本课题是天津市科技创新专项重点基金项目:"新一代移动通信网络覆盖关键技术 研发及示范应用"的子课题。它主要对系统间的共存干扰进行研究,分析共存干扰对系 统性能的影响,以及提出相应的改善措施。

随着移动通信用户数量的增多,以及人们对移动通信数据量需求的增加,第三代通 信网络得到了飞速的发展。在我国,第三代移动通信系统同时存在并使用着三种不同的 通信标准,即 TD-SCDMA、WCDMA 以及 CDMA2000,并且目前它们仍存在着尚未投入使用的 补充频段,因此,为了保证将来可能会投入使用的补充频段系统能够高性能的运行,必 须对它们的共存干扰问题进行研究。

本文主要对 TD-SCDMA 系统的核心频段与 WCDMA 系统的补充频段的共存问题进行了 研究,完成的工作包括以下几点:

1、分析了共存系统间干扰产生的主要原因,研究了目前尚未投入使用的 WCDMA 系统补充频段与 TD-SCDMA 系统核心频段在共存时存在的干扰类型,确定了对共存系统性能起主要作用的干扰类型。同时,为了保证系统在共存及共站时能够平稳运行,用确定性算法获得了系统间所需的附加隔离损耗要求。

2、对在 WCDMA 系统干扰情形下的 TD-SCDMA 系统性能进行了研究。建立了系统的共存仿真模型,分析了共存干扰对用户通信质量和系统容量的影响。同时,研究了功率控制技术对共存系统性能的改善作用。

3、对影响共存系统性能显著的功率控制技术进行了分析研究,重点对上行链路的 内环功率控制技术进行研究。分析了影响上行链路内环功率控制的因素和可用作功率控 制的反馈信息。建立了功率控制的仿真过程模型,对决定其性能的功率控制算法进行了 研究。在现有的 DCPC 算法及 CSOPC 算法的基础上进行改进,并对它们性能进行了仿真 分析,从仿真的结果可以看出改进后的功率控制算法的综合性能得到了明显提升。

关键词: TD-SCDMA WCDMA 共存 容量 功率控制

#### Abstract

This paper is the subtopic of the research and application of the next generation telecommunication network coverage key technology which is Tianjin science and technology innovation special funds project. It is mainly to study the issue of coexistence between telecommunication systems, analyze the impact of interference on the system capacity and propose measures for improvement.

With the increases of the number of mobile users and demand for mobile data, the third generation telecommunication network has been obtained rapid developments. There are three standards for the generation telecommunication network adopted by the International Telecommunication Union. They are TD-SCDMA, WCDMA and CDMA2000 respectively. They are used by different operator in China. And there are some frequency bands which have not yet been used. Therefore, in order to ensure the system's operation with high performance, it needs to study the coexistence between the different systems.

This paper is mainly to study the issue of coexistence between TD-SCDMA system using the core frequency band and WCDMA system using the supplementary frequency band. It is mainly to complete the following work.

1. This paper analyzed the causes of interference of coexistence systems, studied the interference between the TD-SCDMA and WCDMA systems. In order to ensure the systems can run in high performance, it got the additional isolation loss requirements for the two coexistence systems.

2. The TD-SCDMA system's performance has been studied when it coexists with WCDMA system. The simulation model of the two coexistence systems has been established. The communication quality and system capacity have been analyzed under the coexistence of the two systems. At the same time, the effect of power control on the coexistence systems performance has been studied.

3. Finally, the power control technology which has significant impacts on the TD-SCDMA system performance has been studied. In particular, inner loop power control technology of the uplink has been research. And the process of inner loop power control has been also analyzed. In addition, the power control algorithms have been studied. It has been improved based on DCPC and CSOPC algorithm. From the results of simulation, it can be seen that the performance of the power control algorithm proposed in this paper has been improved significantly.

Key words: TD-SCDMA, WCDMA, Coexistence, Capacity, Power Control

## 第一章 绪 论

1.1 移动通信系统的发展

在过去的十年里,通信领域取得了巨大的发展,特别是无线通信领域。无线通信的 高速发展使得世界变为了地球村,同时通信标准和制度的统一也成了一个必须解决的问题。当前第三代通信标准主要有 WCDMA、TD-SCDMA 以及 CDMA2000。第三代移动通信系统 的主要目标是为全球范围内的任何移动通信用户提供无缝的通信服务。这些基本的通信 服务包括高速率的语音,视频以及多媒体业务。

第一代移动通信系统采用的是模拟调频技术(FM),其典型的代表有 AMPS,它是由贝尔电话系统发展而来的。它使用调频技术传输语音业务并且使用数字信号作为控制信息。除了 AMPS 外,第一代通信系统还包括窄带 AMPS, TACS 以及 NMT-900<sup>11</sup>。这些系统都利用了频分多址的技术,小区中的每一信道都配置在唯一的载频上。

