



TD-LTE 与 LTE FDD 系统间干扰分析及射频技术指标

方箭, 黄标, 佘沛川, 许颖

(国家无线电监测中心, 北京 100037)

摘要: 对邻频部署 1.9 GHz 频段 TD-LTE 与 1.8 GHz/2.1 GHz 频段 LTE FDD 系统间干扰情况进行研究, 分析了干扰产生的机理和干扰场景, 并将重点聚焦于基站与基站之间的干扰。结合确定性分析和仿真研究两种方法的干扰计算结果, 给出了 TD-LTE 与 LTE FDD 系统间共存时基站设备和终端的射频技术指标与组网要求, 并通过实验室测试和外场试验, 对上述指标和组网要求进行验证, 同时对现网新的干扰情况展开进一步分析, 为 4G 系统国内使用和台站协同提供依据。

关键词: LTE; 系统间干扰; 射频指标; MCL; 隔离度

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016318

Interference analysis and radio frequency requirement of TD-LTE and LTE FDD systems

FANG Jian, HUANG Biao, KANG Peichuan, XU Ying

State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China

Abstract: The system interference of 1.9 GHz TD-LTE and 1.8 GHz/2.1 GHz LTE FDD was studied. Firstly, the interference mechanisms and scenarios were analyzed, which focused on the interference of BS-BS. Moreover, the radio frequency requirements of TD-LTE and LTE FDD coexistence were given as the result of deterministic analysis and simulation calculations. The RF requirements were finally verified through lab tests as well as extensive field tests. The conclusion provides meaningful reference of 4G system utilization and BS coordination in China.

Key words: LTE, system interference, radio frequency requirement, minimum coupling loss, isolation degree

1 引言

2012 年, 我国发布 4G 频率规划(工信部无[2012]436 号): “将 1 755~1 785 MHz/1 850~1 880 MHz 频段规划给 FDD 系统, 将 1 880~1 920 MHz 频段规划给 TDD 系统。具

体技术指标、频率分配以及台站管理规定需要另行制定和发布”; 2013 年 12 月, TD-LTE 牌照发放; 2015 年 2 月发放了 LTE FDD 牌照, 将 1 765~1 780 MHz/1 860~1 875 MHz 和 1 750~1 765 MHz/1 845~1 860 MHz 分别分配给中国电信和中国联通用于部署 LTE FDD 系统^[1,2]; 另外, 在工信部无

收稿日期: 2016-11-10; 修回日期: 2016-12-14

通信作者: 佘沛川, kangpeichuan@srrc.org.cn

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目 (No.2014ZX03001027)

Foundation Item: The National Science and Technology Major Special Project of China (No.2014ZX03001027)



函〔2014〕574号文中,允许中国电信对1 920~1 935 MHz/2 110~2 125 MHz频段进行重耕,并在南京等7个城市进行LTE FDD混合组网试验。至此,1.8 GHz频段、1.9 GHz频段和2.1 GHz频段作为我国4G商用部署的频段,既部署有TD-LTE系统,也部署有LTE FDD系统。为了促进系统的快速发展,保证系统安全有效运行,必须在各系统商用前解决它们之间的干扰问题^[3]。

2 干扰机理及分析方法

2.1 干扰机理

LTE系统邻频或者近频部署时,其发射机滤波器和接收机滤波器的非理想性造成了LTE系统间的主要干扰。首先,发射机滤波器非理想性导致其在带外和杂散域产生无用发射,带外无用发射用邻信道泄漏功率比(adjacent channel leakage ratio, ACLR)或频谱带外模板(MASK)来衡量,杂散发射用杂散辐射限值衡量。其次,接收机滤波器非理想性导致邻频其他系统的信号被接收,从而造成干扰,通常用邻道选择性(adjacent channel selectivity, ACS)或来阻塞电平衡量。

接收机和发射机滤波器的非理想性构成主要干扰因素,通常用邻信道干扰功率比(adjacent channel interference power ratio, ACIR)来综合表征,计算式如下:

$$\frac{1}{ACIR} = \frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS} \quad (1)$$

2.2 干扰场景

1.8 GHz、1.9 GHz和2.1 GHz频段的规划和分配现状如图1所示。详情见表1。

在1 880 MHz、1 920 MHz频点处均存在潜在干扰风险。根据以往研究结果,基站和终端之间由于MCL(minimum coupling loss,最小耦合损耗值)较大,它们之间的干扰要远小于基站与基站之间以及终端与终端之间的干扰。本文主要聚焦于基站与基站之间的干扰分析,如图2所示。

