的区域中，通过这5种自由四格拼板的完全填充，可以得到22种基本解，具体如图2所示。

为了说明Tetrolet变换，先给出相应定义及符号。令  $I = \{(i, j) : i, j = 0, \dots, N-1\}$   $Z^3$  是数字图像  $\alpha = (\alpha[i, j])_{(i, j) \in I}$  的索引集，其中  $K = 2^l$ ， $J \in N$ 。定

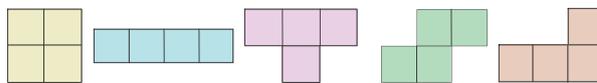


图1 5种自由四格拼板

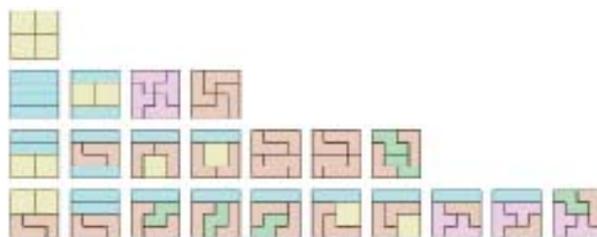


图2  $4 \times 4$ 区域内的22种基本解

义索引  $(i, j) \in I$  的4邻域为： $N_4(i, j) := \{(i-1, j), (i+1, j), (i, j-1), (i, j+1)\}$ ，并用双射  $J: I \rightarrow \{0, 1, \dots, K^2-1\}$  以及  $J(i, j) := jK+i$  得到一维索引  $J(I)$ 。对于集合  $E = \{I_0, \dots, I_r\}$ ,  $r \in I$ ，若  $I_v \subset I$ ，对于  $v \neq \mu$  满足  $I_v \cap I_\mu = \emptyset$  和  $\bigcup_{v=0}^r I_v = I$ ，则称  $E$  为索引集  $I$  的不相交分割。如果每个子集  $I_v$  包含4个索引，即  $|I_v|=4$  且每一个  $I_v$  的索引均有其在  $I_v$  中的临域，即  $\forall (i, j) \in I_v, \exists (i', j') \in I_v : (i', j') \in N_4(i, j)$ ，则称子集  $I_v$  为四格拼板。而由这种拼板堆叠正方形区域  $[0, K)^2$  的问题称为四格拼板问题。

对子集  $I_v = \{(i_1, j_1), (i_2, j_2), (i_3, j_3), (i_4, j_4)\}$  的4个元素进行简单的一维索引，即将它们的值从大到小排序后映射到  $\{0, 1, 2, 3\}$  上，把最小的索引值映射为0，最大的映射为3。对其进行Tetrolet滤波后，得到低通部分为：

$$a^l = \left( a^l[i, j] \right)_{i, j=0}^{N/2-1} \quad \text{s.t.} \\ a^l[i, j] = \sum_{(i', j') \in I_{i, j}} \varepsilon[0, L(i', j')] a[i', j'] \quad (1)$$

3个高通部分  $l=1, 2, 3$  为：

$$w_l^l = \left( w_l^l[i, j] \right)_{i, j=0}^{N/2-1} \quad \text{s.t.} \\ w_l^l[i, j] = \sum_{(i', j') \in I_{i, j}} \varepsilon[l, L(i', j')] a[i', j'] \quad (2)$$

其中系数  $\varepsilon[l, m]$ ,  $(l, m=0, \dots, 3)$ ，来自Haar小波变换矩阵：

$$W := (\varepsilon[l, m])_{l, m=0}^3 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

根据上述定义描述，来说明Tetrolet变换简单却有

效的快速滤波器算法。输入一幅图像  $\alpha = (a[i, j])_{(i, j) \in I}$ ,  $K = 2^J$ ,  $J \in N$  为分解层数, 将其分成  $4 \times 4$  块, 之后对每一块图像进行四格拼板堆叠。图2给出的是 22 种基本解, 在实际算法中考虑 117 种堆叠方法,  $c = 1, L, 117$ 。对于每种堆叠方法, 在 4 个四格拼板子集  $I_s^{(c)}, s = 0, 1, 2, 3$  上进行 Haar 小波变换, 可以获得 4 个低通系数以及 12 个 Tetrolet 系数。找出一种最优堆叠覆盖  $c^*$ , 使 12 个 Tetrolet 系数的  $l_1$  范数最小。若最优覆盖不唯一, 就选取之前被选择频率最高的覆盖  $c^*$ 。如此, 经过一层快速滤波器可将该块图像分解为  $2 \times 2$  低通部分以及  $12 \times 1$  高通部分, 之后对低通部分继续进行  $4 \times 4$  分块并执行上述分解, 直至分解结束。图3以  $64 \times 64$  大小的图像为例, 给出了 Tetrolet 变换的结构示意图。

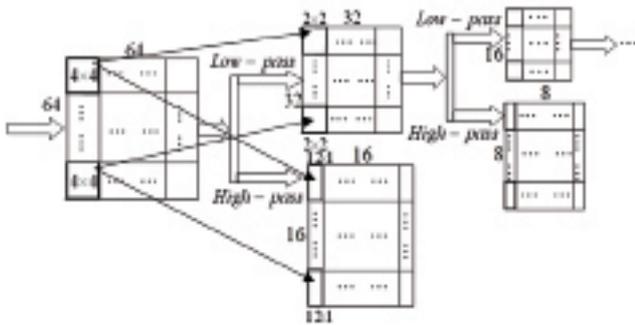


图3 Tetrolet变换的结构示意图

由于四格拼板与图像块局部几何特征相适应, 因此 Tetrolet 变换能够较好地保留图像的方向纹理细节和边缘轮廓等重要信息, 在图像压缩、去噪以及视频图像质量评价等应用中有很好的效果<sup>[6,7]</sup>。

### 3 四元数和奇异值分解

#### 3.1 四元数简介

1843 年, 威廉卢云哈密顿<sup>[8]</sup>提出了四元数这一数学概念, 它是最简单的超复数, 由 4 个部分组成, 包含 1 个实数部分和 3 个虚数部分, 形如:

$$Q = a + bi + cj + dk \quad (4)$$

其中,  $a, b, c, d$  为实数,  $i, j, k$  为虚数的 3 个向量, 遵循以下规则:

$$\begin{aligned} i^2 = j^2 = k^2 &= -1 \\ i \cdot j &= -j \cdot i = k \\ k \cdot i &= -i \cdot k = j \end{aligned} \quad (5)$$

采用四元数方法能够更好地表达多元特征信息而非单一特征, 通过四元数矩阵的计算得到的数学特征所表征的含义与实数以及复数矩阵有较大不同。尤其对于彩色图像或视频而言, 四元数矩阵数学特征所得到的分布规律与彩色图像本身的特点直接相关联<sup>[9]</sup>, 因此, 四元数被广泛地应用于彩色图像的评价中。

#### 3.2 奇异值分解

奇异值分解通常被用来获取一个评估矩阵的特征值。根据文献[10]中的定义, 任意一个秩为  $r$  的矩阵  $A \in H^{M \times N}$ , 存在两个列向量是两两正交的单位向量的  $U^{M \times M}$  和  $V^{N \times N}$  使得

$$A = U \begin{pmatrix} \sum_r & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} V^T \quad (6)$$

其中  $\sum_r = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r)$ ,  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r > 0$ ,  $\sigma_{i(0 \leq i \leq r)}$  是四元数矩阵的奇异值。

### 4 结构相似性 (SSIM)

结构相似性模型与人类视觉感知具有良好的相关性, 而且其计算相对比较简单, 文献[2]中提出的 SSIM 包括 3 部分: 亮度比较  $l(x, y)$ , 对比度比较  $c(x, y)$  和结构比较  $s(x, y)$ 。通过大量的实验验证与分析, 发现结构比较函数非常适合我们的模型, 而且当四元数的各个部分的值存在较大差异时可以起到归一化的作用, 因此采用函数  $s(x, y)$  来计算四元数的 3 个部分。结构比较函数定义如下:

$$s(x, y) = \frac{2\sigma_{xy} + C}{\sigma_x \sigma_y + C} \quad (7)$$

其中  $x = \{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}$  和  $y = \{y_i | i = 1, 2, \dots, N\}$  分别对应于参考视频与失真视频两个进行比较的帧之间在相同空间位置上的像素点。  $\sigma_{xy}$  是  $x$  和  $y$  之间的协方差。  $C = (KL)^2$  是一个很小的常数,  $L$  是动态像素值范围,  $L \ll 1$  是一个常数。

### 5 基于Tetrolet变换和四元数模型的评价方法

#### 5.1 空域信息

针对视频序列中的每帧图像进行 Tetrolet 变换, 可以得到其空间域上的纹理和轮廓信息。考虑到视频序

列有很多帧，而每帧图像进行多层Tetrolet变换需要一定的时间。为了不影响算法的运行速度，本文模型对每帧图像只进行一层变换，并且当前Tetrolet算法对方阵图像进行分解，所以分解之前对图像需要进行预处理，具体分解算法步骤说明如下：

- (1) 对原始视频和失真视频图像进行预处理，使其变成方阵图像块；
- (2) 把图像块分割成 $4 \times 4$ 大小的子块；
- (3) 针对每个子块找到一个最优的Tetrolet稀疏图像表示；
- (4) 对子块中的高频和低频进行重新排序，排列成 $2 \times 2$ 的子块；
- (5) 分别存储分解后的高频部分矩阵；
- (6) 对原始视频和失真视频帧的高频矩阵进行欧拉距离的计算，并作为四元数矩阵的一个虚部。