随着移动用户数量的快速增长,采用单一频分多址技术的第一代移动通信系统已不 能满足系统的容量要求。因此,第二代通信系统应运而生。第二代移动通信系统充分地 应用了数字技术以及压缩和编码技术。除了第一代移动通信所使用的频分多址技术外, 它还应用了时分多址(TDMA)以及码分多址(CDMA)技术。其中最著名的第二代通信系统有 GSM, IS-95<sup>[2]</sup>。

第三代移动通信系统支持宽带的数据业务,如高速的 Internet 访问,视频以及高 质量的图像传输。它要求语音质量与公共的电话网质量相当,更高的频谱利用率,与现 存的网络兼容,同时引进新的服务和技术,以及支持高速率的数据业务。3G 的数据速率 要求为车载情况下,144kbps;步行情况下,384kbps;室内情况下,2Mbps<sup>13</sup>。

#### 1.2 课题的研究背景和意义

在中国,不同的运营商同时运营着三种不同的第三代通信系统标准,分别为中国移动的 TD-SCDMA,中国联通的 WCDMA,以及中国电信的 CDMA2000<sup>[4]</sup>。在 3G 系统 网络发展的同时,2G 系统也同时还在运行着。因此,在中国不仅有 3G 系统与 2G 系统 间的干扰,同时也有 3G 系统间的干扰。由于不同的通信系统所使用的频段不同,并且 所采用的双工模式也可能存在差别,因此不同的共存系统存在的共存干扰类型是不同 的,必须对具体的共存系统进行相应的研究。

随着移动通信用户数量的增多,第三代移动通信网络得到了飞速的发展。2011 年 9 月,中国的三大运营商先后公布了各自的 3G 移动用户数,中国移动的 TD-SCDMA 系统用 户数达到 4031.8 万,中国联通 WCDMA 系统用户数为 2786.8 万,中国电信 CDMA2000 系

-1-

统用户数为 2561 万,使得目前中国总的 3G 移动用户数已达到 9379.6 万,并且各个运营商在 7 月和 8 月都保持着 200 万以上的新增 3G 用户数的强劲增长势头,可以看出在未来几年里,中国的 3G 用户数仍会持续高速的增长<sup>[6]</sup>。

第三代移动通信网络的迅猛发展必然会导致频谱资源使用的日趋紧张,从而使得尚 未投入使用的第三代移动通信系统的补充频段投入使用成为必然。目前,中国信息产业 部划归给第三代移动通信系统的补充频段包括频分双工频段 1755MHz~1785MHz/1850~ 1880MHz,以及时分双工频段 2300MHz~2400MHz<sup>(6)</sup>。由于时分双工频段与其它通信系统 所使用的频段的频率间隔较大,因此系统间的干扰并不十分严重。而 WCDMA 系统的补充 频段的下行频段 1850~1880MHz 与 TD-SCDMA 系统的核心频段 1880MHz~1920MHz 邻频, 此时两系统间会存在明显的共存干扰问题。

两个通信系统共存时,存在系统间相互干扰问题<sup>[7-12]</sup>。为了使共存系统能顺利的运行,需要确保系统间所需的隔离损耗要求得到满足<sup>[13]</sup>。同时,系统间的共存干扰会导致移动台用户的信号传输链路质量的下降,系统误码率的增大<sup>[14]</sup>,影响用户的通信质量,更重要的是还会导致系统容量的损失<sup>[15]</sup>。

基于上述考虑,非常有必要对尚未投入使用的 WCDMA 系统的补充频段与邻频的 TD-SCDMA 系统的核心频段的共存问题进行研究,并寻求一种能有效缓解共存干扰对系统 性能造成损失的措施。

1.3 国内外研究现状

近年来,无线通信系统的共存已成为通信系统网络发展研究的一个热点问题<sup>[16-28]</sup>。 由于采用的双工模式和工作频段的不同,不同的共存系统存在的共存干扰类型是不同 的。因此需要对针对不同的共存系统进行具体的研究。

文献[26]分析了 2G 系统间的共存干扰问题,获得了两系统共存时基站所需的空间 隔离距离。文献[27]对 3G 与 2G 系统间的共存干扰问题进行了研究,说明了 3G 系统容 量受共存干扰的影响比 2G 系统大。文献[28]分析了 WCDMA 与 CDMA2000 系统共存时,两 系统间的频率保护间隔和 CDMA2000 系统的用户数对 WCDMA 系统容量的影响。文献[29] 分析了 1920MHZ 处使用核心频段的两个 3G 系统间的干扰问题,仿真了代表发射机和接 收机综合特性的邻信道干扰功率比(ACIR)对系统容量的影响。文献[30]分析了 1920MHz 处的 TD-SCDMA 和 WCDMA 系统的核心频段的系统共存问题,说明了系统间基站的偏移对 共存系统容量的影响。

