

5G 室内分布系统互调干扰解决方案

夏 天,杜发辉,来 平,董永锋

(中国铁塔股份有限公司青海省分公司,青海 西宁 810001)

摘要: 2021 年进入 5G 建设第三个年头,重点将是 5G 室内分布系统规模部署,无源室分系统低成本、低故障率的特点符合国家共建共享策略,但也带来系统间干扰,其中互调干扰成为亟需解决的问题。通过分析,对室分系统 4G/5G 系统间可能发生的互调干扰进行了研究,提出了 5G 室分系统互调干扰解决方案,并结合某 5G 室分系统工程案例,从工程设计及施工方面提出了建议。

关键词: 5G;多系统;室内分布;干扰

中图分类号: TN915.81

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211445

中文引用格式: 夏天,杜发辉,来平,等. 5G 室内分布系统互调干扰解决方案[J]. 电子技术应用, 2021, 47(10):6-9, 15.

英文引用格式: Xia Tian , Du Fahui , Lai Ping , et al. Solution of intermodulation interference in 5G indoor distribution system[J]. Application of Electronic Technique , 2021 , 47(10):6-9, 15.

Solution of intermodulation interference in 5G indoor distribution system

Xia Tian , Du Fahui , Lai Ping , Dong Yongfeng

(Chinatower Qinghai Co., Ltd., Xining 810001, China)

Abstract: In the third year of 5G construction in 2021, the focus will be on the scale deployment of 5G indoor distribution system. The characteristics of low cost and low failure rate of passive indoor subsystem conform to the national construction and sharing strategy. Intersystem modulation interference has become an urgent problem to be solved in the construction of multi-system integration. Based on the in-depth analysis of the principle of IMI, this paper studied the possible IMI of 5G cell subband, proposed the solution of IMI of 5G cell subsystem, and combined with the case of a cell submodulation interference of Tower Company, put forward suggestions on how to solve the problem of IMI.

Key words: 5G; multi-system; indoor distribution system; interference

0 引言

随着移动互联网业务的飞速发展,室内场景已经成为流量消费的重要场所。在 3G 时代,NTT DoCoMo 公司统计大约 70% 的业务发生在室内,4G 时代室内业务流量占比增长到 90%^[1],5G 时代仍将不断提高。5G 室内覆盖面临建设成本高、运营成本高等挑战,未来 3~5 年内室内场景仍以无源室分为主要建设方式,为此通信运营企业推进室分共享,切实降低 5G 室分覆盖投资,积极探索无源 5G 室分解决方案。前人已对 2G/3G/4G 传统室内分布 DAS(Distribute Antenna System)中频段间隔较小的 1.8 GHz、1.9~2.1 GHz 两个区间的互调干扰研究了很多,随着无线网络的演进,2G/3G 系统逐步退网,国家已经批复三个基础通信运营企业对 2G/3G/4G 网络进行频率重耕,今后室内分布系统主要网络制式将是 4G 和 5G,而针对 5G 频段互调干扰研究较少^[2]。5G 时代基础通信运营企业用于室分系统内的频段为 2 515~2 675 MHz 和 3 300~3 400 MHz 两个范围,因此 4G/5G 无源室分系

统并存情况下,如何解决互调干扰,实现理想覆盖,是本文研究重点。

1 互调干扰影响

互调干扰产物随信号源功率增大而明显增加,一般信号功率每增加 1 dB,互调产物将要增加 3 dB。当小区业务量较小时,此时因为发射功率较低,互调产物电平低,上行干扰不明显;当小区业务量较大时,互调产物随发生功率升高而明显抬升,小区出现严重上行干扰,即体现出上行干扰带变化随小区业务量变化而随之改变的特征。互调干扰作为一类上行干扰,对用户感知和无线接通率、上行语音质量、掉话率、切换成功率等重要 KPI 指标产生严重影响。图 1 中 F1 和 F2 为两个射频信号源。

从图 1 中可以看出,离载波频率越近,互调干扰幅度越大,对接收机性能指标越不利,需要重点考虑。由于接入 POI 的各系统互调指标差异,各系统发射功率随业务量各有变化,噪声被抬升程度各不相同,干扰信号强

