

多制式共存中 TD-SCDMA 的杂散干扰研究

高 翟¹ 朱光喜¹ 陈永辉² 吴伟民¹

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)¹ (湖北工业大学计算机学院 武汉 430068)²

摘 要 作为中国提出的国际第三代移动通信标准,TD-SCDMA 制式已得到越来越广泛的应用。但现今全球多种通信制式共存,这使得制式间的干扰问题越来越突出,并推动着相关领域的研究。在频段密集分配的现实条件下,杂散干扰很大程度上影响着通信质量。现基于杂散辐射原理,参照各通信制式的标准,对多制式共存中 TD-SCDMA 受到的杂散干扰进行了定量分析;并用 Monte-Carlo 方法进行仿真,得出不同干扰源造成的杂散干扰的详细数据。在此基础上通过杂散电平、杂散隔离度等参数来表述干扰状态,为多制式共存时通信平台的建设指标提供有效参考。

关键词 杂散干扰,多重覆盖,隔离度,杂散电平,TD-SCDMA

中图分类号 TN92 文献标识码 A

Spurious Emission Interference of TD-SCDMA in Multiple Coverage

GAO Di¹ ZHU Guang-xi¹ CHEN Yong-hui² WU Wei-min¹

(Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)¹

(School of Computer Science, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)²

Abstract As one of the international standards of 3G raised by China, TD-SCDMA is applied more widely recently. But under the case of coexistence of several wireless systems, interference among them increasingly affects the system performance, which promotes studies on related areas. Since frequency bands are allocated subtly, spurious emission interference greatly influences the quality of communication. This paper was based on the theory of spurious emission, while interference on TD-SCDMA was quantitatively analyzed referring to standard of each system. The simulation educed detailed data of interference from different systems using Monte-Carlo method. Furthermore, state of interference was described by some parameters such as electronic level and spurious emission isolation, which can be referred in the construction of platform for a number of coexisting systems.

Keywords Spurious emission interference, Coexistence, Isolation, Electronic level, TD-SCDMA

1 引言

在现今的城市建设中,无线通信多制式共存的现象十分普遍。各制式依照其标准占有一个固定的频段,因此在这些制式共存的区域里,多重覆盖技术常常得以应用。这种技术降低了工程建造的难度,同时实现了多制式在相同区域内的共同运行。

随着第三代移动通信系统(3G)在全球的广泛商用,其所覆盖的区域可能享受到各种类型的通信业务,如语音通话、文件下载、多媒体点播、视频浏览、彩信、网上冲浪等。与此同时,多制式用户终端能互相通信并与 PSTN 固话连通,这样显著提高了通信的灵活性。多重覆盖的另一个优点是降低施工难度,缩短建造周期且节省材料。因此建设多重覆盖的通信系统对用户和运营商而言都有益。

正是基于以上原因,多重覆盖被全球越来越多的地区采用,目前已应用于北美、欧洲和亚洲的很多室内场景中^[1]。在中国,多重覆盖的建设正在迅速开展,如中兴公司已在上海实现室内场景的 WCDMA、WLAN 和 PHS 系统共存,深圳会展中心也通过系统集成来同时支持 GSM 和 CDMA 业务^[2]。

可是,多重覆盖对制式间的干扰抑制提出很高的要求。如果不同制式使用的频段相邻(或间距小),则必须考虑杂散辐射对通信质量的影响。杂散干扰主要由发射机和接收机的非理想特性所致,即发射机滤波器对频谱旁瓣的抑制不足,表现在阻带衰减过于平缓而引起相邻频率信号的泄漏。由于发射机的辐射功率占有一定带宽而非单频信号,因此其相邻频带的辐射功率可以与有用信号一起进入接收机,被接收机误认为有效信号而形成杂散干扰^[3]。

针对不同制式间的杂散干扰,一些研究提出了降低干扰

到稿日期:2011-01-05 返修日期:2011-03-20 本文受国家科技支撑计划(2008BAH30B09),国家重大专项(2010ZX03003-001,2008ZX03 003-004),国家高技术研究发展计划(2009AA01Z205),新世纪优秀人才支持计划项目(NCET070339)资助。