可以看出,目前对共存系统的研究主要集中在 2G 频段和 3G 系统的核心频段,对将 来可能投入使用的 3G 系统的补充频段的研究相对较少。

为了提高共存系统的性能,人们提出了许多减小共存干扰影响的措施。文献[31]对 1920MHz 频点处使用核心频段的 TD-SCDMA 与 WCDMA 邻频系统的共存干扰问题进行了分 析,同时设计了一种波导带通滤波器用于改善接收机与发射机的特性,减小了共存干扰 对系统性能的影响。文献[32]通过改进接收机前端的滤波器结构,使接收的信号分为两 路,一路将有用信号滤除,另一路信号不变,然后两路信号相减合并,来抑制系统间的 共存干扰,改善了用户的通信质量。文献[33]对使用核心频段的 WCDMA 系统与其他系统 间的共存问题进行了研究,说明了可以采用增加系统基站空间隔离来较小共存干扰对系 统性能的影响。文献[34]仿真了系统载波间隔对误码率的影响,得出可以通过加大系统 间载波间隔来改善共存系统的通信质量。文献[35]提出了可以通过增大符号的传送时间 间隔来抑制系统间的共存干扰,减小系统的的误码率。文献[36]说明了 1920MHz 处邻频 共存 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统采使用智能天线取代全向天线后,可以减小共存系统容量 的损失。

这些改善共存系统性能的措施虽然都能减小共存干扰的影响,但它们也存在各自的 不足之处。通常高性能的滤波器难于实现,且成本较高。增大空间和载波频率的隔离减 小了资源的利用率。加大传输符号的时间间隔会造成用户数据传输率的下降。智能天线 技术仅能在一些特定的系统中运用。因此,有必要改进现有的抗共存干扰措施,以提高 共存系统的性能。

#### 1.4 论文的研究内容和结构安排

本文主要对 TD-SCDMA 系统与 WCDMA 系统的共存问题进行了研究。分析 TD-SCDMA 系统与 WCDMA 系统在共存时存在的干扰类型,采用确定性算法去分析了两系统共存及共站 情形下所需的附加隔离损耗;同时,研究了 TD-SCDMA 系统在 WCDMA 系统干扰情形下的 系统性能问题,重点分析了共存干扰对系统通信质量和容量影响。并且研究了功率控制 技术对共存系统性能的改善作用。最后,对影响共存系统性能较大的功率控制技术进行 了研究,改进了功率控制算法的性能。

本文的结构安排如下:

第一章介绍了移动通信系统的发展历程,并论述了本文研究的背景意义,以及国内 外的研究现状。

第二章对 TD-SCDMA 系统和 WCDMA 系统进行概述,分别介绍了 TD-SCDMA 和 WCDMA 系统中所采用的一些关键技术,并对 TD-SCDMA 系统和 WCDMA 系统的一些特性进行了对比。

第三章对 TD-SCDMA 系统与 WCDMA 系统间的干扰进行分析,确定它们共存时系统间存在的干扰类型,并用确定性算法分析两个系统共存及共站时系统所需要的附加隔离损耗要求。

第四章对 TD-SCDMA 系统在 WCDMA 系统干扰下的系统性能进行了研究,分析了共存 干扰对系统性能的影响。同时,研究了功率控制技术对共存系统性能的改善作用。

第五章对在共存干扰下影响系统性能较大的功率控制技术进行研究,介绍了功率控制技术的分类。特别对系统性能起主要作用的上行链路内环功率控制技术进行了分析。 同时,对现有的典型功率控制算法进行了研究,并在此基础上对其进行了改进,改善了 其收敛性、对用户发射功率的要求以及对小区用户数的适应性,提高了功率控制算法的 性能。

第六章对全文的研究内容进行了简要的总结,并对接下来的一些工作进行展望。

-3-

## 第二章 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统的关键技术

第三代蜂窝通信系统能更好地提供多媒体业务,如高速的互联网业务,视频电话以 及视频会议等。为了实现这个目标,欧洲、日本、美国、韩国和中国分别向国际电信联 盟(ITU)提交了各自不同的方案。目前被国际电信联盟认可的第三代无线通信标准主要 有三种,分别为 TD-SCDMA、WCDMA 以及 CDMA2000,值得一提的是 TD-SCDMA 标准是由中 国提出的。

本章主要对 TD-SCDMA 与 WCDMA 通信系统各自所使用的一些关键技术进行介绍,并对 两系统的关键特性参数进行比较。

#### 2.1 TD-SCDMA 系统技术特点

TD-SCDMA(Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access)即时 分同步码分多址技术是由国际电信联盟认可的第三代通信技术标准之一,它是由中国电 信科学技术研究院提出来的,并得到了中国大唐和德国西门子公司的支持,最后发展成 具有中国自主知识产权的通信技术标准。TD-SCDMA 系统的技术特点使它能很好地满足移 动台用户对语音以及数据业务高质量的需求。接下来将对它所采用的一些关键技术进行 介绍。