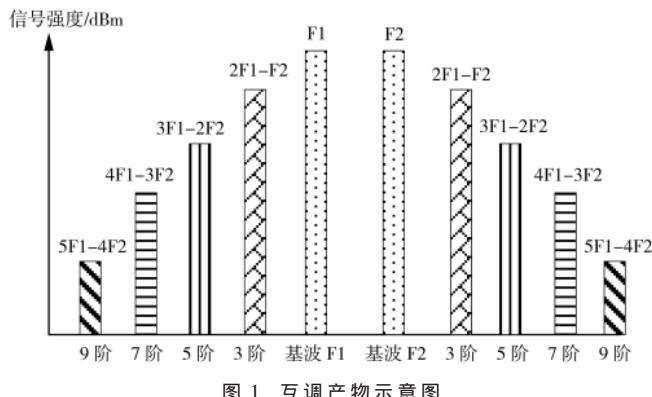


图 1 互调产物示意图

度呈波动性。从互调干扰产生的原因可以知道,天馈系统线性度不好的小区容易产生互调干扰,而其受到干扰的大小又是随业务量而变化的,业务量越大,载波发射功率就越大,互调干扰就越大。当小区天馈系统的非线性达到一定程度,小区忙时,业务量很高的情况下,极易出现小区干扰掉话、上行通话质量差、上行误码率高等现象。给客户的直观体验就是信号质量差,通话听不清楚,上网时延长、反应慢。

2 5G 室分频段互调分析

由于通信运营商系统间频率和制式的不同,使得系统间干扰影响分析成为多网络室内分布系统建设的先决条件^[3],其中三阶互调影响最大。现行传统分布系统建设主要是4G、5G的合路,因此下述讨论主要考虑4G、5G系统进行合路的场景。目前传统三大基础通信运营企业和新晋的中国广电在室分建设上用到的主要频段和承载网络制式统计如表1所示。

表 1 通信运营企业在室分中所选用制式及频段表

通信运营企业	频率范围/MHz	带宽/MHz	波段	网络制式
电信	1 920~1 935/2 110~2 125	2×15	B1	LTE FDD
联通	1 755~1 765/1 850~1 860	2×10	B3	WCDMA/LTE FDD
移动	2 370~2 390 2 515~2 675	20 160	B40 N41	TD-LTE NR/TD-LTE
电信、联通、广电	3 300~3 400	100	N78	三家共享 NR

基波信号F1(移动5G(2 515~2 675 MHz))和基波信号F2(4G FDD-LTE(1 850~1 860 MHz))在分布系统中进行合路,产生了三阶互调信号:((2F1±F2),(2F2±F1))^[4],这时三阶互调信号(3 170~3 500 MHz)会落入电信、联通5G(3 400~3 600 MHz)的频段,造成了对电信5G(3 400~3 500 MHz)的互调干扰,若不加以控制,将会影响设备性能、工程质量。频率交叠情况如图2所示。

3 解决方案

为降低4G/5G共用分布系统互调干扰风险,应在规划设计阶段,对方案选择、信源功率、POI合路、天线点位等方面进行设计;在施工阶段,对工程质量和系统间干扰、其他外界干扰等方面充分考虑,从而降低非线性

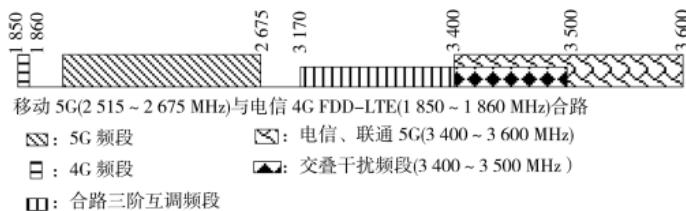


图 2 4G/5G 互调干扰原理图

因素,提升系统互调抑制度指标,减少互调干扰产生的概率及对室分系统的影响。

3.1 规划设计

为规避系统间干扰,在规划和设计阶段,需充分结合场景特点,了解拟覆盖无线系统制式、MIMO需求、系统覆盖指标要求及通信运营企业拟合路系统制式频段等,并根据不同建设场景,选择传统室分或新型广角漏缆等方式,采用空间隔离、频率调整、增加滤波器、降低天线传输功率和提高装置性能等有效手段规避干扰。