高 翟(1983-),男,博士生,主要研究方向为无线通信系统,E-mail:leoxys@gmail.com;朱光喜(1945-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为宽带无线与多媒体通信;陈永辉(1975-),男,副教授,主要研究方向为无线网络与自动控制;吴伟民(1970-),男,副教授,主要研究方向为移动通信协议。

的方法。如在通信帧的结构设计上,通过分数频率复用拉大共存制式间的频段距离,以降低杂散辐射^[4]。有研究论述了 GSM 与 CDMA 基站共同覆盖时,可结合天线空间隔离采用线性功放,针对每一个发射频点使用内置于基站的窄带介质滤波器;或者根据空间路径损耗与接收频率的单调关系,调整接收端的频率范围^[5]。也有研究指出,降低干扰基站的发射功率,调整 CDMA 发射天线的空间角度使发射波束不正对被干扰接收天线,或者共站情形下充分利用建筑物的隔离等也可产生降低干扰的效果^[6]。在 WCDMA 与 PHS 制式共存时,单纯采用基站工作频段的隔离效果不明显,而通过加装滤波器或选择抑制度更高的合路器能有效降低杂散干扰^[7]。不过,现有的研究大多以特定的干扰与被干扰制式为对象,而本文在此基础上扩展了制式种类。

2000 年 5 月的 ITU 全会上,中国提出的 TD-SCDMA 正式成为国际 3G 标准。它是世界上第一个采用时分双工(TDD)模式和智能天线技术的公众陆地移动通信系统,也是唯一采用同步 CDMA 技术和低码片速率(LCR)的第三代移动通信系统。鉴于 TD-SCDMA 在中国通信领域的重要地位,本文将其作为被干扰系统,分析多种其它制式(WCDMA、CDMA2000、DCS1800)带来的杂散干扰及其隔离要求,为多重覆盖的器件选型提供有效数据。

2 杂散干扰和隔离度

基于多重覆盖的特点,工程实施时常使用合路设备,其原理是将不同制式的信号分别通过相应工作频段的带通滤波器滤掉杂波,通过设置有效的频段间干扰隔离技术使干扰信号减小到被干扰系统所容忍的范围内,再合成一路信号传输^[8]。在多制式涵盖频段较宽的情况下,合路平台(POI)多频段合路设备能实现各制式间的有效隔离,因此,本文根据 POI 的合路特点进行信号的叠加和处理。

2.1 杂散干扰原理

在非理想的传输特性下,干扰源的旁瓣能量落在被干扰系统的频带内形成杂散干扰(见图 1),这种干扰抬高了被干扰发射机的噪声基底,使连接质量和接收灵敏度降低。如果干扰制式与被干扰制式的频带相邻,且发射端间的隔离度低,或者发射端的边带抑制效果不足,被干扰频带内可能出现高能量杂散干扰,它将提高接收端的噪声抑制要求。为了控制这种干扰,提高发射源间的隔离度是一种很重要的方法^[5]。对隔离度的要求将在后文中讨论。

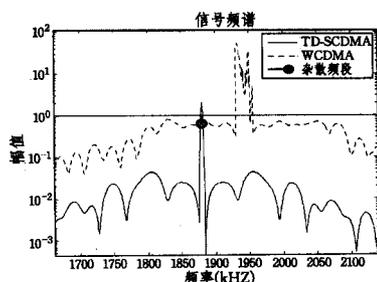


图1 WCDMA 对 TD-SCDMA 的杂散干扰频谱特征示例
在获取杂散干扰强度时,有必要预知相应制式的频谱。

假设被干扰频段为 $[f_1, f_2]$,干扰信号为 $s_i(t)$,其傅立叶变换为 $S_i(f)$,则杂散干扰能量 E_i 可由式(1)计算得出。

$$E_i = \int_{f_1}^{f_2} S_i(f) df \quad (1)$$

为适应计算机仿真的特点,实际用离散傅立叶变换(DFT)来近似经典傅立叶变换(FT)。考虑离散信号时,设干扰信号为 $s_i[n]$,其傅立叶变换为 $S_i[k]$,则杂散干扰能量 E_i' 可由式(2)计算得出。