表1 1.8 GHz、1.9 GHz和2.1 GHz频段的规划和分配情况

频段/MHz	LTE制式	分配情况
1 755~1 785/1 850~1 880	LTE FDD	1 765~1 780/1 860~1 875 MHz 中国电信 1 750~1 765/1 845~1 860 MHz 中国联通
1 880~1 920	TD-LTE	中国移动
1 920~1 980/2 110~2 170	LTE FDD	1 920~1 935/2 110~2 125 MHz 中国电信 1 940~1 955/2 130~2 145 MHz 中国联通 WCDMA

2.3 分析方法

在系统共存研究方法中,主要有确定性分析、仿真分析以及测试和试验3种方法。

(1) 确定性分析

确定性分析方法基于链路预算原则,通过理论计算来衡量两系统能否共存。通常采用一定的底噪抬升(或称灵敏度损失)作为评估准则确定最大允许的外系统干扰强度。确定性分析方法得出的结果往往比较严格,可以为蒙特卡洛仿真提供理论指导和校验依据。本文利用确定性计算分析LTE系统基站之间干扰时,假设接收机和发射机滤波器理想,并对其分别进行研究。具体而言,在分析带外或杂散干扰时,假设被干扰LTE系统接收机为理想滤波器。在分析阻塞干扰时,假设干扰LTE系统发射机为理想滤波器。最后综合考虑两者的影响,这与设备的测试规范是相适应的。

(2) 仿真分析

移动通信系统是一个非常复杂的系统,为了对这个复杂系统的性能进行较为精确的描述,就需要通过系统级仿真来模拟这个系统内部工作机制和所承载的业务。在系统级仿真中,主要采用蒙特卡洛仿真方法^[4],即3GPP TR36.942中描述的快照式仿真^[5]。蒙特卡洛仿真方法是目前干扰共存

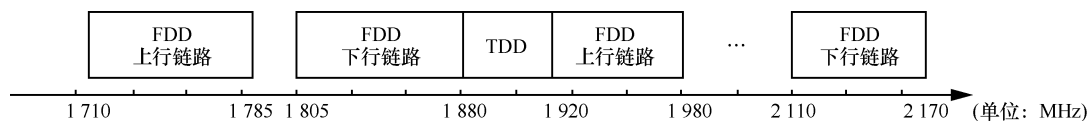


图1 1.8 GHz、1.9 GHz和2.1 GHz频段的规划情况

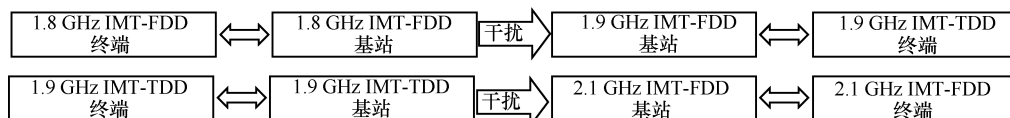


图2 基站间干扰

研究中应用广泛并且行之有效的经典研究方法,通过对实际网络的抽象模型进行有限次的抓拍(snapshot)来模拟实际网络的运营情况。一般来说,仿真分析主要应用在基站与移动台之间以及移动台与移动台之间的干扰计算,基站之间干扰仿真为确定性计算结论提供一定佐证,同时可以为站址协调等工作服务。

(3)测试和试验

测试包括实验室测试和外场测试。通常可在网络建设前,在实验室利用仪器仪表对实际设备进行干扰测量。由于硬件条件限制,一般只能测试单/多个终端对单个基站的干扰、单个基站对单个终端或单个基站的干扰等^[6]。另外,也可在现网中或搭建试验环境对系统间干扰进行测试和验证。总体而言,实验室测试一般聚焦定量结论,外场测试环

境则与实际网络部署更加接近,可以有效验证相关结论。

3 干扰分析及射频指标建议

3.1 典型参数

在干扰分析研究中,主要参数参考 3GPP 相关规范中的宏小区参数。由于 TDD 与 FDD 系统参数有相似性,故选取 1 880~1 920 MHz 为主要工作频段,干扰分析参数^[7,8]见表 2。

3.2 基站间干扰

采用第 2.3 节中所描述的方法,分析基站发射机和接收机在不同情况下实现系统兼容所需的额外隔离和射频指标。表 3 和表 4 给出了确定性分析方法的相关计算过程,表 5 和图 3 给出了蒙特卡洛仿真结果。