2.1.1 时分双工技术

时分双工技术(TDD)在移动通信系统中占有重要的地位。它是移动通信系统的一种 双工方式,但它与频分双工技术有着明显的区别,它采用不同的时隙来实现上行链路和 下行链路通信信号的传输,而频分双工技术是采用不同的频率信道来完成的。正因为时 分双工技术通过不同的时隙来实现上下链路的通信,因此它具有一些有别于频分双工技术的优点。

由于时分双工技术不用通过不同的频点来进行上下行链路的通信,因此它不需要成 对的频谱资源。这对于随着移动台用户数增加,而变得日益稀缺的频谱资源来说,无疑 带来了极大的益处,它可极大的提高频谱资源的利用率。时分双工和频分双工的工作原 理,如图 2-1 所示。

-4-



图 2-1 时分双工和频分双工原理图

因为时分双工技术采用不同的时隙去实现上下行链路的通信,在时分双工时隙的帧 结构中,可以通过灵活地配置上下行链路的时隙转换点,来满足移动通信系统中对上下 行链路数据通信量的不同需求。例如,在移动台的互联网业务中,下行链路所需的数据 量明显大于上行链路所需的数据量,此时,可以通过调整帧结构中上下链路行时隙转换 点,使下行链路获得较多的时隙数以此来满足其数据量多的需求。时分双工系统的帧结 构的示意图,如图 2-2 所示。



图 2-2 TD-SCDMA 帧结构图

时分双工的上下行链路通信使用相同的频点,使得上下行链路的无线通信信道的传 播特性相同,有利于智能天线等技术的应用,从而达到增加系统小区容量的目的。

由于时分双工通信系统的上下行链路通信由系统中帧不同的时隙来完成,时隙间必须要有一定的保护时间间隔。若通信系统的小区半径较大,为了避免时隙间的干扰,则

需要较大的上下行链路间的时隙转换保护时间间隔,此时会造成数据传输率变低,影响 系统的性能。

此外,在采用时分双工技术通信系统的相邻小区间,若它们彼此的帧结构中的时隙 配置不同,即使系统的基站间完全的同步,也同样会造成小区间不同移动台用户的时隙 间干扰。例如,如果在相邻小区的小区边缘移动台用户以最大功率进行上行链路通信, 并且本小区边缘的移动台用户的时隙与邻小区移动台用户的时隙配置不相同,这样就会 造成移动台用户间的干扰。

尽管时分双工技术存在一些它本身固有的缺点,但是它的优点也是非常明显的,因 而它在第三代移动通信系统中获得了足够的重视,也使得它在 TD-SCDMA 通信系统中 得到了充分的应用。

2.1.2 智能天线技术

进年来,智能天线技术已成为了移动通信系统领域的研究热点,许多先进的通信系统都采用了这种技术。

智能天线是一种自适应天线阵列,它能根据反馈的信息去调整天线阵列单元的波束 赋形模型。它与传统的天线系统不同,它可以产生多个波束,每个波束自适应的跟踪移 动台用户,并根据各自的信道传播环境及时地调整天线阵列单元的幅度和相位<sup>[37]</sup>。

在智能天线的波束赋形过程中通常采用自适应波束赋形技术。它通过调整各个天线 阵元的幅度和相位,使得天线的波束方向图指向特定的方向,以适应目标位置以及信号 传播信道环境的变化。它最早应用于雷达系统中,以增强雷达系统的电子对抗性能。随 后,自适应波束赋形技术被引入到无线通信系统中。TD-SCDMA系统的智能天线采用了自 适应波束赋形技术,它可以用来补偿信号的慢衰落和降低干扰。

基站所使用的智能天线由多个天线的阵列单元组成,可以通过改变各个阵列单元的 幅度和相位去调整信号的波束赋形方向图,达到减小干扰,提高信噪比的目的。它可以 根据各个用户的实时位置,去改变基站发射信号波束的方向来跟踪各个用户,从而减小 基站天线总的发射功率,增大系统的容量。因为智能天线采用软件控制天线的方向图, 所以它可以灵活地调整波束的方向。智能天线波束赋形跟踪用户的示意图如图 2-3 所示。 在系统接收机中所使用的功率放大器通常较为昂贵,而采用智能天线后,便可以用价格 相对较低的低性能功率放大器代替高性能功率放大器,从而降低系统接收机所需的成 本。

-6-



图 2-3 智能天线波束赋形示意图

采用智能天线的移动台用户,可以降低其发射功率,从而减小系统小区内用户间的 相互干扰。因为码分多址系统为自干扰系统,减小系统所受的干扰,便可以增加系统的 小区容量,同时也可以减小移动台发射的电磁信号对人体辐射危害。此外,减小用户的 发射功率,也能延长用户电池的使用寿命。