(1)方案选择:传统无源室分系统结构简单,器件生产工艺成熟度高,施工工艺技术、系统运行和维护难度低,若设计合理、器件质量过硬、施工质量得当,则故障问题相对较少^[5]。对狭长型、空间开阔区域(如停车场、公路铁路隧道、城市地下立交隧道等场景),适合采用新型广角漏缆进行覆盖,可大幅减少天线、接头和器件使用量,减少系统连接点,从而有效规避系统间互调干扰影响,同时,还能达到降低建设成本、降低维护成本、优化覆盖效果的目的。结合覆盖区域特点,综合考虑建设成本和维护方便,采用低功耗、多天线方案,合理设计支路数量和长度,合理分配不同路由,减少系统间干扰^[6]。

(2)信源功率:要求通信运营企业采用的信源有效无线功率不超过20 W(43 dBm),随着输入载波的功率超过20 W,导致互调产物增加,互调干扰增强;对于楼宇类室分场景,当采用高功率器件时,也应先把高功率信源采用功分器先分为不大于43 dBm的信号输入源,再输入至POI的合路点^[7]。图3是高功率信源接入方案图。

(3)POI合路器:POI端口连接器类型应与相关连接器件相匹配,避免因使用转接头导致增加插入损耗,并影响系统互调指数^[7]。POI信源输入端口每个系统输入功率不得超过43 dBm,POI源端口必须满足高功率和低互调负载(互调指数<-150 dbc@2×43 dbm,平均功率>200 W)这两项技术指标。

(4)天线辐射的方向不应有金属器件,天线与金属管、监测探头、显示器、照明灯具、防火喷头、烟雾探头之间的水平距离应大于1 m,条件受限情况下至少0.5 m;天线连接处需缠绕绝缘胶带,以避免与金属直接接触;馈线与电源线之间具有空间绝缘,条件有限情况下应避免缠绕。

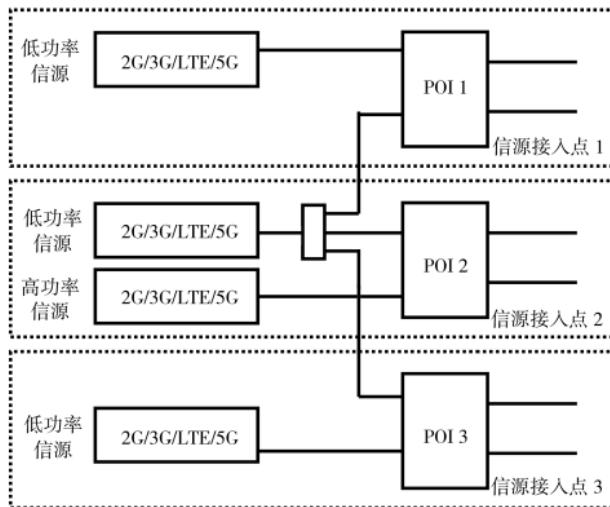


图 3 高功率信源接入方案图

3.2 器件性能

使用符合企业标准的高性能无源器件和增强型连接器可以有效避免无源器件性能恶化，提升抗干扰指标。与普通连接器相比，增强型连接器可提升单根馈线的三阶互调抑制度指标，从而提升整个无源分布系统互调指标，最大程度地降低多系统接入无源分布后的互调干扰^[8]。增强型连接器通过改变连接器结构，并使用专用的自动或手动工具，将其压接于馈线之上，使连接器与馈线的固定更加稳固耐用。前三级使用 500 W/-150 dBc@2×43 dBm、增强型连接器产品和无源器件，三级以后可使用 300 W/-140 dBc@2×43 dBm 产品^[9]。POI 器件隔离度是衡量合路器性能的重要指标，指标不合格会导致无法有效消除各类干扰。5G POI 合路器需支持各通信运营企业 2G/3G/4G/5G 系统全面接入，灵活支持通信运营企业间的共享建设、独立建设。表 2 是对室分系统所选用器件指标的一般要求。