$$E_i' = \sum_{k=f_1}^{f_2} S_i[k] \quad (2)$$

如果干扰信号的时域宽度为 T ,则杂散功率 P_i 可由式(3)计算。杂散功率将作为隔离度计算的输入参数之一。

$$P_i = \frac{E_i'}{T} \quad (3')$$

2.2 隔离度及其要求

通信信号在干扰发射端和被干扰接收端间的衰减反映二者的隔离度,它与天线增益、传输衰落、滤波特性等因素相关。隔离度不满足要求时,杂散能量将降低系统灵敏度。为保证系统的通信质量,隔离度需控制在一定值域内。对杂散干扰而言,隔离度要求 M 可通过式(4)计算^[9]。

$$M \geq I = P_i - 10 \lg \frac{B_g}{B_d} - P_n - N_f + \mu \quad (4)$$

式中, I 为隔离度, P_i 是干扰源的杂散功率, B_g 和 B_d 分别代表干扰系统和被干扰系统的带宽, P_n 是被干扰系统的热噪声功率, N_f 为接收机噪声系数, μ 为干扰保护比。

式(4)中的热噪声是由一定温度下导体内的电子随机热运动产生的电势引发的,该电势值为^[10]

$$e_n = \sqrt{4KTWR_i} \quad (5)$$

式中, $K=1.38065 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ 为波兹曼常数, T 为开尔文绝对温度, W 为接收机有效带宽, R_i 为噪声源内部电阻。其对应的热噪声功率为

$$P_n = \frac{\left(\frac{e_n}{2}\right)^2}{R_i} = \frac{\left(\frac{\sqrt{4KTWR_i}}{2}\right)^2}{R_i} = KTW \quad (6)$$

此外在实际通信时,式(4)中的接收机噪声系数通常低于 5dB,干扰保护比通常在 7dB 左右。本文实验中相应的入口参数也依此取值。

3 仿真步骤和输入参数

3.1 Monte-Carlo 仿真实验平台

实验平台包括发射和接收端物理层的所有主要参数。该平台由若干模块构成,每个模块包含一系列参数。例如,信号源模块包括 6 种制式,每种制式有超过 20 个入口参数。假如仅用传统数值计算,复杂度会随入口参数的增多而迅速提高,这就是数值分析中“维度的灾难”^[11]。为了将复杂度控制在合适的水平,本实验采用 Monte-Carlo 这种随机模拟方法。

杂散干扰仿真实验平台的各模块有明确的分工。由于 Monte-Carlo 仿真的精度受入口参数的影响很大,选择相关通信标准中的典型值作为输入,这些参数包括频带、平台噪声、滤波特性、扩频因子、数据类型等。

3.2 仿真流程和模块功能

按照标准,各通信制式的频带分配如图2所示。其中TD-SCDMA制式使用3个频段:1880~1920MHz,2010~2025MHz,2300~2400MHz。由图2可看出,第一个频段(1880~1920MHz)的两侧共有3个其它制式的频带相邻,包括DCS1800下行(1805~1880MHz)、CDMA2000上行(1920~1935MHz)、WCDMA上行(1940~1955MHz),故,此频段受到的杂散干扰最复杂;又考虑此频段在TD-SCDMA中承载较多业务,因此本文的仿真主要以1880~1920MHz为被干扰频段进行分析。