通过上述运算，得到了基于Tetrolet变换的亮度特征信息 $T_m^l(n)$ 和色度特征信息 $T_m^c(n)$ ，作为四元数的两个部分。

## 5.2 时域信息

运动信息是视频质量评价方法考虑的影响因素之一，视频中各帧对应像素点之间的差值既可以简单地反映出视频中帧与帧之间的运动强度，也能反映出时间相关性。 $f$ 帧中每个像素点 $(x, y)$ 与 $f-i$ 帧中的 $s(x, y)$ 相对应，二者之间的残差值 $T(x, y)$ 定义如下：

$$T_f(x, y) = Y_f(x, y) - Y_{f,i}(x, y) + C_f(x, y) - C_{f,i}(x, y) \quad (8)$$

其中， $i$ 是帧的间隔值；本文中， $i$ 取值为4， $Y_f(x, y) - Y_{f,i}(x, y)$ 表示两帧之间亮度信息的差异；相应地， $C_f(x, y) - C_{f,i}(x, y)$ 则表示色度信息的差异。

图4为视频中两个帧间隔为4的原始亮度层图像以及两者之间的能量差异图，帧间距离 $i=4$ 。

将原始视频与失真视频经过上述运算处理后的图像各像素点通过结构比较函数 $s(x, y)$ 进行相似性比对，得到的残差值 $Residual_m(n)$ 作为四元数的第三个部分。



(a) 第 $f-4$ 帧      (b) 第 $f$ 帧      (c) 两帧差异  
图4 间隔为4的两帧图像及其残差能量图

## 5.3 四元数模型建立

最终，基于Tetrolet变换的四元数表示形式为：

$$Q_m(n) = K_1 \times T_m^l(n) \times i + K_2 \times T_m^c(n) \times j + K_3 \times Residual_m(n) \times k \quad (9)$$

其中， $T_m^l(n)$ 和 $T_m^c(n)$ 分别为基于Tetrolet变换的亮度纹理和色度纹理特征信息， $Residual_m(n)$ 为基于亮度的帧间残差， $K_1, K_2, K_3$ 为远小于1的常数。

## 5.4 Tetrolet变换的视频质量评价模型

### (1) 帧度量

在原始视频帧和失真视频帧中，所有图像块的四元数表示 $Q_m(n)$ 将会构成一个四元数矩阵。对该四元数矩阵进行奇异值分解，得到一个奇异值向量，记为 $Q_m$ ，并且将参考视频和失真视频中下一帧待处理的图像分别作为当前图像，然后继续计算该图像对应的奇异值向量 $Q_m$ ，直至参考视频和失真视频中的所有图像处理完毕。

### (2) 视频度量

根据失真视频中每帧失真图像对应的奇异值向量，计算失真视频的客观质量评价价值，记为 $TSSIM$ ：

$$TSSIM = \sum_{m=1}^M V_m \quad (10)$$

$$\text{其中 } V_m = \left( \sum_{n=1}^{\frac{W \times H}{8}} (Q_m(n)) \right) / \left( \frac{W \times H}{8} \right), \quad Q_m(n) \text{ 表示 } Q_m \text{ 中的}$$

第 $n$ 个分量， $W$ 和 $H$ 分别是视频帧的宽度和高度。

## 6 LIVE数据库测试结果

本文中的方法针对LIVE视频质量数据库进行测试<sup>[11]</sup>，LIVE视频质量数据库共有160个视频序列（10个参考和150个失真），YUV采样格式为4:2:0，分辨率为 $768 \times 432$ 。利用评估图像质量评价方法的两个常用客观参量作为客观质量评价指标，即Spearman相关系数（Spearman Rank Order Correlation Coefficient, SROCC）和非线性回归条件下的Pearson相关系数（Pearson Linear Correlation Coefficient, PLCC）。PLCC用于反映失真视频的客观评价结果的准确性，SROCC用于反映失真视频的客观评价结果的单调性，SROCC和PLCC的值越大，表示客观评价方法的评价结果与主观方法的评价结果更一致。

对上述LIVE数据库全部150个失真视频序列进行客观质量评价，并将实验评价结果与文献[12]中提供的数据进行比较。从表1可以看出，本方法的实验结果比传统的方法好，但是跟主观感知之间的相关性还不是特别强，需要进一步进行优化。

表1 本文方法与传统评价方法的比较

方法	SROCC	PLCC
PSNR	0.368	0.408
SSIM	0.495	0.522
MS-SSIM	0.759	0.763
本文方法	0.776	0.801

## 7 结束语

本文提出一种基于Tetrolet变换和四元数模型的视频质量评价方法，选用LIVE数据库进行实验。实验结果表明该方法要优于传统的评价方法，有较好的相关性，但还有待于进一步研究及优化。本文方法最大的优点是对视频图像纹理细节和轮廓的提取效果比较明显，同时将空域信息和时域信息进行结合作为统一有机体，看作四元数的各个部分，用奇异值分解提取特征信息从而获取评价价值。

## 参考文献：

[1] W Zhou, B Alan Conrad, S Hamid Rahim. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004,13(4): 600-612.

[2] W Zhou, L Lu, AC Bovik. Video quality assessment based on structural distortion measurement[J]. Signal Process: Image Communication, 2004,19(2): 121-132.

[3] Zhang Q, Wang L, Li H, et al. Video fusion performance evaluation based on structural similarity and human visual perception[J]. Signal Processing, 2012,92(4): 912-925.

[4] 郑江云,刘全金. 基于小波的视频质量评价模型[J]. 计算机工程, 2012,38(20): 275-277.

[5] Krommweh J. Tetrolet transform: A new adaptive Haar wavelet algorithm for sparse image representation[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2010,21(4): 364-374.

[6] Krommweh J, Plonk G. Directional Haar wavelet frames

on triangles[J]. Applied & Computational Harmonic Analysis, 2009,27(2): 215-234.

[7] 李财莲,孙即祥,康耀红. 基于Tetrolet变换的自适应阈值去噪[J]. 海南大学学报, 2010,28(4): 348-352.

[8] Hamilton William Rowan. On quaternions[A]. In: Proceeding of the Royal Irish Academy, 1847: 1-16.

[9] 王宇庆,朱明. 评价彩色图像质量的四元数矩阵最大奇异值方法[J]. 光学精密工程, 2013,21(2): 469-478.

[10] Bihan Nicolas Le, Mars Jerome. Singular Value Decomposition of Quaternion Matrices: A New Tool for Vector-Sensor Signal Processing[J]. Signal Processing, 2004,84(7): 1177-1199.

[11] LIVE Video Quality Database[EB/OL]. [2015-10-15]. [http://live.ece.utexas.edu/research/quality/live\\_video.html](http://live.ece.utexas.edu/research/quality/live_video.html).

[12] MJ Chen, AC Bovik. Fast structural similarity index algorithm[J]. Journal of Real-Time Image Processing, 2011,6(4): 281-287. ★

## 作者简介



杨斌斌：硕士研究生就读宁波大学，主要研究方向为图像/视频质量评价方法。



李纲：副教授，宁波大学信息学院硕士研究生导师，主要研究方向为图像/视频质量评价、进化计算。



金炜：副教授，宁波大学信息学院硕士研究生导师，主要研究方向为遥感图像处理、多尺度几何分析、压缩感知、光电检测等。

# 基于图像内容和支持向量机的服装图像检索方法研究

薛培培, 邬延辉

(宁波大学, 浙江 宁波 315211)

**【摘要】** 基于内容的图像检索技术在电商领域的应用已逐渐成为研究热点。根据服装图像的特点, 提出了一种基于颜色特征和尺度不变特征转换 (SIFT) 并进行特征融合的服装图像检索方法, 在此基础上利用支持向量机加入相关反馈技术, 来提高图像的检索准确率。实验结果表明, 提出的方法可以提高图像的检索准确率。

**【关键词】** 图像检索 颜色直方图 SIFT特征 支持向量机

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.016 中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0079-04  
引用格式: 薛培培, 邬延辉. 基于图像内容和支持向量机的服装图像检索方法研究[J]. 移动通信, 2016, 40(2): 79-82.

## A Clothing Image Retrieval Method Based on Image Content and Support Vector Machine

XUE Pei-pei, WU Yan-hui

(Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**[Abstract]** Content-based image retrieval technology has become a popular topic in the field of electronic commerce. According to characteristics of clothing image, a feature-fused clothing image retrieval method combined color feature with scale-invariant feature transform (SIFT) was proposed. Support vector machine was also used to add feedback to enhance the accuracy of image retrieval. Experimental results show that the proposed method can improve the accuracy of image retrieval.

**[Key words]** image retrieval color histogram scale-invariant feature transform support vector machine

## 1 引言

近年来, 电子商务发展飞速, 在网上购买服装也越来越流行。目前, 天猫、京东商城、凡客诚品、美丽说等一些主流服装电子商务网站上采用的服装查询方式仍是传统的基于文本的查询方式。文本的查询方

式实际上是一种文搜图 (Text-based Image Retrieval, TBIR)<sup>[1]</sup>的方式, 这种方式需要对大量图像进行人工标注, 工作量大且关键字标注服装图像不能全面反映服装本身的信息<sup>[2]</sup>。随着服装购物网站上服装商品数量的增加, 出现了很多颜色各异、款式多样、质量参差不齐、价格匪夷所思的服装, 导致用户挑选出满意服装所花费的时间和精力越来越多。基于内容的图像检索技术 (Content-based Image Retrieval, CBIR) 是直

收稿日期: 2015-11-18

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

接根据图像的视觉特征进行图像检索，图像的视觉特征可以在离线状态下自动提取，不需要人工对图像进行标注，因此可以减少工作量。人们在购买服装的时候更关注服装的颜色、款式等视觉信息，利用服装图像的视觉特征也更符合用户的检索模式。

实现CBIR技术的关键之一是图像特征的提取，颜色特征是人类视觉系统对图像最直接的感知，其不受图像尺寸、平移、旋转的影响，具有很好的鲁棒性，因此在图像检索技术中应用的比较广泛<sup>[3-4]</sup>。颜色特征是一种全局特征，其特征提取比较容易实现，但其容易受到光照、遮挡和复杂背景的影响。SIFT特征<sup>[5]</sup>是Lowe教授提出的一种局部特征，它不仅具有平移、缩放、旋转不变性，而且可以解决图像的光照、遮挡和复杂背景问题，在图像目标匹配中具有较好的表现，因此也被一些学者应用于图像检索<sup>[6,7]</sup>中。