3.3 施工要求

由于 5G 频段高，三阶互调、系统驻波、链路平衡、链路损耗、天线口功率等指标对信号指标影响较大，当接头工艺质量差，馈线接头与无源器件连接不紧，或无源

器件质量差，或馈线发生弯折等情况均会导致驻波比数值偏大，一旦安装就不可逆，因此要做好施工工程测试验收工作^[10]。驻波比和互调值是和互调干扰指标密切相关的工程质量验收指标，驻波比较好的室分系统互调指标不一定好，但驻波比不好的室分系统互调值一般都不会很好^[11]。通过互调测试和驻波比测试及时发现接头制作、器件连接、天线安装等问题，降低系统非线性度，铁塔公司要求载波功率 27 dBm 输出的前提下整体互调值不低于 -130 dBc，要求驻波比低于 1.5。需使用合适的力矩扳手对无源器件进行紧固，在符合相关电磁辐射要求下尽量提高天线射频功率，减小链路损耗，保证隐蔽工程质量，提高系统抗干扰性^[12]。图 4 是实际工程中测试互调干扰的仪表接入点示意图。

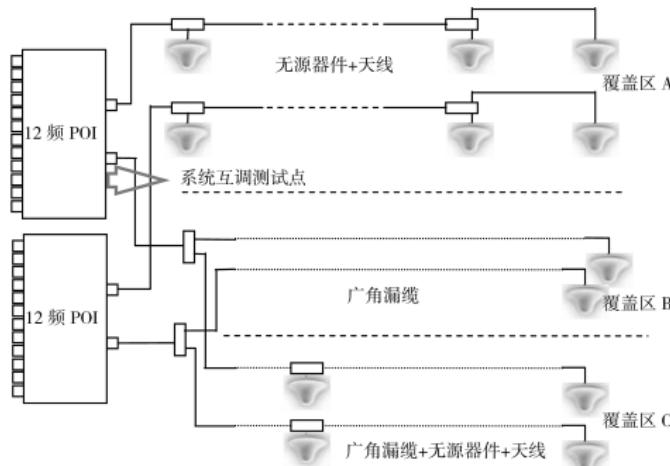


图 4 互调仪测试连接示意图

4 案例分析

某办公大楼共 13 层，东西长 34 m，南北宽 25 m，建筑面积共计 1.1 万 m²；移动 4G/5G 频段：2 515 MHz~2 675 MHz；联通、电信 4G 频段：2 100 MHz；联通、电信 5G 使用频段：3 300 MHz~3 400 MHz。部分楼层采用无源 DAS 双通道室分，部分楼层使用广角漏缆方式，单天线覆盖面积 140m²，天线间距 22 m，方案前三级采用 500 W

表 2 室分无源器件规格

产品	互调指标	功率容限	端口隔离度
POI	-150 dBc@2×43 dBm	信源端口：平均功率容量 200 W，峰值功率容量 1 000 W；NR 300 W，峰值功率容量 1 200 W；天馈端口：平均功率容量 500 W，峰值功率容量 2 500 W	根据频段、制式分为三挡：28 dB、50 dB、80 dB
无源器件	150 dBc@2×43 dBm -140 dBc@2×43 dBm	平均功率容量 500 W，峰值功率容量 1 500 W 平均功率容量 300 W，峰值功率容量 1 000 W	/
天线(吸顶天线、壁挂天线、对数周期天线)	-107 dBm@2×33 dBm	平均功率容量 50 W	/
射灯天线(室外覆盖室内等)	-107 dBm@2×43 dBm	平均功率容量 50 W	/
漏泄电缆/馈线	-150 dBc@2×43 dBm	/	

无源器件,三阶互调 <-150 dBc;其余采用300 W无源增强型连接器,器件 <-140 dBc。工作实施流程如图5所示。

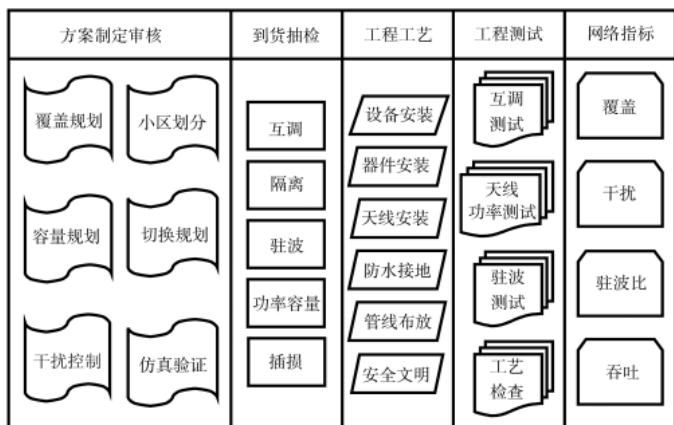


图5 工作实施流程图

通过提升单根馈线的三阶互调抑制度指标,从而提升整个无源分布系统互调指标,最大程度地降低多系统接入无源分布系统后的互调干扰。施工过程中通过测试及时发现馈线布放、接头制作工艺中的问题,降低系统非线性度,避免隐蔽工程后期整改困难^[13]。