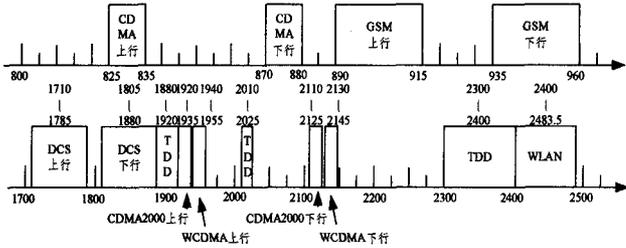


图2 多种移动通信制式的频率分配

仿真流程如图3所示,以下分别介绍各主要模块的功能。

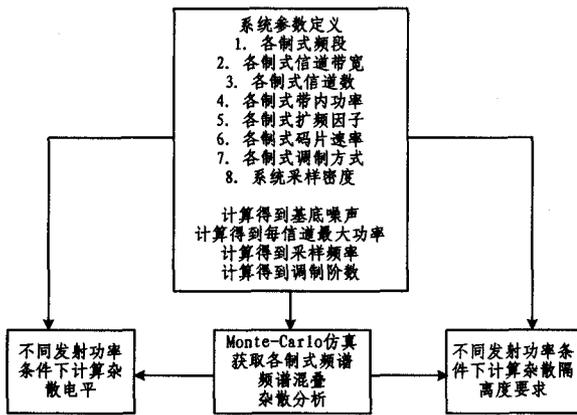


图3 仿真流程

结构和参数定义 该模块由两部分组成:数据结构的定义和参数输入。基本参数在结构内定义,参数输入将具体数值传入程序,为后续的数据处理作准备。部分典型参数定义见表1。

表1 各制式入口参数

系统制式	TD-SCDMA	WCDMA	CDMA2000	DCS1800
上频段(MHz)	1900/2025/2400	2145	2125	1850
下频段(MHz)	1880/2010/2300	2130	2110	1805
信道宽度(MHz)	1.28	3.84	1.23	0.2
码片速率(kcps)	1280	3840	1280	-
扩频因子	16	128	16	-
码率(kbit/s)	320	120	1280	20
调制方式	QPSK	QPSK	16QAM	GMSK
采样密度(/周期)	8	8	8	8
周期数(/字符)	8	8	8	8
字符率(kbaud/s)	80	30	80	5
带内功率(dBm)	33	43	43	40
测量带宽(MHz)	1.28	3.84	1.23	0.2

扩频和滤波 3G的CDMA制式通过直接序列扩频(DSSS),用高速率扩频序列扩展原始信号的频谱,并用相同的序

列进行解扩以复原信号。不同制式的扩频因子有各自的值域,通信标准中的值域在表2中列出^[12-14]。

表2 各制式扩频参数

制式	扩频因子值域	仿真中扩频因子的取值	码片周期(μs)	滚降系数
TD-SCDMA	1~16	16	0.78125	0.22
WCDMA	4~256	128	0.26042	0.22
CDMA2000	2~43	16	0.78125	0.22
DCS1800	无扩频	无扩频	无	无

频谱变换和共存 这是获取干扰水平的一个必要步骤。来自频谱旁瓣的杂散辐射是干扰的主要来源,所以时域信号需要转换为频域信号进行分析。为使不同制式的频谱精度一致,离散傅立叶变换的窗口自适应匹配于带宽和采样密度,因此,窗口宽度不一定是2的整次幂。

干扰和隔离度判决 此模块基于杂散干扰理论。在平台的杂散功能函数中,输入包括频带、频谱、采样密度等参数;输出包括杂散功率、杂散电平、杂散信干比、验证标识等。该函数辨识主瓣的位置和宽度,并提取相应的旁瓣来计算杂散功率和信干比。

只要干扰的信息确定,就能通过式(4)计算出隔离度要求值。

4 仿真结果

以TD-SCDMA作为被干扰制式,用实验平台获取来自WCDMA、CDMA2000、DCS1800的杂散干扰。首先提取各子信道的杂散干扰电平,然后计算杂散隔离度。

表3给出WCDMA在6种带内发射功率下对应的各子信道杂散电平。发射功率越小,杂散电平值越低。当带内发射功率小于43dBm时杂散电平低于-92dBm。图4给出相应的6个杂散隔离度,它随发射功率增大而提高。在带内发射功率小于43dBm时隔离度不超过30。在通信标准中规定杂散电平值不得超过-86dBm/1MHz^[13],很明显,在此条件下隔离度将不超过30。

表3 WCDMA在TD-SCDMA带内的杂散电平(dBm)