本文提出了一种基于颜色特征和SIFT特征相融合的服装图像检索方法，并利用支持向量机对初次检索结果进行反馈，进一步优化检索结果，实验结果表明该方法具有较好的检索准确率。

## 2 特征提取和相似性度量

### 2.1 颜色特征

图像的颜色特征可以用颜色直方图来表示，该方法计算简单且容易实现。由于在服装图像中人们主要关注的是服装区域的颜色，而服装一般位于图像的中间区域，因此可以人为地设置一个矩形框来框定图像的服装区域来作为颜色特征提取的主要区域。将矩形框外的区域作为背景区域不统计颜色特征，以此来减少背景颜色的干扰。各种颜色在图像中的分布具有空间性，因此将服装区域进行3×3分块，并给每块赋予不同的权值，分块策略如图1所示：

1	2	1
2	4	2
1	2	1

图1 3×3分块策略

分别提取每块图像的颜色直方图后，整幅图像可

以通过各个分块颜色直方图的集合来表示：

$$Chist = \{H_1, H_2, H_3, \dots, H_9\} \quad (1)$$

$$H_i = \{h[0], h[1], h[2], \dots, h[l]\} \quad (2)$$

$$h[l] = \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \begin{cases} 1, & I(x, y) = l \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中， $H_i$ 表示第*i*个分块的颜色直方图， $h[l]$ 表示第*l*种颜色出现的频次， $X$ 、 $Y$ 分别表示图像的宽和高。

### 2.2 SIFT特征

SIFT特征的提取采用D.G.Lowe<sup>[5]</sup>提出的特征提取算法，SIFT特征提取流程如图2所示：

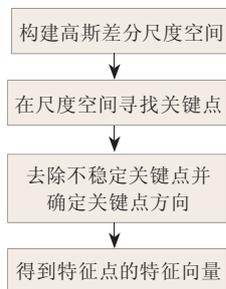


图2 SIFT算法流程图

由于每个SIFT特征点的特征向量有128维，每幅图像上可能会产生上百个特征点，而且每幅图像上检测到的特征点个数也有所不同，据此有可能会给图像的特征匹配带来难度。为了解决这个问题，本文采用视觉词包模型（Visual Bag of Words, VBOW）来表示一幅图像。VBOW是词包模型（Bag of Words, BOW）<sup>[8]</sup>的一种变形。BOW模型是在信息检索领域常用于文档表示的一种有效方法，其基本思想是：对于一个文档，不考虑文档中单词出现的顺序、语法、句法和单词之间的依赖关系，只是把文档看成是单词的集合。将VBOW应用于图像表示的步骤如下：

(1) 将所有图像的SIFT特征进行K-Means聚类。

(2) K个聚类中心形成一个视觉单词本。

(3) 每幅图像中的SIFT特征点都近似映射到视觉单词本中的一个视觉单词。

(4) 根据每幅图像中视觉单词的个数，得到视觉单词直方图。

### 2.3 相似性度量

由于图像的颜色特征和SIFT特征均是采用直方图的形式表示，因此采用直方图相交法来度量两幅图像之间的相似性。

设两张图片的特征向量分别为： $A=\{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ 、 $B=\{b_1, b_2, \dots, b_k\}$ ，距离度量公式为：

$$s(A, B) = \sum_{i=1}^k w_i \min(a_i, b_i) \quad (4)$$

其中 $w_i$ 表示第 $i$ 个分量的权重。

## 3 基于SVM的相关反馈方法

一幅图像除了它所表示的一些低层视觉信息，还有一些高层语义信息是无法通过特征向量表示出来的，因此单纯地利用视觉低层特征来比较图像之间的相似性并不一定能反映人的视觉中的一些高层概念语义的相似度。相关反馈技术就是通过检索人对检索结果进行一个初步判断，标注出符合期望和不符合期望的图像，系统后台自动调整查询结果，使之逐渐靠近用户想要的查询结果，这是一个逐步求精的过程<sup>[9]</sup>。

SVM是Vapnik<sup>[10]</sup>在统计学习理论的基础上提出的一种模式识别方法，在解决小样本、非线性以及高维模式识别问题方面有很好的表现<sup>[11]</sup>。它通过构造一个最优分类面，将给定训练样本分成间隔距离最大的两类。设训练样本集： $\{(x_i, y_i, w_i), x_i \in R^n, y_i \in \{-1, 1\}, 0 < w_i \leq 1, i=1, 2, \dots, t\}$ ，其中 $x_i$ 表示样本数据， $y_i$ 表示类别标号， $w_i$ 表示加权系数。在 $n$ 维空间中的线性判别函数 $g(x)=wx+b$ ，对应的分类面表示为 $wx+b=0$ 。最小化 $\|w\|$ 可得到最优分类面，目标函数可表示为：

$$\min_j(w) = \frac{1}{2} \|w\|^2 = \frac{1}{2} (w^T \cdot w) \quad (5)$$

$$\text{满足约束条件: } y_i(w \times x_i + b) \geq 1, i=1, 2, \dots, t \quad (6)$$

根据公式(5)、公式(6)采用Lagrange乘子法引入Lagrange乘子 $a=(a_1, a_2, \dots, a_t)$ ,

$$\text{权重: } w = \sum_i a_i y_i x_i \quad (7)$$

得到的最优分类函数为：

$$g(x) = \text{sign}(x \sum_i a_i y_i x_i + b) \quad (8)$$

对于线性空间不可分的情况，目标函数就变为：

$$\varphi(w, \xi) = \frac{1}{2} (w^T w) + C \left( \sum_{i=1}^l \xi_i \right) \quad (9)$$

其中 $\xi_i$ 表示松弛因子， $C$ 表示惩罚因子。

满足约束条件：

$$y_i(w^T x_i + b) \geq 1 - \xi_i, \xi_i \geq 0, i=1, 2, \dots, l \quad (10)$$

线性不可分情况的解决方法是引入核函数 $K(x_i, x)$ ，将样本转化为某个高维空间线性化。引入核函数后，最优分类面等价于使公式(11)最大化：

$$\varphi(a) = \sum_{i=1}^l a_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l a_i a_j y_i y_j K(x_i, x) \quad (11)$$

满足约束条件：

$$\sum_{i=1}^l y_i a_i = 0, 0 \leq a_i \leq C, i=1, 2, \dots, l \quad (12)$$

经过上面的步骤，最后得到的最优超平面为：

$$g(x) = \sum_{i=1}^l a_i y_i K(x_i, x) + b \quad (13)$$

分析SVM学习方法，由于图像检索的相关反馈过程可以看成是模式识别中的二分类问题，构造分类器的过程就是通过不断学习调整权重参数的过程<sup>[12]</sup>。用SVM对检索结果进行反馈的流程是：

(1) 根据图像的颜色特征和SIFT特征对查询图像进行检索。首次检索根据公式(4)计算查询图像的特征向量和图像库中图像的特征向量之间的相似度，按照相似度从高到低把前 $m$ 幅图像返回给用户。

(2) 用户对检索结果图像进行分类，符合自己期望的标记为相关图像，不符合自己期望的则为不相关图像。相关图像组成正样本集 $I^+$ ，不相关图像组成负样本集 $I^-$ 。

(3) 准备SVM训练样本集 $(x_i, y_i)$ ：

$$x_i \in I^+ \cup I^-, y_i = \begin{cases} +1, & x_i \in I^+ \\ -1, & x_i \in I^- \end{cases}$$

(4) 经过学习构造一个分类超平面。

(5) 计算图像库中每幅图像与分类面的距离 $g(x)$ 。

(6) 对 $g(x)$ 排序，并返回最终的检索结果。

## 4 实验仿真及结果

本文实验在MyEclipse10软件平台上使用java语言和opencv3.0计算机视觉库提供的java包实现相应的算法。实验以女性服装为例，选取连衣裙、半身短裙、T-恤、长裤、短裤这五大类共2000张图片构建了实验

所需的服装图像数据库。使用图像检索领域普遍使用的查全率 (Recall)、查准率 (Precision) 来做性能评价指标。查全率和查准率的定义如下:

$$\text{Recall} = \frac{\text{检索出的相关图像数}}{\text{图像库中总的相关图像数}} \quad (14)$$

$$\text{Precision} = \frac{\text{检索出的相关图像数}}{\text{检索出的总图像数}} \quad (15)$$

用K-Means算法聚类构建视觉单词表时, 其中聚类中心个数K的取值对检索结果有重要的影响, 为了确定K值, 对K取不同值进行了实验。对实验数据库图像预处理之后提取SIFT特征, 平均每幅图像SIFT特征是182个, 聚类中心分别设为64、128、256、512, 返回检索结果的前12、13、14、15、16幅图像, 计算了图像检索结果的平均Recall, 结果如表1所示, R表示检索结果的前R幅图像。从表1可以看出, 当K取128时图像的平均Recall比较高, 故本实验选取K值为128。

表1 聚类中心K取不同值得到的前R幅结果的查全率

K	R					
	Recall	12	13	14	15	16
64		0.63	0.70	0.71	0.72	0.75
128		0.69	0.70	0.72	0.74	0.76
256		0.63	0.66	0.70	0.72	0.74
512		0.61	0.67	0.70	0.71	0.75

根据表1绘制的曲线图如图3所示, 其中横轴R表示检索结果的前R幅图像:

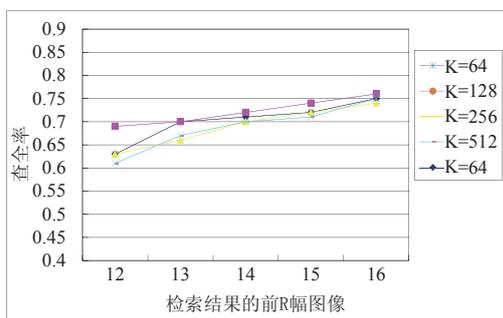


图3 不同K值的查全率曲线

实验还分别把改进方法与基于颜色特征法、基于SIFT特征法、基于颜色和SIFT综合特征法进行了对

比, 由表2的结果数据可以看出: 基于综合特征法不仅利用了图像的颜色特征还利用了图像的局部特征, 基于综合特征法较全面地描述了图像信息, 因此基于综合特征法比基于单一特征的检索效果要好。本文不仅利用了图像的低层视觉信息, 空间位置特征更融合了图像的语义高层次的特征, 因此本文介绍的方法的检索效果更好些。