在智能天线系统中若使用 M 个天线阵列单元,可以让天线的输出信号变为窄的方向波束,从而使得基站的信噪比为采用全向天线时的 M 倍;并且可以让系统所受的外部干扰减小为采用全向天线时的 M 倍,系统的容量也随之提升为原来的 M 倍。

为了提高系统性能,智能天线一般都会配合其它抗干扰技术一起运作。在智能天线 的实时性与复杂性间必须寻求平衡,智能天线对由于移动台用户的高速移动造成的多普 勒效应而引起的信号恶化不能很好的适应,此时,需要与多用户联合检测技术相结合才 能得到改善。

2.1.3 联合检测

通常,码分多址系统中所使用的扩频码并非是完全理想正交的,从而造成各个移动 台用户的信号在经过恶劣的信道环境传播后,出现信号的相关性,产生小区内移动台用 户的多址干扰。当系统的负荷较小时,即系统内的移动台用户数量较少时,这种干扰并 不十分明显,但随着系统负荷的增大,这种干扰明显增强,因此,在码分多址系统中需 要对其进行抑制。

在传统的系统接收机中,通常采用单用户检测,即把系统接收机接收到的其它用户 的干扰信号当成一般的热噪声来处理,而不是作为多址干扰来处理,这使得系统基站接 收的信噪比产生恶化,造成系统容量减小,如在传统的Rake接收机系统中,采用的就是 单用户检测,它不能很好地满足对于单载频容量要求较高的系统。

多用户检测技术充分利用了其它移动台用户的多址干扰信息,而不是把它与一般的

热噪声等同处理,因此能较好地分离各个移动台用户的信号。在其它移动台用户的多址 干扰中包含许多有用的信息,如无线传播信道的信息,以及用户所使用的扩频码信息。 通常多用户检测技术分为两种,一种是干扰消除技术,另一种是联合检测技术。干扰消 除技术采用反馈判决和反复的迭代过程恢复原始的传输信号,在此过程中,根据反馈判 决出来的部分移动台用户的信号数据,以及用户所使用的扩频码、训练序列等信息逐步 迭代以获得小区中所有用户的信号数据,而联合检测技术充分利用移动台用户的多址干 扰信息,并不需要反复迭代过程,仅需一次就可以将各个移动台用户的信号进行分离, 因此联合检测的性能抗干扰性能比干扰消除技术强,但是它具体实现起来要比干扰消除 技术困难<sup>[38]</sup>。

通常情况下,联合检测只能获得本小区用户的一些先验信息如扩频码和用于信道估 计的训练序列等,而不能获得相邻小区的移动台用户的信息,因此它仅能用于消除本小 区内的多址干扰,对于邻小区的其它用户强干扰信号并不能消除,此时,联合检测技术 需要与其它技术配合才能很好地发挥其作用,智能天线对于解决系统内小区间的移动台 用户干扰十分有效,因此,它可以和联合检测结合起来消除移动通信系统中的系统内部 干扰,增加系统的容量。

联合检测技术可为系统带来以下几个方面的益处。首先,它不再将移动台用户间的 多址干扰当成热噪声来处理,增强了系统的抗干扰能力,提高了系统小区的容量;其次, 它也可以在保证用户通话质量的前提下,降低移动台用户发射信号的功率,延长用户设 备的待机时间,提高电池的使用寿命。但是,联合检测技术也存在一些不足之处,虽然 从理论上说,小区内的多址干扰可以用联合检测技术来消除,但是在实际的通信系统中, 对移动台用户信号的信道估计往往存在一定的偏差,使得联合检测的性能受到抑制;同 时,联合检测的复杂度与小区中移动台用户数相关,移动台用户数越多,则联合检测的 实现复杂程度就越大。

#### 2.1.4 接力切换

接力切换技术同样在TD-SCDMA系统中发挥着重要作用。它用于移动台用户在小区边 缘移动时,为用户选择并连接到合适的基站以满足基站接收的目标信噪比要求,从而保 证用户的通信质量。

接力切换技术是在智能天线和上行同步技术的基础上实现的。通过它们,接力切换 可以获得移动台用户在小区中的精确位置信息,从而判断其是否处于切换区内<sup>[39]</sup>。若移 动台用户进入了切换区域,则启动切换判决过程。由于在进行切换的过程中,已经获知 了用户的位置信息,则可以减小移动台准备切换的目标基站候选集,缩短了测量时间, 加快了切换速度。

通过智能天线技术,基站可以实时跟踪各个移动台用户,获得用户到达角(DOA)信息,进而确定移动台用户与基站间的方位信息。而通过TD-SCDMA系统的上行同步技术,基站可以得到移动台用户传输信号的延时,由延时信息便能计算出移动台与基站之间的距离。根据基站与移动台用户间的距离及方位信息,系统便可以准确地获得移动台用户 在小区中的具体位置信息。 接力切换充分利用了TD-SCDMA系统的智能天线及上行同步的技术优势,能实时跟踪 移动台用户,确定其位置。利用这些位置信息可以在用户进行切换时,仅需测量靠近用 户的邻小区的信息,减小需要测量的邻小区数,缩短了测量的时间,降低了用户的掉话 率。而软切换和硬切换技术均需要测量所有的邻小区信息,使得测量时间明显大于接力 切换所需的时间。