信道编号	发射功率					
	41.86	37.70	32.13	27.38	22.71	19.99
1	-93.39	-97.66	-102.39	-108.77	-109.60	-115.95
2	-93.12	-97.81	-102.22	-108.83	-109.95	-116.16
3	-92.94	-97.87	-102.14	-108.91	-110.26	-116.36
4	-92.74	-97.90	-102.08	-109.06	-110.72	-116.66
5	-92.61	-97.88	-102.07	-109.21	-111.10	-116.92
6	-92.50	-97.78	-102.11	-109.46	-111.59	-117.30
7	-92.45	-97.58	-102.20	-109.76	-112.00	-117.71
8	-92.47	-97.41	-102.30	-110.02	-112.19	-118.03
9	-92.56	-97.19	-102.48	-110.43	-112.29	-118.45
10	-92.68	-97.06	-102.64	-110.79	-112.25	-118.77
11	-92.91	-96.95	-102.90	-111.33	-112.09	-119.17

对CDMA2000和DCS1800而言,变化规律相似。在带内发射功率小于44dBm时,CDMA2000的杂散电平低于-88dBm(见表4)且隔离度不超过35(见图4)。在干扰制式为DCS1800时,若带内发射功率小于42dBm,对应的杂散电平和隔离度将分别不超过-35dBm和81(见表5、图4)。

表4 CDMA2000在TD-SCDMA带内的杂散电平(dBm)

信道编号	发射功率					
	43.68	41.13	37.56	31.03	24.40	18.09
1	-88.82	-94.59	-97.66	-103.76	-108.57	-111.95
2	-89.19	-95.11	-97.75	-103.59	-108.72	-111.80
3	-89.55	-95.48	-97.88	-103.52	-108.85	-111.75
4	-90.13	-95.92	-98.11	-103.48	-109.04	-111.73
5	-90.65	-96.19	-98.34	-103.50	-109.19	-111.73
6	-91.46	-96.44	-98.73	-103.58	-109.40	-111.72
7	-92.32	-96.55	-99.20	-103.68	-109.61	-111.72
8	-92.69	-96.50	-99.61	-103.77	-109.77	-111.76
9	-92.97	-96.32	-100.19	-103.93	-109.96	-111.86
10	-93.11	-96.14	-100.62	-104.08	-110.08	-111.98
11	-93.16	-95.90	-101.04	-104.30	-110.19	-112.20

表5 DCS1800在TD-SCDMA带内的杂散电平(dBm)

信道编号	发射功率					
	41.06	34.54	29.91	26.45	22.03	16.41
1	-34.87	-38.35	-44.51	-50.27	-55.30	-59.10
2	-34.89	-39.53	-44.07	-51.36	-54.90	-60.27
3	-37.37	-42.41	-47.13	-51.66	-57.46	-62.19
4	-35.45	-40.10	-44.94	-50.29	-55.14	-60.57
5	-34.91	-40.01	-44.54	-50.28	-54.36	-59.35
6	-35.99	-41.05	-46.14	-50.30	-55.43	-61.53
7	-36.57	-40.83	-46.42	-52.43	-57.00	-61.56
8	-35.95	-40.25	-46.35	-51.00	-55.92	-60.68
9	-33.71	-38.00	-43.26	-48.83	-54.31	-58.16
10	-33.76	-38.42	-44.33	-48.60	-54.32	-57.99
11	-36.38	-41.98	-46.91	-51.22	-56.38	-61.34

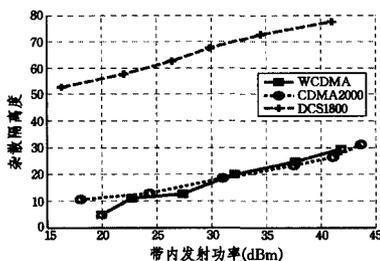


图4 不同带内发射功率下的杂散隔离度

依据通信标准,每种干扰制式对TD-SCDMA均有允许的杂散电平上限。实际应用时杂散电平不得高于此上限,其越低则意味着干扰抑制的性能越好。杂散电平的输出和隔离度要求见图5。可以看到在3种干扰制式下,计算得到的最高杂散电平低于对应的杂散电平上限。通过比较可知,在正常的带内发射功率下,图4中的杂散隔离度始终不超过图5中的隔离度要求,这说明通过杂散电平得出的隔离度要求足够将杂散电平控制在要求范围之内;换言之,干扰在杂散电平上的制约与在隔离度上的制约相互关联。实际工程设计中,可选择其中一种指标作为控制杂散干扰的要求。