表2 各种方法的性能比较

检索方法	查准率	查全率
颜色直方图法	0.78	0.73
SIFT特征法	0.72	0.71
综合特征法	0.84	0.80
本文方法	0.89	0.82

## 5 结束语

本文提出了一种基于图像内容和支持向量机的服装图像检索方法, 该方法不仅利用了图像的颜色特征、局部SIFT特征, 还通过SVM对检索结果进行优化, 间接地使用了图像的高层语义信息, 从而能够从多个角度更全面地表示图像的信息, 提高了检索效率。

## 参考文献:

- [1] Ritendra Datta, Dhiraj Joshi, Jia Li, et al. Image Retrieval: Ideas, Influences, and Trends of the New Age[J]. ACM Computing Surveys(CSUR), 2008,40(2): 5-6.
- [2] 兰丽, 耿增民. 服装图像检索研究综述[J]. 电脑知识与技术, 2015,11(12): 184-187.
- [3] 窦建军, 文俊, 刘重庆. 基于颜色直方图的图像检索技术[J]. 红外与激光工程, 2005,34(1): 84-88.
- [4] 黄山园. 基于颜色特征的图像检索技术研究[D]. 太原: 山西大学, 2013.
- [5] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant key points[J]. International Journal of Computer Vision, 2004,60(2): 91-110.
- [6] 朱玉滨. 基于SIFT的图像检索技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [7] 温超, 耿国华, 李展. 基于SIFT特征的文物图像检索[J].

(下转第 87 页)

# 基于TF-IDF算法的AAA服务异常检测机制研究\*

黄晓丹<sup>1</sup>, 罗伟<sup>2,3</sup>, 李秀峰<sup>1</sup>, 李晓冰<sup>1</sup>, 刘建建<sup>1</sup>

(1. 中国电信股份有限公司山东分公司, 山东 济南 250000;

2. 国防科学技术大学计算机学院, 湖南 长沙 410073;

3. 武警海南省总队, 海南 海口 570000)

**【摘要】** 首先基于某电信公司2014年度的AAA服务日志文件, 统计了其认证结果的比例分布, 归纳了导致服务状态异常的数据源行为类型, 即恶意登录和唯M性授权攻击。接着针对现有异常检测策略在效率和准确性上的不足, 提出了一种基于参数替换的TF-IDF算法的服务状态异常检测机制, 通过计算待筛选数据源与已确认的异常源集的关联度, 高效地发现和确定其他异常源。最后通过模拟实验, 验证了该机制的有效性和高效性。

**【关键词】** AAA服务 异常日志 TF-IDF算法 异常检测

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.017 中图分类号: TP309.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0083-05

引用格式: 黄晓丹, 罗伟, 李秀峰, 等. 基于TF-IDF算法的AAA服务异常检测机制研究[J]. 移动通信, 2016, 40(2): 83-87.

## Research on AAA Service Anomaly Detection Mechanism Based on TF-IDF Algorithm

HUANG Xiao-dan<sup>1</sup>, LUO Wei<sup>2,3</sup>, LI Xiu-feng<sup>1</sup>, LI Xiao-bing<sup>1</sup>, LIU Jian-jian<sup>1</sup>

(1. Shandong Branch of China Telecom Co., Ltd., Jinan 250000, China;

2. College of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

3. Armed Police Corps of Hainan Province, Haikou 570000, China)

**[Abstract]** Based on AAA service log files of a telecommunications company in 2014, the proportion distribution of authentication results was addressed, and then the behavior types of data sources leading to abnormal service state were summarized, i.e. malicious login and quantity limitation attack. According to the flaws of existing anomaly detection mechanisms in efficiency and accuracy, an anomaly detection mechanism based on TF-IDF algorithm with parameter replacement was proposed. It calculates the correlation between the data source to be filtered and the abnormal data source set to efficiently discover and confirm other abnormal data sources. Finally, simulation experiments verified the effectiveness and efficiency of the mechanism.

**[Key words]** AAA Service abnormal log TF-IDF algorithm anomaly detection

## 1 概述

### 1.1 AAA服务概述

AAA服务以一体化模式为电信运营商提供认证

(Authentication)、授权(Authorization)和计费(Accounting)的业务功能<sup>[1]</sup>。对于电信运营商来说, AAA服务既是确认收费对象身份的基础, 也是保证网络安全(防止非法用户接入)的重要手段。在完成用户身份确认后, AAA服务根据用户与运营商签订的服务合同授予用户相应的权限, 如可接入终端的数量、可用带宽等<sup>[2]</sup>。

\*基金项目: 国家自然科学基金(61202483)

收稿日期: 2015-09-28

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

作为网络接入的认证和授权系统，AAA系统的正常运行直接关系到运营商网络服务的正常提供。而且，由于AAA系统多采用集中服务的模式（1个或多个省份部署1套AAA系统）工作，其故障会导致大量用户无法通过认证接入网络，进而导致大面积的网络服务故障。因此，实现对AAA系统状态的有效监控，并在其发生故障、遭到攻击时迅速定位异常源，对保证运营商网络服务的可用性极为关键。

### 1.2 现有异常检测策略

由于AAA系统组成设备和功能服务的不断扩展，由软硬件故障、恶意攻击等引发的系统异常也日益频繁。由于各类设备之间的互相影响，单个设备的异常可能引发大量的异常日志，导致异常影响范围和异常源定位等越来越困难。

目前实际应用的AAA服务异常检测策略普遍基于IDS（Intrusion Detection Systems）等入侵检测设备和AAA系统本身的日志信息设计。其功能实现主要是通过抽样检测或逐一检测分析相关日志数据，统计相关数据源的行为动作（认证、下线等）特征，当某个数据源的行为统计偏离正常值时发出告警信息。此类方法策略原理简单，易于部署和使用，但普遍没有考虑异常源之间的关联性<sup>[3-5]</sup>，检测效率较低，往往在攻击行为持续较长时间后，才能发现异常源，且难以发现以低强度、分布式的方式存在的异常源。

### 1.3 TF-IDF算法概述

TF-IDF算法是信息检索服务中常用的一种算法，用于计算特征词汇与某个文档的关联度，式（1）为其计算公式。其中 $w_{i,j}$ 为词汇 $i$ 与文件 $j$ 的关联系数， $tf_{i,j}$ 为词汇 $i$ 在文件 $j$ 中出现的次数， $N$ 为文件集中的文件总数， $df_i$ 为包含词汇 $i$ 的文件总数<sup>[6]</sup>。

$$w_{i,j} = tf_{i,j} \times \lg\left(\frac{N}{df_i}\right) \quad (1)$$

简单来说，词汇 $i$ 在某个文件 $j$ 中出现的频率越高，且包含 $i$ 的文件数越少，词汇 $i$ 相对于文件 $j$ 的关联系数 $w_{i,j}$ 越高，即关联度越大<sup>[7]</sup>。

通过重新设定TF-IDF算法的参数的意义，其也常被用作其他领域关联度的评估<sup>[8-11]</sup>。本文第3节所述异

常源检测机制中，基于参数替换的TF-IDF算法计算未知异常源与已知异常源的关联度，发现并确认未知异常源，进而用于异常屏蔽等操作。

## 2 数据集和分析

本文的研究和分析基于某电信公司2014年度的AAA服务日志文件（Log文件）。Log文件的信息主要包括接入申请时间戳、用户ID、接入方式、MAC地址、接入端口和认证授权结果等。本文主要关注时间戳、接入方式、MAC地址、接入端口等用于标识和确认某个数据源。出于信息保密的考虑，不再对日志文件的数据格式等进行详细描述。

通过对Log文件中认证授权结果的统计分析，因用户非法（用户名含有非法字符、用户名/密码错误等）、唯 $N$ 性授权失败（即第 $N+1$ 台终端试图使用同时接入数最大为 $N$ 的账号接入网络）导致的认证授权失败占据了相当的比例。由图1可知，在未发生攻击行为的条件下，唯 $N$ 性验证失败和用户非法的比例也高达30%左右，认证成功比例仅为25%左右，这里简单地认为其为正常值，本文不再对该现象的原因进行分析。

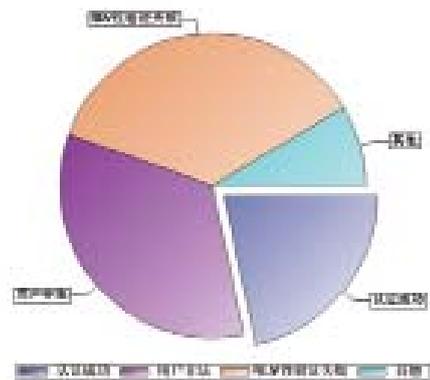


图1 认证授权结果

图2显示了发生恶意登录攻击的某天的数据，该攻击者在8:00-8:29通过固定密码轮换账号的模式，在短时间内发起大量认证操作，试图获取使用了简单密码（如aabbcc）的用户的使用权限，造成大量用

户非法类型的认证失败。图3显示了发生唯N性授权攻击（即通过特定账号不停发起超过其允许同时登录数量的接入认证）的某天的数据，该攻击者在11:00-11:29通过20余个账号在短时间内发起了大量登录认证操作，试图通过在同一时间发起认证从而使大量设备通过同一账户接入网络，导致认证授权成功率大幅下降。同样出于信息保密的考虑，图1至图3隐藏了真实的绝对数值。