表 2 干扰分析典型参数

参数	上行链路	下行链路
频段/MHz	1 880~1 920	
载波带宽/MHz	20	
RB 大小/kHz	180	
小区结构	宏蜂窝结构,三扇区天线,基站间距 500 m	
每扇区用户数	每扇区 5 个用户	依可用 RB 数目而定,每用户占用 1 个 RB
基站天线类型	65°定向天线	
天线高度/m	30	1.5
接收天线增益(包括损耗)/dBi	15	0
发射天线增益(包括损耗)/dBi	0	15
发射功率/dBm	最大发射功率:24 最小发射功率:-30	46@20 MHz
底部噪声/(dBm·Hz ⁻¹)	-174	
噪声系数/dB	5	9
传播模型	基站与基站之间,采用双折线模型 基站与终端之间采用 UMTS 30.03 中的车载环境模型 终端与终端之间采用 Xia 模型	

表 3 无用发射分析(确定性分析方法)

参数	取值				计算方法
干扰基站最大发射功率 $P_{\max}$ /dBm	46				$P_{\max}$
基站之间基本的 $ACIR$ /dB	40.4				$ACIR$
基站之间的 MCL	30	44	50	56	MCL
	(共站)	(50 m)	(100 m)	(200 m)	
被干扰基站输入电平/dBm	-24.4	-38.4	-44.4	-50.4	$P_{\max}-ACIR-MCL$
基站接收机噪声功率 N /(dBm·MHz ⁻¹)	-109				N
I/N /dB	-6				I/N
允许的最大干扰电平 I /(dBm·MHz ⁻¹)	-115				$N+I/N$
所需额外隔离度/dB	77.6	63.6	57.6	51.6	$P_{\max}-ACIR-MCL-13-(N+I/N)$
要求的带外发射电平/(dBm·MHz ⁻¹)	-85	-71	-65	-59	$-(N+I/N)-MCL$



表 4 阻塞干扰分析(确定性分析方法)

带内发射功率 $I/(\text{dBm} \cdot (5 \text{ MHz})^{-1})$	MCL/dB	所需的阻塞电平/dBm	阻塞类型	3GPP 规定的阻塞电平/dB	额外滤波器/dB
43	44	-1	邻道阻塞	-52	51
			带外阻塞	-43	42
	50	-7	邻道阻塞	-52	45
			带外阻塞	-43	36
	56	-13	邻道阻塞	-52	39
			带外阻塞	-43	30

表 5 LTE-FDD 基站干扰 TD-LTE 基站的仿真结果

仿真结果	系统共站 (MCL=30 dB)	系统间距 144 m	系统间距 288 m
所需 ACIR/dB	86.9	81.6	80.2
额外隔离/dB	46.5	41.2	39.8

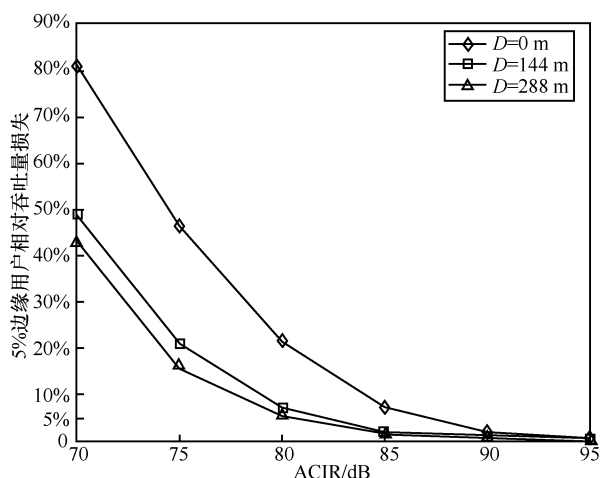


图 3 基站干扰基站的仿真

从图 3 和表 5 可以看出,共站(MCL=30 dB)时,所需的 ACIR 值为 87 dB,如果考虑 ACLR 与 ACS 平均作用,则需要 ACLR 至少为 90 dB,其要求的绝对功率谱密度为 $46 \text{ dBm}/(20 \text{ MHz})-90 \text{ dB}=-57 \text{ dBm}/\text{MHz}$ 。

以上分析了基站与基站之间的干扰问题。在实际制定射频技术指标时,应综合考虑基站无用发射指标、接收机阻塞指标、基站间距 3 方面的问题。无用发射指标、接收机阻塞指标的规范关系到厂商的设计成本和保护带的设