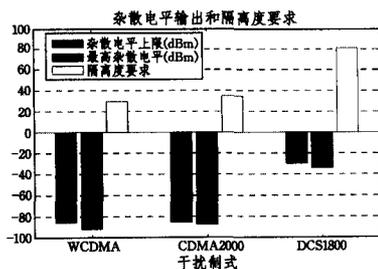


图5 杂散电平和隔离度要求输出

结束语 杂散辐射是发射机设备性能中的一项重要指标,该干扰信号存在于一定宽度的频率范围内,被干扰接收机无法滤除自身工作频段内的该类杂散信号,由此形成杂散干扰。对杂散干扰的限制要求有若干指标,如杂散电平、发射功率、隔离度等。多制式共存时,杂散电平指标制约着干扰源的发射功率,在这种制约下隔离度存在最大允许值——干扰与被干扰制式间的隔离度要求。隔离度要求可通过合适的人口参数仿真得出,它影响合路器件的选型(即相关指标的选取),如杂散抑制比。当TD-SCDMA与其它制式共存时,需要选择适当的合路器件以保证一定的隔离度。如果隔离度满足要求,那么杂散干扰的强度在正常通信中可接受。另一方面,隔离性能越好的器件往往成本越高,所以系统设计需要兼顾性能与成本进行器件选型。

参考文献

- [1] 刘显疆. FemtoCell 业务初探[J]. 信息通信技术, 2009, 3(1): 81-84
- [2] 刘雪骑. TD-SCDMA 室内覆盖方案[J]. 通信世界, 2007, 8(11): 27-28
- [3] 钟章队, 艾瀚, 刘秋妍, 等. 铁路数字移动通信系统(GSM-R)应用基础理论[M]. 北京: 清华大学出版社, 北京交通大学出版社, 2009: 121-123
- [4] 高程, 朱光喜, 李彦淳, Markus Hidell. 分数频率复用的帧结构及性能分析[J]. 计算机科学, 2010, 37(12): 53-56
- [5] 曹安, 唐辉. CDMA 与 GSM 基站共址杂散干扰仿真与分析[J]. 信息技术, 2007, 31(2): 75-79
- [6] 朱陆费. CG 网基站共址址杂散干扰的分析研究[J]. 消费导刊, 2008, 59(12): 184-185
- [7] 曹曦. WCDMA 与 PHS 共室内分布系统杂散干扰的研究[J]. 邮电设计技术, 2008, 51(1): 42-46
- [8] 杜敏芳. 室内网络覆盖的干扰分析与规避[J]. 电信快报, 2008, 45(3): 13-15
- [9] 曹俊杰. 移动通信多系统间的干扰防护研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2007
- [10] 广州杰赛通信规划设计院. TD-SCDMA 规划设计手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007: 125-126
- [11] Gibbs J A, Bosovic D M, Heuvel A P. Spurious emission limits for mobile transmitters: an approach and results [C]// Proceedings of Vehicular Technology Conference. 1995: 991-995
- [12] 中国信息产业部. YD/T 1365-2006. 2GHz TD-SCDMA 数字蜂窝移动通信网无线接入网络设备技术要求[S]. 中国通信行业标准, 2006
- [13] 中国信息产业部. YD/T 1552-2007. 2GHz WCDMA 数字蜂窝移动通信网无线接入网络设备技术要求(第一阶段)[S]. 中国通信行业标准, 2007
- [14] 中国信息产业部. YD/T 1556-2007. 2GHz CDMA2000 数字蜂窝移动通信网设备技术要求: 基站子系统[S]. 中国通信行业标准, 2007