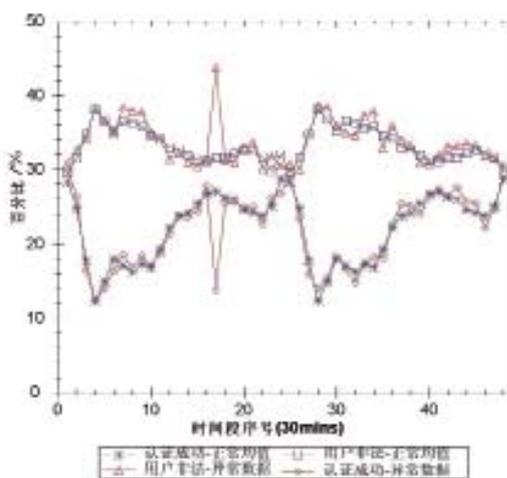


图2 发生恶意登录攻击的认证数据

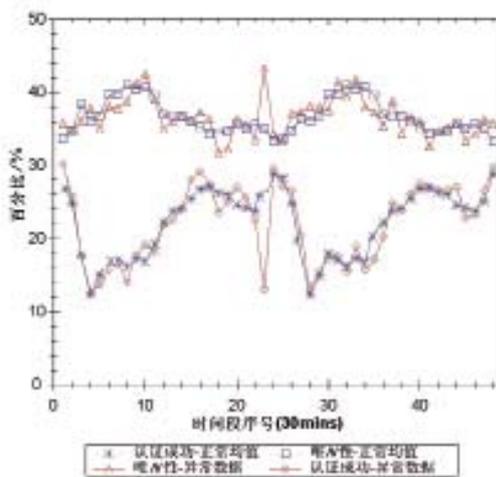


图3 发生唯N性授权攻击的认证数据

### 3 基于TF-IDF算法的异常源筛选机制

通过对AAA日志数据的分析统计，发现导致AAA服务异常的攻击行为（主要包括恶意登录和唯N性授权

攻击）在时间（攻击持续时段）、空间（接入端口）上都表现出较强的聚集性，通过替换TF-IDF算法的相关参数使其适用于异常源检测，利用与确定的少数异常源的关联度迅速确定其他未知异常源，进而对其进行屏蔽操作。

#### 3.1 参数替换的TF-IDF算法

首先设定几个概念，便于对算法进行形式化描述：

(1) 数据源 $DS_{\langle Port, MAC \rangle}$ ，其中Port为认证数据来源的接入端口，MAC为其物理地址。

(2) 异常源集合 $\Phi$ ，包含已确定为异常数据来源的数据源。

(3) T窗口数据源集合 $\Lambda \{DS_{\langle Port, MAC \rangle}, t, T\}$ ，即以确定的异常源 $DS_{\langle Port, MAC \rangle}$ 进行某次攻击的时刻t为中心，在同一Port到达，并在时间窗口T内进行了认证操作的数据源的集合。需要注意的是，如果 $DS_{\langle Port, MAC \rangle}$ 在多个时间点进行了攻击行为，则存在多个集合 $\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_n$ 且这些集合可能存在部分重合。

(4) 待确认异常源集合 $\Psi$ ，与异常源集合 $\Phi$ 的关联度大于设定的阈值，待进行行为检测以确认是否为异常源的数据源集合。

基于以上几个概念，经过参数替换用于异常源筛选的TF-IDF算法可用式(2)表示，其中 $Cor(DS, \Phi)$ 表示待筛选数据源与异常源集合 $\Phi$ 的相关系数， $tf_{DS, count(\Lambda, DS \in \Lambda)}$ 为包含DS的T窗口数据源集合 $\Lambda$ 的数量，N为在监测时段内认证操作的总次数， $df_{DS}$ 为监测时段内DS发起认证的次数。

$$Cor(DS, \Phi) = tf_{DS, count(\Lambda, DS \in \Lambda)} \times \lg\left(\frac{N}{df_{DS}}\right) \quad (2)$$

与原始的TF-IDF算法类似， $Cor(DS, \Phi)$ 的值越大，说明数据源DS与异常源集合 $\Phi$ 的相关性越强，其为异常源的可能性越大。

#### 3.2 异常源筛选流程

本节基于3.1节给出的算法完成对异常源筛选流程的设计和描述，主要包括以下6个步骤：

(1) 周期性地发起对统计认证结果数据的检查。

(2) 认证结果数据异常检测。在某一时间窗口范围内，发现认证成功、用户非法、唯N性授权失败等的

累加数量、所占总认证数的比例偏离同时段正常均值超过某一阈值，在没有已知原因（如线路割接、流量重分配等）的前提下，即认为发生了认证服务异常。

(3) 基于数据统计的异常源集合  $\Phi$  初步填充。利用1.2节所述现有异常源检测系统，发现并确定少量较为明显的异常源，完成异常源集合  $\Phi$  的初步填充。

(4) 利用异常源集合  $\Phi$  中的元素，基于式(2)计算每个元素  $x$  与集合  $\{\Phi-x\}$  的关联度，通过累加关联度然后取均值，获取用于关联度比较的阈值。

(5) 基于关联度的异常源检测确认。根据3.2节给出的TF-IDF算法和完成初步填充的异常源集合  $\Phi$ ，计算待筛选数据源DS与  $\Phi$  的相关系数  $Cor(DS, \Phi)$ ，若  $Cor(DS, \Phi)$  大于预先设定的阈值，则将其加入待确认异常源集合  $\Psi$ 。

(6) 对于待确认异常源集合  $\Psi$  中的数据源进行行为审计检测，如确认其对AAA系统进行了攻击行为，则将其加入异常源集合  $\Phi$ ，重新计算关联度阈值，否则将其从待确认异常源集合  $\Psi$  中删除。

#### 4 仿真实验

为验证本文提出的异常检测机制的有效性（发现数量）和高效性（用时），在真实的日志文件中截取了7次攻击（其中前4次为恶意登录攻击，后3次为唯N性授权攻击）的日志数据进行仿真实验，具体的截取时段从攻击开始前30分钟开始到攻击结束后30分钟。

表1展示了本文提出的检测机制与现有机制在异常源发现数量和所用时间这两个参数上的对比。显然，本文提出的检测机制在异常源发现数量和用时上明显

表1 仿真实验数据

序号	基于TF-IDF算法的检测机制		现有检测机制	
	数量/个	用时/s	数量/个	用时/s
1	112	382	102	672
2	141	406	112	689
3	131	331	124	567
4	129	409	110	712
5	32	365	26	612
6	19	422	15	711
7	28	398	21	674

优于现有检测机制。

需要说明的是，由于本文提出的检测机制的时间开销与待筛选数据源数量正相关，即使后3次攻击中异常源的数量较少，由于待检测数据源数量相近，后3次检测所用时间与异常源较多的前4次检测基本一致。

#### 5 结束语

针对现有检测机制在有效性和时效性方面存在的不足，从异常数据源之间的关联性入手，基于参数替换的TF-IDF算法提出了一种异常检测机制，通过日志分析计算待筛选数据源与已确认的异常源集的关联度，从而实现异常源的高效检测。最后基于真实的AAA日志数据验证了该机制的有效性和高效性。数据显示，本文提出的检测机制相对现有机制具有更高的有效性（发现异常源的数量较多）和时效性（所用时间平均缩短40%以上）。

#### 参考文献：

- [1] Mitton D, Johns M S, Barkley S, et al. Authentication, authorization and accounting: protocol evaluation[Z]. 2001.
- [2] 张多英,伍伟池,焦文华. 基于数据挖掘的CDMA2000移动网络防盗用技术[J]. 电讯技术, 2012,52(2): 234-240.
- [3] Koutsabasis P, Vlachogiannis E, Darzentas J S. Beyond specifications: towards a practical methodology for evaluating web accessibility[J]. Journal of Usability Studies, 2010,5(4): 157-171.
- [4] Vicente Luque Centeno, Carlos Delgado Kloos, Jesús Arias Fisteus, et al. Web Accessibility Evaluation Tools: A Survey and Some Improvements[J]. Electronic Notes in Theoretical Computer Science (ENTCS), 2006,157(2): 87-100.
- [5] Paddison C, Englefield P. Applying heuristics to accessibility inspections[J]. Interacting with Computers, 2009,16(3): 507-521.
- [6] Anand Rajaraman, Jeffrey David Ullman. Mining of Massive Datasets[M]. London: Cambridge University Press, 2011: 1-17.
- [7] Manning C D, Raghavan P, Schütze H. Introduction to

Information Retrieval[M]. London: Cambridge University Press, 2008: 100-103.

[8] Gao H, Yegneswaran V, Chen Y, et al. An Empirical Reexamination of Global DNS Behavior [J]. Computer Communication Review, 2013,43(4): 267-278.

[9] 卢柯. 入侵检测系统利用信息熵检测网络攻击的方法[J]. 西安交通大学学报, 2013,47(2): 14-19.

[10] Hao S, Feamster N, Pandrangi R. Monitoring the initial DNS behavior of malicious domains [A]. Proceedings of the 2011 ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference[C]. ACM, 2011: 269-278.

[11] 杨宏宇,常媛. 基于K均值多重主成分分析的App-DDoS检测方法[J]. 通信学报, 2014,35(5): 16-24. ★

### 作者简介



黄晓丹：工程师，硕士毕业于厦门大学计算机科学与技术专业，现任职于中国电信股份有限公司山东分公司，主要从事AAA系统、DNS等承载网业务相关维护工作。



罗伟：助理工程师，硕士毕业于国防科学技术大学计算机技术专业，现任职于武警海南省总队医院信息科，主要从事网络安全防护、维护管理工作。



李秀峰，工程师，硕士毕业于北京邮电大学通信工程专业，现任职于中国电信股份有限公司山东分公司，主要从事承载网相关网络规划和维护工作。

(上接第 82 页)

西北大学学报：自然科学版, 2011,41(5): 803-807.

[8] 刘红光,魏小敏. Bag of Words算法框架的研究[J]. 舰船电子工程, 2011,31(9): 125-128.

[9] 唐朝霞,章惠,徐东梅. 一种改进的粒子群算法和相关反馈的图像检索[J]. 计算机科学, 2011,38(10): 278-280.

[10] Cortes C, Vapnik N. Support vector networks[J]. Machine Learning, 1995,20(3): 273-297.

[11] 耿英. 基于图像识别的作物病害诊断研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009.