置,基站间距则与运营商实际网络部署相关。基于上述考虑给出的建议如下。

- 设台建议:FDD 系统和 TDD 系统基站间最小耦合损耗不小于 50 dB。
- 发射机指标建议:根据确定性分析结果和仿真结果,综合考虑厂商实现能力,建议基站发射机在 5 MHz 保护带情况下每通道的带外发射限值为 $-65 \text{ dBm}/\text{MHz}$ 。对于 TD-LTE 系统,基站一般 8 通道发射,相当于 -56 dBm 的无用发射,与 MCL=30 dB 时的仿真结果大致相当。这个取值介于 MCL=50 dB 时的确定性结果和 MCL=30 dB 时的仿真结果之间。
- 接收机指标建议:基于 MCL=50 dB,发射功率为 $43 \text{ dBm}/(5 \text{ MHz})$ 时,并考虑到厂商能力和余量,建议接收机阻塞电平为 -5 dBm 。

4 试验验证

4.1 实验室干扰性能测试验证

为验证在 1 880 MHz 处 FDD 对 TDD 基站的共存条件,通过设置射频滤波器和载波的不同位置,在实验室进行了 FDD 对 TDD 的阻塞干扰测试和杂散干扰测试,以明确 1.9 GHz 频段 TDD 和 FDD 系统邻频共存的可行性。测试框架如图 4 所示。

通过不同滤波器和载波位置的测试,对以下 5 种干扰场景得出结论见表 6。

实验室测试表明,在 5 MHz 保护带宽情况下,所建议的射频指标能够实现 TDD 与 FDD 系统间干扰共存,同

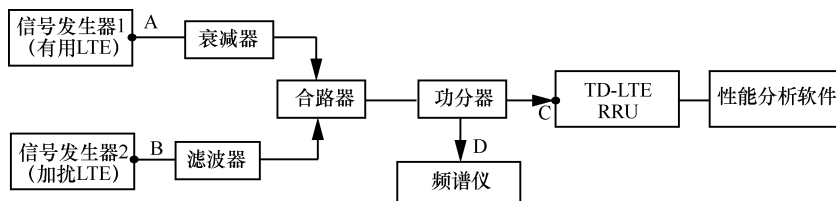


图 4 干扰测试框架

表 6 实验室干扰测试结果

干扰场景	滤波器位置/MHz	载波配置/MHz	TDD 基站受干扰情况
1	FDD:1 850~1 875	FDD:1 855~1 875	无干扰
	TDD:1 880~1 915	TDD:1 880~1 900	
2	FDD:1 850~1 880	FDD:1 860~1 880	无干扰
	TDD:1 885~1 915	TDD:1 885~1 905	
3	FDD:1 850~1 880	FDD:1 855~1 875	受杂散干扰
	TDD:1 880~1 915	TDD:1 880~1 900	
4		FDD:1 860~1 880	受阻塞干扰
		TDD:1 885~1 905	
5		FDD:1 855~1 875	无干扰
		TDD:1 885~1 905	

时,不同带宽和滤波器配置条件下的结论也为运营商现网解决干扰问题提供依据。

4.2 外场干扰测试验证

为了进一步验证第 3.2 节中给出的射频技术指标的可行性,联合三大运营商在武汉、天津和南京等城市配置了满足所述设备射频指标的 1.9 GHz 频段 IMT TDD 设备和 FDD 设备进行外场干扰测试。

(1)测试区域

测试区域如图 5 所示,区域内共有 94 个 TD-LTE 扇区,129 个 LTE FDD 扇区,是典型的城区布网场景。

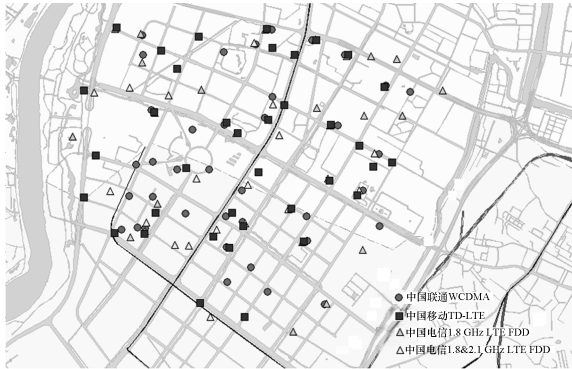


图 5 测试区域基站分布

(2)测试方法

对测试区域内 LTE FDD 系统的全部扇区分时段进行空载、50%加载、70%加载配置,TD-LTE 基站通过后台统计分别记录底噪的抬升情况,TDD 系统底噪在-110 dBm/资源块 (RB) 以下时判定没有干扰,并选择可能被干扰的 TDD 扇区进行了 FDD 设备关断时底噪抬升统计。