2.2 WCDMA 系统的技术特点

WCDMA同样是被国际电信联盟所采纳的第三代通信系统技术标准之一。它主要在 欧洲及一些亚洲国家使用。中国除了使用TD-SCDMA系统标准外,同时也使用了 WCDMA系统标准。WCDMA系统为了满足用户业务的需求,采用了一些关键技术如 Rake接收机、接力切换等。

2.2.1 Rake 接收机

在无线通信系统中,由于用户信号在传播过程中受到建筑物、地形等传播环境的影响,会呈现出多径传播。若不能对这些多径信号进行很好的处理,则它们间会产生相互 干扰。

一般接收机的分集技术将这些多径信号视为用户信号的干扰,但在这些多径信号中 却包含了移动台用户发射信号的有用信息,若能充分地利用这些多径信号,就能有效地 降低多径信号间的干扰,同时也可以提高接收机接收的用户信号信噪比,改善用户的通 信质量。

Rake接收机中有多个相关检测器,这些检测器利用用户扩频信号相关性,分别对各路多径信号进行处理,接着对各路处理后的信号按一定的算法进行合并,从而增加了用户信号的增益,同时也减小了用户信号的多径干扰,达到了改善基站接收机接收移动台用户信号信噪比的目的。通常在Rake接收机中采用的合并信号的算法有最大比、等增益以及最小均方误差合并算法<sup>[40]</sup>。



图 2-4 Rake 接收机工作原理图

Rake接收机的工作原理,如图2-4所示。该Rake接收机包含M个相关检测器,它们分别在M条支路上,同时各条支路的相关器具有不同的延时(t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>, ······t<sub>N</sub>)和加权因子(a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, ······a<sub>N</sub>)。由于用户信号的传播环境是时变的,因此各个延时和加权因子也必须及时地进行调整。

2.2.2 软切换

在移动台用户从一个小区移动到另一个小区的过程中,移动台用户通常需要经历切换的过程。切换是指移动台用户在小区边缘附近运动时,为了满足基站的目标信噪比要求,而对与之通信的基站进行相应选择的过程。

切换技术一般分为两种:硬切换和软切换技术。硬切换是指移动台用户在切换的过程中,首先会中断与原通信基站之间的链路连接,再与将要通信的基站建立链路进行通信,此过程中会出现短暂的中断。与硬切换不同,软切换是指在移动台用户切换的过程中,并不立即终止与原通信基站间的链路连接,而是在与将要通信的基站建立连接的同时保持原连接,此时用户与两基站同时进行通信,直至与新的通信基站间的链路稳定后, 才会中断原有的连接<sup>[41]</sup>。软切换比硬切换更具优势,它可以让移动台用户进行无间断的切换,有效地降低了移动台用户的掉话率,保证了通信质量的要求。



图 2-5 切换过程原理图

切换过程的原理如图2-5所示,从图中可以看出移动台用户的切换过程主要由3个部 分组成,包括测量信号的强度,判断是否满足切换准则和执行切换<sup>[42]</sup>。

## 2.3 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统比较

TD-SCDMA 与 WCDMA 都是第三代无线通信系统的标准,并且在中国它们分别被不同的运营商所使用。但是它们之间也存在着一定的差异,下面对它们间的一些关键特性进行比较。

WCDMA 系统采用频分双工技术,而 TD-SCDMA 系统采用的是时分双工技术。由于时分 双工系统上下行通信链路使用同一频点进行传输,不需要成对的频谱,因此 TD-SCDMA 系统能更有效地利用频谱资源,这对于稀缺的频谱资源带来了极大的益处。WCDMA 系统 的上下行链路通信必须使用成对出现的频谱,使得一些频谱资源不能被合理的使用,降 低了频谱的利用率。

TD-SCDMA 系统可以灵活地配置其上下行链路的时隙转换点,使系统帧结构中的上下 行链路时隙数的分配更有利于非对称业务的传输需求,而 WCDMA 系统并不具有这一优势。 同时为了更好地配合通信系统中的非对称业务的需求,TD-SCDMA 系统采用了智能天线, 联合检测等技术。WCDMA 通信系统所采用的带宽为 5MHz,而 TD-SCDMA 系统所采用的带 宽为 1.6MHz,因此 WCDMA 系统拥有更大的码片速率,为 3.84Mchip/s;而 TD-SCDMA 系 统码片速率为 1.28Mchip/s。TD-SCDMA 基站之间需要完全同步,从而保证移动台用户通 过上行链路发射的信号到达基站接收机时完全正交,从而减小用户间的多址干扰,增加 系统的容量;而在 WCDMA 系统中,基站之间没有同步要求。表 2-1 中列出了两个系统的 主要特性参数。