[12] 于承敏,刘永涛,金磊. 基于SVM的相关反馈图像检索研究[J]. 微计算信息, 2007,23(6): 207-209. ★

### 作者简介



薛培培：硕士研究生就读于宁波大学，主要研究方向为计算机视觉与图像处理。



邬延辉：副教授，宁波大学信息学院硕士研究生导师，主要研究方向为并行计算与图像处理。

# 动中通卫星车图像智能软件平台研究及实现

陈旭<sup>1</sup>, 程大鹏<sup>1</sup>, 蒋振华<sup>1</sup>, 常磊<sup>2</sup>

(1. 中国电子科技集团公司第三十四研究所, 广西 桂林 541004;  
2. 河南省公安厅信息通信处, 河南 郑州 450003)

**【摘要】** 介绍了动中通卫星车在快速行进中手工叠加字幕浪费人力、不能及时快速更新、无法满足实战要求等问题。基于智能字幕信息处理器, 融合现有的GPS/北斗系统、PGIS系统、卫星网管系统、集控系统, 研发了一套图像智能软件平台, 将自动生成车辆时空信息并与现场采集的实时图像进行准确叠加、显示。

**【关键词】** GPS/北斗 PGIS 卫星网管 动中通

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.018 中图分类号: TN919.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0088-04  
引用格式: 陈旭,程大鹏,蒋振华,等. 动中通卫星车图像智能软件平台研究及实现[J]. 移动通信, 2016,40(2): 88-91.

## Research and Implementation of Intelligent Software Platform of Image in Satellite Vehicle of Communication on the Move

CHEN Xu<sup>1</sup>, CHENG Da-peng<sup>1</sup>, JIANG Zhen-hua<sup>1</sup>, CHANG Lei<sup>2</sup>

(1. No.34 Research Institute of CETC, Guilin 541004, China;  
2. Department of Information and Communication, Department of Public Security of Henan Province, Zhengzhou 450003, China)

**[Abstract]** Some problems, such as manually superimposing captions, waste of human resources, sluggish update and failure in actual combat, were introduced when satellite vehicle of communication on the move moves fast. Based on the intelligent caption information processor, the existing global positioning system (GPS)/Beidou System, police geographic information system (PGIS), satellite network management system, centralized control system, a set of intelligent software platform of image, which can automatically generate time and space information of vehicles, superimpose the information with the real-time image on the spot and display it.

**[Key words]** GPS/Beidou PGIS satellite network management communication on the move

### 1 引言

近年来, 随着国内外形势的不断变化, 各类群体性事件不断增加, 恐怖袭击事件和重大自然灾害也时有发生。如何全面提高公安机关的应急处置能力, 使

危及社会安全的风险得到及时有效的化解成为一个重大的课题。提高应急处置能力, 实时图像信息是关键, 它是领导指挥决策的“千里眼”。因此, 公安机关为提升应急处置能力, 逐步配备了大量的“动中通”卫星车, 这些车辆能够在突发事件发生后快速机动至现场, 采集并实时向各级公安指挥中心上传现场图像, 为领导决策提供直观的依据。然而在实战应用

收稿日期: 2015-09-30

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

中，往往会出现领导在指挥中心看到现场图像时，并不清楚采集图像的地理位置，需要指挥中心人员电话联系车辆上的人员才能获知准确位置，造成调派警力的时间受到影响。为解决打电话的问题，有些车辆上配备了字幕机，车上技术人员可以将车辆所处的位置信息通过叠加字幕的方式，手工叠加到现场采集的图像上，再传到指挥中心供领导观看。然而如果车辆在快速行进中，手工叠加字幕信息的方式既浪费人力，又不能及时快速更新，无法满足实战的要求。

为此，非常有必要建设一套能够自动解析获取地理信息并自动生成字幕信息的图像智能软件平台。通过该平台的应用，实现将现场“动中通”卫星车的相关时空信息自动叠加到现场采集的图像上，并通过卫星传回指挥中心，使得领导不仅能看到现场图像，并且对画面中的地理位置等相关信息一目了然。

该平台属于公共安全专业领域，国外的研究现状很难在互联网上查到。结合公安机关应急处置业务需求，通过集成多系统的软硬件，实现一套完整的、智能化的、服务器版的字幕叠加系统，在国内尚属首次提出。该平台可广泛应用于各级公安机关，在处置重大社会安全事件和突发公共事件时，能够提供良好的技术支撑。

## 2 系统设计

### 2.1 系统的设计目标与任务

系统的设计目标是基于智能字幕信息处理器，结合现有的GPS/北斗系统、PGIS系统、卫星网管系统、集控系统，通过一套软件平台自动解析和获取定位、方位角等信息，并自动生成字幕信息。将现场的“动中通”卫星车的地理位置、行驶方向、行驶速度、图像采集时间等空间和时间信息自动叠加到现场采集的图像上，然后传回指挥中心，使领导在指挥中心能够更准确地获知事发现场的情况。这将大大提升社会安全应急处置能力，更大限度地降低了社会安全风险带来的社会损失。

系统的设计任务是充分利用信息技术手段，通过与GPS/北斗系统交互，获取定位数据，解析出“动中通”卫星车的经纬度、卫星时间、方位角、速度等相

关信息。将车辆经纬度信息传送给PGIS系统，解析出具体地理位置信息。通过合适的算法对车辆方位角、速度等相关信息进行处理，解析出车辆的行驶方向、车速等信息。通过卫星网管系统的任务查询模块解析出车组号信息，结合与集控系统的交互，实现了字幕信息与现场车辆所采集图像的实时、准确匹配。最后将解析出来的具体地理位置、行驶方向、车速等信息自动传送至智能字幕信息处理器，再由软件自动控制处理器将所有字幕信息叠加至现场采集的实时图像上，并传回指挥中心。这样既能减少人力，又能高效地实现自动叠加车辆时间和空间信息，从而大大提高了指挥处置效率。

### 2.2 系统的结构和功能

系统主要针对公安行业需求，将集控系统、卫星网管系统、GPS/北斗服务器、PGIS服务器系统通过IP网络连接到服务器，在服务器端进行各系统数据的解析与提取，得到相应车辆的字幕信息。通过智能字幕信息处理器将从服务器获取的字幕信息与从卫星接收站传来的实时视频进行叠加，叠加后的视频通过视频矩阵切换到指挥中心的监控大屏上，方便用户实时了解车辆情况，及时进行车辆的调度与应急事件的处理。

工作站管理软件可以实时监测各系统的运行状态，调整叠加字幕的参数，使用户可以方便地在工作站上进行字幕系统的配置及系统状态的查看。

系统组网和总体结构分别如图1、图2所示。

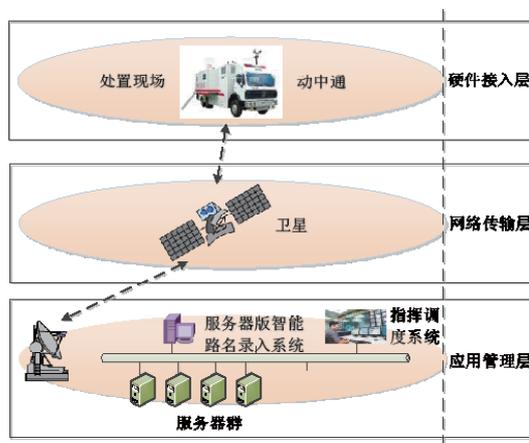


图1 系统组网图

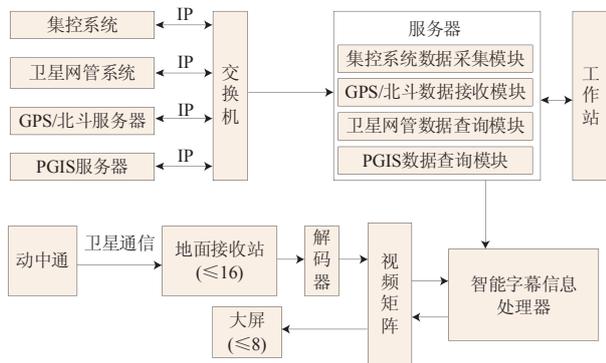


图2 系统总体结构图

### (1) 集控系统数据采集模块

集控系统数据采集模块的功能是获取视频矩阵输入输出端口的对应关系。模块采用COM+ 组件与集控系统进行交互，集控系统提供两种方式获取矩阵的输入输出端口状态：一种是当矩阵状态发生变化时，集控系统会向已注册地址主动推送输入输出端口状态消息；另一种是主动查询矩阵输出端口对应的输入端口。软件可采用其中一种方式或两种方式的组合来获取矩阵的输入输出端口状态。

### (2) GPS/北斗数据接收模块

GPS /北斗 数据接收模块的功能是接收GPS/北斗服务器发送的移动车定位数据包。通过在GPS/北斗服务器端配置数据接收模块地址（IP地址和端口），当移动车的位置发生变化后，GPS/北斗服务器将向接收模块发送定位数据包，接收模块收到定位数据后根据数据包格式解析可得到经度、纬度、速度、方位角等信息。

### (3) 卫星网管数据查询模块

卫星网管数据查询模块的功能是获取移动车的车组号和卫星地面主站号的对应关系。移动车在执行任务时，卫星网管数据库会将移动车的车组号、所在的卫星地面主站号、执行任务的名称、卫星通道申请时间等信息记录到一张数据表中。卫星网管数据查询模块可从该表中查询到正在执行任务的全部移动车的信息。

### (4) PGIS数据查询模块

PGIS数据查询模块的功能是获取移动车所在位置的路名信息。模块从GPS/北斗服务器获取到经纬度信息，将经纬度信息通过HTTP方式发送到PGIS。PGIS生成XML格式的地理位置数据并响应HTTP请求，模块通过解析该XML即可获得省、市、区、路名和兴趣点等信息。