(3)测试结论

按上述方法进行加载和干扰统计,结果如图 6 所示。

在选定区域内,FDD 系统加载时,TDD 基站被干扰比例大约 1%。对被干扰基站上站勘测,发现是 FDD 与 TDD 基站间的 MCL 无法满足 50 dB 导致。经调整基站天线隔离度使 MCL 大于 50 dB 后,干扰得到消除。

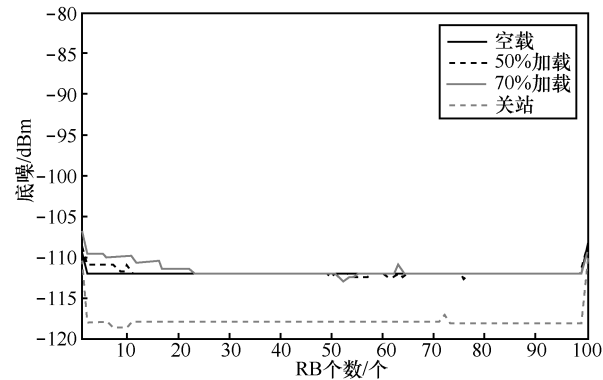


图 6 典型受干扰站底噪统计

通过现网测试表明,建议的基站无用发射指标、接收机阻塞指标、基站间距 3 方面合理可行。

5 结束语

基于 1.9 GHz 频段 TD-LTE 和 LTE FDD 系统邻频部署的干扰问题,综合采用理论计算、仿真分析、实验室半实物测试等方法,得到 TDD 和 FDD 系统邻频混合组网时的干扰情况,根据研究结果提出了 TDD 和 FDD 系统基站设备技术指标和组网要求,并通过基于运营商现网的外场测试对技术指标和组网要求进行了验证。本文结论有效支撑了我国 4G 混合组网中 LTE FDD 商用网络频率分配文件和多个规范性文件,为我国 4G 网络运营企业优化基站建设、规避干扰风险提供了指导性方案和措施,保证了运营企业投资的长期性和稳定性,确保了我国 4G 技术及设备产业的推广和应用。

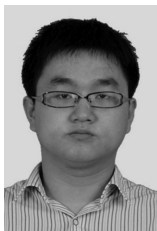
参考文献:

[1] GSA.Evolution to LTE report,4G market & technology update[EB/OL]. [2016-08-15]. <http://gsacom.com/paper/global-lte-network-deployments-480-commercially-launched-in-157-countries/5>.
[2] 工业和信息化部.2015 年 12 月通信业主要情况[EB/OL]. [2016-08-15]. <http://www.miit.gov.cn/n1146312/n1146904/n1648372/c4610245/content.html>.
[3] ITU. Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000: Recommendation ITU-R M.1645 [R]. [S.l.:s.n.], 2003.



- [4] ITU. Spectrum requirements for the future development of IMT? 2000 and IMT-Advanced: Report ITU-R M.2078 [R]. [S.l.:s.n.], 2006.
- [5] 3GPP. Radio frequency (RF) system scenarios: TR36.942 V9.2.0[R]. [S.l.:s.n.], 2009.
- [6] ETSI. Universal mobile telecommunication system (UMTS): selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS: TR 101 112 (V3.2.0)[R]. [S.l.:s.n.], 1998.
- [7] ITU. Characteristics of terrestrial IMT-2000 systems for frequency sharing/interference analyses: Report ITU-R M. 2039-1[R]. [S.l.:s.n.], 2009.
- [8] 3GPP. Base station radio transmission and reception: TS 36.104 V9.2.0[R]. [S.l.:s.n.], 2009.

[作者简介]



方箭(1986-),男,国家无线电监测中心高级工程师,中国通信标准化协会 TC5 频率组副组长,负责和参与国家科技重大专项、“863”计划等多个科研项目。主要从事无线电频谱规划、系统间电磁兼容分析、认知无线电等方面的研究工作。



黄标(1967-),男,国家无线电监测中心副总工程师、高级工程师,中国 IMT-2020 推进组专家兼频率组组长,全国无线电干扰标准化委员会专家,长期从事无线电频率规划和系统间干扰共存等方面的研究工作。



佺沛川(1988-),男,国家无线电监测中心工程师,主要从事无线电频谱规划、系统间电磁兼容分析等方面的研究工作。



许颖(1987-),女,国家无线电监测中心工程师,主要从事频谱共享技术、频谱价值评估等方面的研究工作。