	TD-SCDMA	WCDMA	
系统带宽	1.6MHz	5MHz	
码片速率	1.28Mchip/s	3.84Mchip/s	
帧时隙数	7	15	
双工方式	时分双工	频分双工	
基站同步	同步	同步/异步	
接收技术	联合检测, 智能大线	Rake	
切换	接力切换	软切换	

表 2-1 TD-SCDMA 系统与 WCDMA 系统特性的比较

## 2.4 本章小结

本章主要讨论了 TD-SCDMA 通信系统所采用的一些关键技术,同时也对 WCDMA 通信 系统采用的一些关键技术进行了介绍,接着对 TD-SCDMA 系统与 WCDMA 系统的主要特性 参数进行了比较。

## 第三章 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统间的干扰分析

共存的通信系统因其使用的频段和双工模式的不同,它们间存在的相互干扰类型也 不相同。目前对已经投入使用的 3G 核心频段的共存干扰问题的研究已经相对较为成熟, 但对尚未投入使用的 3G 补充频段的共存研究相对较少。为了保证共存系统的性能,对 系统进行干扰分析是必不可少的。它是获得保证共存系统平稳运行所需附加隔离损耗要 求的基础,同时也是进行共存系统性能改善的重要依据。特别地,位于同一区域的两个 邻频系统间的共存干扰一般较大,对它的分析显得尤为重要。

本章将对尚未投入使用的WCDMA系统的补充频段与邻频共存的TD-SCDMA系统的核心 频段间的共存干扰问题进行分析研究。同时,使用确定性算法来分析两系统间的相互干 扰程度,获得TD-SCDMA与WCDMA系统共存及共站时系统所需的附加耦合损耗要求。

3.1 第三代移动通信系统的频率划分

根据中国工业和信息化部发布的《关于第三代公众移动通信系统频率规划问题的通知》<sup>[6]</sup>,可得到中国分配给第三代移动通信系统使用的频谱段,如图 3-1 所示。



从图 3-1 可以看出, TD-SCDMA 系统有三个可用的系统频段, 而 WCDMA 系统有两个对称的可用系统频段。对于两系统各自频段的使用可由表 3-1 来表示。

表 3-1 频段的使用情况

系统	核心频段	补充频段
TD-SCDMA	1880MHz~1920MHz, 2010 MHz~2025MHz	2300MHz~2400MHz
WCDMA	1920MHz~1980MHz/2110 MHz~2170MHz	1755MHz~1785MHz/1850MHz~1880MHz

如图 3-1 中所反映的, TD-SCDMA 系统所使用的核心频段 1880MHz~1920MHz 与 WCDMA 系统的补充频段 1850MHz~1880MHz,以及 1920MHz~1980MHz 的上行频段相邻。TD-SCDMA

-12-

系统所使用的其它频段与 WCDMA 系统使用的频段的频率相隔较大,因此有较大的频率保护带,使得它们系统间的干扰较小,而系统间的干扰主要发生在频率相邻的两系统之间。

WCDMA 系统的核心频段 1920MHz~1980MHz 与 TD-SCDMA 系统核心频段 1880MHz~1920MHz 共存干扰的研究已经比较成熟。而对于尚未投入使用的 WCDMA 系统的补充频段 1850MHz~1880MHz 与 TD-SCDMA 系统核心频段 1880MHz~1920MHz 间的干扰研究相对较少。因此本文主要研究 WCDMA 系统的补充频段 1850MHz~1880MHz 与 TD-SCDMA 系统核心 频段 1880MHz~1920MHz 间的干扰。

## 3.2 共存系统干扰产生的原因

发射过程中的干扰信号主要是由发射机的带外发射特性和杂散发射特性决定的。发 射机的非线性特性导致了在信号调制过程中产生带外发生信号。邻道泄漏功率比 ACLR(Adjacent Channel Leakage power Ratio)可以用来表征发射机的杂散发射特性。 它是指发射信号落入到相邻信道接收机通带内的能力,可用发射信号的功率与落入到相 邻频率信道上的测得功率之比来表示,也就是中心频率为载波频点处得到的输出功率与 中心频率在相邻信道频率频点得到的输出功率的比值。



图 3-2 典型发射机系统原理图

典型的发射机的系统原理图<sup>[43]</sup>,如图 3-2 所示。在发射机信号发射过程中,若发射 机射频前端的射频滤波器滤波特性不够理想,则会导致发射的有用信号中包含一些带外 干扰信号成分,从而造成对同一区域中的其它系统接收过程的干扰。