工程网络质量测试统计结果如下(随机选取部分楼层测试结果展示):

(1)不同输入功率条件下上行噪声指标如表3所示。

(2)驻波测试:本次测试整体驻波比均小于1.5,满足施工规范要求,如表4所示。

表4 驻波比测试记录表

频率/MHz	A路	B路
1 805~1 880	1.19	1.20
2 515~2 675	1.23	1.25
3 300~3 400	1.34	1.35

(3)多路平衡性测试:本次测试A路和B路路损最大差异为1.35 dB,两路插损基本一致,如表5所示。

(4)PIM测试:本次测试的4路天馈系统互调值在-132 dBc~-128 dBc(@2×43 dBm 1 800 MHz)均满足要求。测试点如图6所示,测试结果如表6所示。

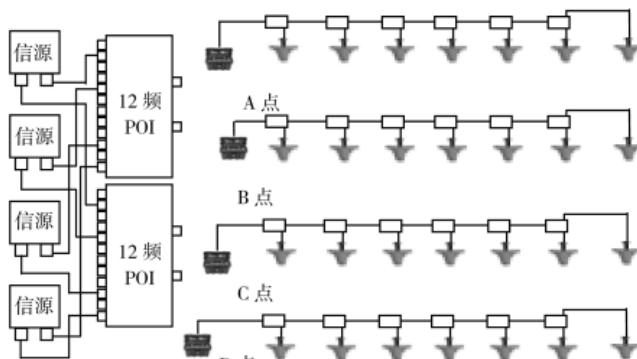


图6 互调测试合路点选取位置示意

互调测试验证:把待测天线系统用软跳线连接到互调仪上,在27 dBm输出功率的前提下,互调值低于

表3 多系统间干扰测试表

运营商	电信	电信	电信	移动	移动	联通
系统	4G	4G	5G	5G	4G	4G
频段/MHz	1 860~1 880	2 110~2 130	3 300~3 400	2 515~2 615	2 320~2 340	2 145~2 165
带宽/MHz	20	20	100	100	20	20
空载后RRU输出总功率/W	303	303	186	329	334	362
空载后上行噪声电平/dbm	-120	-119	-114	-115	-119	-120
100%加载后输出总功率/W	427	427	441	446	427	443
100%加载后上行噪声电平/dbm	-116	-117	-114	-116	-119	-116
70%加载后输出总功率/W	413	412	425	432	413	428
70%加载后上行噪声电平/dbm	-117	-116	-114	-116	-119	-114

表5 双路系统平衡性测试记录表

频段/GHz	路	信号源发射功率/dBm	末端天线口功率/dBm	测试路损/dB	设计路损/dB	测试与设计差异/dB	多路平衡性/dB
1.8	A	-10.59	-28.26	18.67	18	0.67	-1.13
	B	-10.59	-29.39	18.3	18	0.3	
2.1	A	-11.31	-30.05	20.74	21	-0.26	-1.15
	B	-11.31	-31.2	20.39	21	-0.61	
2.6	A	-11.81	-31.35	21.75	22	-0.25	-0.8
	B	-11.81	-32.15	21.39	22	-0.61	
3.4	A	-9.24	-31.95	22.72	23	-0.28	-0.1
	B	-9.24	-32.05	22.55	23	-0.45	

(下转第15页)

前期实验室测试结果,为保证移动业务的正常运行,前传链路反射光强度指标应小于-25 dBm,建议小于-30 dBm。

在移动业务开通正常运行后,应实时监控移动业务运行状况。一旦出现业务误码率提高或业务中断,则需要排查前传链路反射光功率是否异常。

4 结论

面向5G多频组网和电信联通共建共享的应用需求,现有5G前传采用传统CWDM无源彩光技术仅能实现单纤3通道承载。而MWDM、LWDM和DWDM等多通道解决方案又存在缺乏光芯片、产业链不成熟、国产化能力不足、价格高昂等问题。为此,在光纤资源紧缺场景下,CWDM/环行器技术不失为一种更为有效且成本较低的多通道承载方案。该方案不仅能够最大程度降低前传网络的建设成本,充分保障前期移动前传网络的投资,而通过制定合理的波长配对方案以及有效控制前传链路的光反射,还可以兼容传统CWDM无源彩光技术的