## 2.3 软件平台开发流程

对于软件平台的开发，首先调用集控系统数据采集模块查找视频矩阵的输入端口号与输出端口号的对应关系；接着调用主站号与视频矩阵输入端口号、视频矩阵输出端口号与智能字幕信息处理器输入端口号的数据列表，从而获得主站号与智能字幕信息处理器输入端口号的对应关系；再调用卫星网管数据查询模块查找车组号对应的主站号，从而获得车组号与智能字幕信息处理器输入端口号的对应关系；最后调用GPS/北斗数据接收模块与PGIS数据查询模块查找定位数据，调用智能字幕信息处理器输入端口号与输出端口号的数据列表，从而将对应车组号的定位数据发送给智能字幕信息处理器进行处理。该软件平台的开发流程如图3所示。

## 3 结论

“动中通”卫星车图像智能软件平台的研究，将为解决车辆在快速行进中手工叠加字幕所带来的问题提供可行性保证，满足实战要求，使公安应急指挥调度更加智能化、高效化。由于不同省厅实际应用环境存在差异，需要对软件平台中的某些模块重新定制开发。

## 参考文献：

[1] 雷超阳,刘军华,徐正权. 基于COM+组件运行时线程模式探讨及应用[J]. 湖南文理学院学报: 自然科学版, 2004,16(4): 66-69.  
 [2] 林燕,雷超阳,徐正权. COM+组件线程模式及应用[J]. 计算机应用, 2004,24(6): 339-341.  
 [3] 张青松. GPS数据结构解析及其在广电系统中的应用[J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2012(24): 63-65.  
 [4] 鲍骏. 基于北斗定位的车辆监控系统研究[D]. 南京:

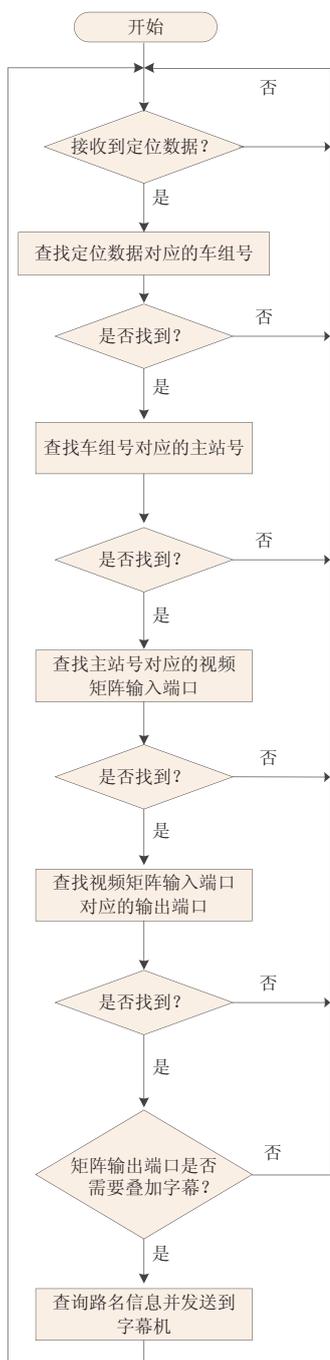


图3 软件平台开发流程图

南京理工大学, 2014.

[5] 李建民,陈学浩. 基于PGIS的公安交通管理综合应用平台的设计研究[J]. 中国科技信息, 2012(14): 117.

[6] 陆娟,蒋平,吴伟. PGIS支持下的警务信息地图位置采集方式探讨[J]. 地理信息世界, 2011,9(6): 26-29.  
 [7] Ourania Kounadi, Thomas J Lampoltshammer, Michael Leitner, et al. Accuracy and privacy aspects in free online reverse geocoding services[J]. Cartography & Geographic Information Science, 2013,40(2): 140-153.  
 [8] 鄢志辉. 基于GIS的本地搜索服务系统的研究[D]. 长沙: 中南大学, 2008.  
 [9] 潘明远,方金云,章立生. 基于用户反馈的POI搜索引擎优化研究[J]. 计算机工程与应用, 2010,46(32): 112-115.  
 [10] 张晨寅. 基于UDP的传输流字幕服务器的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2010. ★

### 作者简介



陈旭: 工程师, 硕士毕业于武汉大学, 现任职于中国电子科技集团公司第三十四研究所, 主要从事通信和信息工程工作。



程大鹏: 工程师, 硕士毕业于桂林电子科技大学, 现任职于中国电子科技集团公司第三十四研究所, 研究方向为光通信及信息系统集成。



蒋振华: 助理工程师, 学士毕业于桂林电子科技大学, 现任职于中国电子科技集团公司第三十四研究所, 研究方向为通信和信息工程。

# 铁塔公司基站蓄电池性能优化解决方案分析

汪永寿

(中国铁塔股份有限公司西宁市分公司, 青海 西宁 810007)

**【摘要】** 本文对基站蓄电池问题从性能排查、优化整治等方面进行系统论述, 针对西宁市区存量基站蓄电池隐患排查, 利用多年来积累的经验提出系统的蓄电池性能排查优化解决方案, 保证了蓄电池替换更新的数量和预算的准确性、严谨性, 为投资项目提供了准确的实施依据。

**【关键词】** 基站蓄电池 通信基站 放电仪 内阻仪

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.02.019 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2016)02-0092-05  
引用格式: 汪永寿. 铁塔公司基站蓄电池性能优化解决方案分析[J]. 移动通信, 2016,40(2): 92-96.

## Optimization Solution Analysis on Base Station Battery's Performance for China Tower

WANG Yong-shou

(China Tower Xining Co., Ltd., Xining 810007, China)

**[Abstract]** Some problems of base station battery, including trouble shooting and optimization management, were discussed. According to the trouble shooting of existing base station battery in Xining city, an optimization solution to trouble shooting of system battery was presented in the light of the accumulated experience. The proposed solution guarantees the number of battery update and the accuracy of budget. In the meantime, the project investment has an accurate implementation foundation.

**[Key words]** base station battery communication base station discharge apparatus inner resistance tester

## 1 引言

中国铁塔已经成立一年, 在进行三家电信运营商存量基站资产接收的同时, 还将面对基站蓄电池种类繁多、容量不一、在网时长差异较大等问题。如何有效地进行存量蓄电池隐患排查整治工作, 对目前铁塔公司资产交割工作的顺利进行起到了关键作用。蓄电池性能排查有助于了解蓄电池的性能和状态, 由此可以帮助了解蓄电池组的现状和以后的

变化趋势, 从而对蓄电池的修复做出判断。同时, 也能分辨出蓄电池完全失效的状态, 进一步对蓄电池进行失效分析。

## 2 蓄电池性能测试

蓄电池性能排查测试分为外观检测、低温启动检测、蓄电池容量检测、耐温变性能检测等。蓄电池好坏检测或优劣检测通常是根据蓄电池的电动势及其内阻的大小来判断的。电动势是指蓄电池外开路情况下正、负极间电位差。内电阻是指蓄电池在充放电时, 蓄电池内部所呈现的电阻。对于电池充电时, 电压升高很快, 而放电时, 端电压又下降很快的情况, 说明

收稿日期: 2015-10-20

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

蓄电池的内阻大、容量小，可判定为不良电池。蓄电池的电动势（两端悬空）为正常值，但用蓄电池容量测试表测试，结果很小或为零，则此蓄电池内极脱落，为报废电池。

### 2.1 测试工具

#### (1) 万用表

万用表是一种带有整流器的，可以测量交流/直流电流、电压、电阻等多种电学参量的磁电式仪表，其一般用来测量电压、电流和电阻。图1即为数字万用表。



图1 数字万用表

#### (2) 放电仪

蓄电池放电仪是对蓄电池组（2V、24V、48V、110V、220V、400V、600V）进行日常维护、容量检测以及检验直流电源带载能力而设计的。用于快速判定单只蓄电池的容量是否合格，表盘分2V、6V、12V这3个系列。放电仪整机由微处理器进行控制，体积小、重量轻，可灵活对电池性能进行分析。图2是一款典型蓄电池放电仪。



图2 蓄电池放电仪

#### (3) 内阻仪

内阻仪可以对无电源对象和有电源对象进行测量，其测量单位为毫欧级。蓄电池内阻值的大小可以反映蓄电池的性能状态，因此，内阻仪可以快速、可靠地对蓄电池的健康状态做出初步判定。图3是一款典型的内阻仪，表1为不同型号电池的内阻表。



图3 内阻仪

表1 电池内阻表

电池型号	内阻值/mΩ
12V25AH	<<14
12V38AH	<<13
12V50AH	<<12
12V65AH	<<10
12V80AH	<<9
12V100AH	<<8
12V200AH	<<6
2V200AH	<<1.0
2V300AH	<<0.8
2V400AH	<<0.6
2V500AH	<<0.6
2V600AH	<<0.4
2V800AH	<<0.4
2V1000AH	<<0.3
2V1500AH	<<0.3
2V2000AH	<<0.2
2V3000AH	<<0.2

#### (1) 外观观测法

观察外观有无变形、凸出、漏液、破裂炸开、烧焦、螺丝连接处有无氧化物渗出等。如果出现批量漏液、鼓胀、烧伤等严重外观问题，需整组更换电池；如果出现单体壳体损伤、漏液、端子腐蚀、鼓包、变形，则需更换单体电池。

#### (2) 浮充电压测试法

蓄电池处于浮充状态下，用万用表测试每只蓄电池浮充电压，检查是否有单只电压落后。各电池间的测试浮充电压最高与最低差值应不大于90mV（2V）、480mV（12V）；对于浮充电压2.15V~2.18V（2V系列）、12.9V~13.1V（12V系列）的蓄电池，可手动启动均充，均充后更换低于2.18V、13.1V的单体电池；对于浮充电压低于2.15V（2V系列）、12.9V（12V系列）的蓄电池，则应直接更换单体电池。此方法通过测试浮充电压，检查是否有单只电压落后，但对故障无法准确判定。

#### (3) 仪器测试法

此方法一般通过电压值情况来判定蓄电池良好状态、亏电状态、短路等情况。通过放电仪短时间（不超过3s）的较大的电流放电，挑出明显容量不足的电

### 2.2 测试方法

根据蓄电池组各项参数设置建议值（浮充电压、均充电压、限流点、一次下电电压设定点、二次下电电压设定点等），调整并记录参数，以便后续的分析使用。通用的检测方法有外观观测法、带载测量法、浮充电压测试法、仪器测试法以及经验法。