(上接第9页)

表6 合路点互调测试记录表

测试点	测试频段/MHz	互调值/dBc
A	1 800	-128
B	1 800	-132
C	1 800	-130
D	1 800	-129

-130 dBc,整个系统满足多系统合路要求。下行100%加载,所有4G系统上行RB噪声低于-110 dBm,所有5G系统上行RB噪声低于-108 dBm,POI上行噪声测试指标满足现网标准要求^[14]。

5 结论

本文通过对互调干扰原理和4G/5G共址合路互调干扰分析,阐述了5G室分存在互调干扰的风险,并为降低互调干扰带来的不利影响,减少互调干扰概率及对通信系统的影响,从室分工程建设的规划、设计、器件质量、施工保证等方面系统性地提出了一套抑制互调干扰的有效方法。并以某5G室分项目为案例,证明了解决方案的可行性,为目前逐渐增加5G室分建设工程项目提供工程建设经验^[15]。

参考文献

- [1] 杨磊,王瞳.5G室内覆盖解决方案综合分析[J].中国新通信,2019,21(8):38-39.
- [2] 徐诚,张建明.浅析室内分布系统设计方案[J].江西通信科技,2015(3):18-21.
- [3] 赵龙,余丹娟.多网络室内分布系统的设计[C]//2011全国无线及移动通信学术大会论文集,2011:348-351.
- [4] 朱政军,李梁军.室分场景多运营商多系统合路互调干扰解决方案探讨[J].广西通信技术,2016(3):22-28.
- [5] 冯延钊,李广伦,张沛,等.传统室分5G演进支持情况测

前传网络的建设和运维流程,满足从3通道到6通道前传承载快速的平滑升级。

参考文献

- [1] 中国电信集团有限公司.中国电信5G技术白皮书[Z].2018.
- [2] MOSTERT W,EMMS D,黄笛.光纤传输O波段的波分复用技术——Aurora Networks O波段技术白皮书[J].有线电视技术,2009,16(7):47-49,63.
- [3] Zhang Dezhi,Du Zhe,Jiang Ming,et al.High speed WDM-PON technology and application for 5G fronthaul network[C]//2018 ASIA Communications and Photonics Conference(ACP),2018.
- [4] 杜喆,韦炜,张德智.室内场景下的5G前传承载方案研究[J].电子技术应用,2020,46(7):24-28.
- [5] 吴敏,郝祥勇,王斌,等.环形器技术在5G前传波分复用

(下转第21页)

试方法与分析[J].山东通信技术,2020,40(1):1-3.

- [6] 郭占涛.移动通信系统中三阶互调干扰的研究和分析[J].移动通信,2011,35(24):51-55.
- [7] 郭希蕊,张涛.2.3G+TD-LTE和联通WCDMA系统合路互调干扰问题研究[J].移动通信,2015,39(12):15-20.
- [8] 邓妍,常时怡.浅析三阶互调干扰及其计算[J].有线电视技术,2013,20(11):63-65.
- [9] 凌云.TDSCDMA室内覆盖手段及传输放大设备的研究[D].上海:复旦大学,2009.
- [10] 陈界,钱良.多网合一室内分布系统设计初探[J].电信快报,2008(5):20-23.
- [11] 王文栋.基于LTE的室内分布系统改造方案[J].信息通信,2013(9):235-236.
- [12] 薛楠,文博,吴琼.LTE室内分布系统建设方案研究[J].邮电设计技术,2013(1):5-9.
- [13] 李新.TD-LTE室内分布系统的规划与建设[J].电信快报,2012(10):7-9,47.
- [14] 陈燕雷,孟俊仙,刘玮,等.5G室内新型覆盖方案对比与分析[J].电信科学,2021,37(4):151-158.
- [15] 赵培.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,2014.

(收稿日期:2021-03-02)

作者简介:

夏天(1971-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:移动通信网络基础设施建设及维护管理。

杜发辉(1979-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:移动通信网络优化及基础设施工程项目管理。

来平(1974-),男,硕士,工程师,主要研究方向:移动通信网络基础设施建设及商务收入定价管理。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所