池。如果表针指向绿色区域则为正常；如果表针指向黄色区域则为低电量状态；如果表针指向红色区域则表示容量严重不足。此方法通过短时打表放电，用来检查单只蓄电池是否存在明显故障，但对容量落后则无法判定。

#### (4) 离线放电测试法

若蓄电池外观无异常，UPS工作于电池模式下，带一定量的负载，利用智能负载对蓄电池组放电，放电电流可参考表2，放出额定容量的30%~40%。

表2 放电电流参考表

使用年限	放电倍率	放电电流/A		放电时间/h
		300AH	500AH	
小于3年	0.25C	75	125	1~1.2
3~4年	0.17C	50	85	1.5~2
4年以上	0.1C	30	50	3~4

如果放电结束后单体低于最高电压0.1V（2V系列）、0.5V（12V系列），则可判定为容量落后电池。例如，2V蓄电池放电时最高电压2.06V，如果低于1.96V可判定为容量落后电池；12V蓄电池放电时最高电压12.6V，低于12.1V可判定为容量落后电池。此方法检测效果可靠，但是需要携带离线负载设备，存在一定的安全隐患，因此对单组蓄电池的基站不宜采用此方法。

#### (5) 在线放电方法

此方法需调节开关电源的浮充电压至46V，由蓄电池组直接对实际负载供电。查看负载功率，根据功率大小计算30%放电量的放电时间。每0.5h或1h记录一次蓄电池的单节电压。如果放电结束后单体低于最高电压0.1V（2V系列）、0.5V（12V系列），则可判定为容量落后电池。例如，2V蓄电池放电时最高电压2.06V，低于1.96V可判定为容量落后电池；12V蓄电池放电时最高电压12.6V，低于12.1V可判定为容量落后电池。此方法检测效果可靠，系统安全，单组蓄电池的站点也可以操作，无需放电设备，但是负载电流小，放电时间会比较长。

### 3 蓄电池优化整治

目前基站通信铅酸蓄电池改造方案根据不同情况采取不同整治措施。主要包括以下几个优化方法：

#### (1) 问题修复

用脉冲修复、加水修复、重新配组修复的方法对部分基站容量下降的电池进行处理，对硫酸铅沉淀物进行击活，通过加水液面与极板持平的方式对电池进行“补水”，此方法已取得了一定的效果。

#### (2) 组合改造

对于同一厂家、同一型号、同容量的蓄电池而言，其内部各化学成份的比例相同、加工工艺相同、结构相同，其内阻的一致性较好。同厂家同年份同型号的电池可以合并并组使用，不同厂家的电池不能混用，不同年份的电池也不能混用。但是这种方案工程量大，需要多次搬运和安装拆卸，其产生的费用和将旧电池处理然后采购新电池所花费的费用区别不是很大。例如，一组500AH新电池价格是13440元，一组旧500AH电池处理费用在3300元左右。旧电池组合拆卸运输再重组安装的费用在8000元左右，而旧电池的使用年限将远低于新电池的使用年限，导致旧电池重新组合的实际意义不大，当然以上情况仅供参考。

#### (3) 废旧换新

同型号旧电池和对应同型号的新电池更换比例的组数，或者用AH总数旧和新对比的比例。以2V系列为例， $3.5 \times 10^5$  AH的2V系列旧电池兑换2V系列新电池总数为 $1.0 \times 10^5$  AH；而新的 $1.0 \times 10^5$  AH数量可以根据需求情况分配到2V的300AH，2V的500AH等2V系列各种型号的电池。2V的500AH一组（24只）总AH数为 $24 \times 500$  AH= $1.2 \times 10^4$  AH，2V的300AH一组总AH数为 $24 \times 300$  AH= $7200$  AH。以AH数的更换比例来计算，可以灵活地兑换不同型号的新电池，更能适应需求。如果废旧电池集中在地市的某一地点，新电池直接发到地市仓库，此种情况更换比例应为3.5:1；如果废旧电池在基站，新电池也需要到基站进行安装处理，此种情况的旧电池和新电池更换比例应为5:1；如果废旧电池集中在仓库，新电池需要到基站安装处理，此种情况的更换比例应为4.5:1；如果废旧电池在基站，新电池发到地市仓库，此种情况的更换比例应为4.5:1。

#### (4) 改善环境

蓄电池作为通信电源的重要组成部分，改善蓄电池的使用环境是延长其供电时间和使用寿命的重要因素。应该对基站机房环境进行普查，改善机房温度和供电环境、加强工程管理、提高维护效率，从根本上提高蓄电池性能和使用寿命。

## 4 西宁铁塔公司蓄电池优化案例分析

2015年9月，西宁铁塔分公司对西宁市区存量基站蓄电池隐患进行排查时，通过蓄电池内阻测试仪或电导仪进行测试，同时又不能中断运营商在网设备的正常运行，制定的测试方案如下：

(1) 对于运营商的VIP、A类站点，由于存在现场放电测试风险，因此采用电导仪或内阻测试仪对每只进行测试，测试后根据电导值或内阻值分析判断其中存在的落后电池。

(2) 对于B、C类站点，在征得运营商同意的情况下采用蓄电池核对性放电，放出额定容量的5%左右，在放电的同时测试每组单只蓄电池的端电压，根据端电压来判断蓄电池的好坏。

### 4.1 实施方法

在组合开关电源的监控模块中，预先记录该开关电源的浮充电压设定值，以便放电与测试后恢复原设定值。然后调整蓄电池组的浮充电压设定值，即从53.5V~54V调整为47V（低电压告警值）。确定后，整流模块处于无输出状态，蓄电池开始放电。初期蓄电池组总电压下降较快，大约5分钟左右，蓄电池支撑电压大于47V时，蓄电池总电压不再下降，稍微反弹后处于稳定电压的放电期，此时即可以进行端电压测试。如果组合开关电源的监控模块有故障或其他原因，即浮充电压不能调整，调整确认后系统不执行，显示屏坏，甚至监控模块坏，可在征得运营商同意的情况下，采取交流停电的方式进行测试，但具有一定的风险。若蓄电池到了后期已无容量，短时间内还未等操作人员反应，已造成设备掉电事故。测试方法都是将数字万用表档位打到直流电压20V档，从第一组蓄电池的1#开始测量，边测量边记录数据。24只测完后，用同样的方法再测第二组。测试过程中需预先熟

悉各厂家不同型号、版本的开关电源监控模块操作知识和方法，获取进入系统的操作密码。测试完成后将开关电源的浮充电压设定值调整到原设定值。放电时需注意观察监控模块告警与各项数据。

根据测试结果进行分析，在一组当中找出端电压较低的几只蓄电池，即确定为落后电池。在测试过程中，由于电信的H杆大量采用了逆变器电源交流供电方式，且大部分逆变器是坏的，12只12V 100AH蓄电池均焊接到柜体中或没有配置，即现场不能操作，也无法测试，因此只能根据投入日期、外观变形、漏液腐蚀、有无接入系统的情况进行判断。对于H杆下地埋电池，由于无法测试，只能采取交流停电放电法。在征得运营商同意的情况下采用交流停电的方法，在交流停电后，根据蓄电池放电时总电压下降的快慢程度和支撑电压的高低，判断蓄电池容量的情况。总电压下降慢且支撑电压较高，说明整组蓄电池容量较好；总电压下降快且支撑电压较低，说明整组蓄电池容量较差；总电压下降快且在一分钟之内支撑电压低于47V，说明整组蓄电池容量太差。这可能是由于存在严重落后且反极的个别蓄电池导致，也可能是因为整组蓄电池容量已所剩无几。交流停电后即发生设备掉电，说明蓄电池容量几乎为零或地下无实际电池或电池连接线、电池开关短路，具体原因需根据现场情况来判定。

### 4.2 检测结果

西宁电信、西宁移动、西宁联通的存量站址接收数量为3270个，总体电池有3599组，经过上述排查方法，找到需要替换的蓄电池12V规格的348组（每组4只），单体24只；2V规格的蓄电池419组（每组24只），单体51只，共计预算759.348万元。

## 5 结论

蓄电池是基站通信电源供电的最后安全屏障。为确保存量资产接收后铁塔及配套设施的安全可靠运行，蓄电池隐患排查及替换更新工作尤为重要。本文对基站蓄电池问题从性能排查、优化整治等方面进行系统论述，针对西宁市区存量基站蓄电池隐患排查，利用多年来积累的经验提出系统的蓄电池性能排查优化解决方案，保证了蓄电池替换更新的数量和预算的准确性、严谨性，



为投资项目提供了准确的实施依据。

### 参考文献：

- [1] 闫志雄,伏斌. 通信专用阀控式密封铅酸蓄电池维护技术[J]. 电力系统通信, 2006(7): 16-19.
- [2] 陈文辉. 基站蓄电池监测系统及性能分析[J]. 邮电设计技术, 2012(10): 88-91.
- [3] 马强. 基站蓄电池差异化维护的必要性[J]. 通信电源技术, 2014(4): 122-125.
- [4] 王景泉. 移动通信基站阀控式密封铅酸蓄电池检测与维护[A]. 2008通信电源学术研讨会论文集[C]. 2008.
- [5] 孟秋宁. 移动通信电源中蓄电池组的运行与维护[J]. 网络与信息, 2008(12): 25.
- [6] 陈红雨,吴玲. 不平衡性对阀控式密封铅酸蓄电池的影响[J]. 电源技术, 2001(S1): 129-133.
- [7] 高悦敏. 阀控式铅酸蓄电池的优点和缺点[J]. 蓄电池, 1995(2): 38-40.
- [8] 白忠敏,於崇干,刘百震. 电力工程直流系统设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [9] DL/T724. 电力系统用蓄电池直流电源装置运行与维护规程[S]. 2000.
- [10] 铁通公司. 通信电源维护规程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004. ★

### 作者简介



汪永寿：中级工程师，学士毕业于西安交通大学，现任职于中国铁塔股份有限公司西宁市分公司，主要研究方向为移动通信工程项目管理、移动基站配套维护管理。