在接收机接收信号的过程中,过大的干扰信号会导致其灵敏度的损失,同时会出现 阻塞现象。邻信道选择因子 ACS (Ad jacent Channel Selectivity)反应了接收机的接收 特性。邻道选择因子是指接收机在受到邻频信号干扰时,其在用户信号频率上接收有用 信号的能力,其值为接收机在接收用户信号信道上的衰减与在接收相邻信道上的干扰信 号衰减之比。



图 3-3 典型接收机系统原理图

典型的接收机原理图<sup>[44]</sup>,如图 3-3 所示。在接收机信号接收过程中,若接收机的射 频前端接收滤波器特性不够理想,则会使接收的移动台用户的有用信号包含未被滤除的 干扰信号,造成接收用户有用信号的偏差。



图3-4 共存系统干扰原理图

共存系统的干扰原理图,如图 3-4 所示。发射单元的 ACLR 表征了干扰系统的发射 特性,而接收单元的 ACS 则代表了接收机的选择特性。可用邻信道干扰功率比 ACIR(Adjacent Channel Interference Ratio)来表示两者共同作用的影响,即系统整 体的特性可用 ACIR 来评价<sup>[45]</sup>。ACIR、ACLR 和 ACS 的关系如公式(3-1)所示。

$$ACIR = \frac{1}{\frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS}}$$
(3-1)

信号的载波间隔为传输信号的两载波频率中心间的距离,ACIR 的大小与干扰信号和 被干扰信号间的载波间隔有关。

## 3.3 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统间的干扰类型分析

对通信系统间共存的干扰分析,确定它们间存在的相互干扰类型是获得系统共存时

需要附加隔离损耗要求的前提,同时也是对共存系统性能进行分析的基础。不同工作模 式和频段的通信系统间存在的干扰类型是不同的,因此需要根据不同的通信系统进行具 体的分析。

本文分析的 TD-SCDMA 系统工作于核心频段 1880MHz~1920MHz; 而 WCDMA 系统工作 于尚未投入使用的补充频段上行频段 1755MHz~1785MHz,下行频段 1850MHz~1880MHz。 由于 WCDMA 系统的上行频段 1755MHz~1785MHz 与 TD-SCDMA 系统的频段 1880MHz~ 1920MHz 的频率间隔较大,也就是在这两个频段间有足够的频率保护间隔,因此这两个 频段间的干扰可以忽略。干扰主要发生在两个系统的相邻频段,即 WCDMA 系统的下行频 段 1850MHz~1880MHz 和 TD-SCDMA 系统所使用的 1880MHz~1920MHz 频段之间。



图 3-5 干扰类型示意图

两个系统间在共存及共站时可能存在的干扰类型示意图,如图 3-5 所示。实线箭头 代表两系统基站和移动台终端间所期望的通信,虚线箭头代表两系统间基站到移动台终 端、基站到基站以及移动台终端到移动台终端之间的干扰。

从图 3-5 可以看出,两系统在 1880MHz 相邻频点处,系统期望的通信链路有两种, 而系统间的干扰链路有四种。

两系统期望的通信链路有以下两种。

1) WCDMA 基站与 WCDMA 移动台间的下行链路, 为图 3-5 中1 所标注的链路。

2) TD-SCDMA 基站与 TD-SCDMA 系统移动台间的上行链路和下行链路,为图 3-5 中 2 所标注的链路。

两系统间的干扰通信链路有以下四种。

1) WCDMA 系统下行链路对 TD-SCDMA 系统基站的干扰链路。它通常是系统间的主要 干扰。

2) WCDMA 系统下行链路对 TD-SCDMA 系统移动台的干扰链路。

3) TD-SCDMA 系统下行链路对 WCDMA 系统移动台的干扰链路。

4) TD-SCDMA 系统上行链路对 WCDMA 系统移动台的干扰链路。

在四种干扰链路中,TD-SCDMA 与 WCDMA 系统的移动台和移动台之间以及基站和移动 台之间的干扰通常都比较小,反应两系统特性的 ACIR 便能满足抗干扰要求,而系统基 站之间的干扰为两系统间的主要干扰,需要采取相应措施以减小其对系统性能的影响。

3.4 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统间干扰的确定性算法分析

由上一小节的分析可知,TD-SCDMA 系统与 WCDMA 系统邻频共存时,系统间存在多种 干扰类型,为了确保两系统都能顺利的运行,必须保证系统间的附加隔离损耗要求得到 满足。

系统间的附加隔离损耗要求可以通过确定性算法分析得到。确定性算法的实现较为 简单,它主要是根据给定的系统参数,对两系统间的干扰情况进行评估,从而可以获得 系统共存或共站时,系统间所需要的附加隔离损耗,这其中还涉及到对信号的传播模型 进行合理的选择。

由于通信系统的基站不具有移动性,因此基站到基站间的干扰一般是确定的。这也 正是确定性算法能较好地应用于分析系统基站与基站间干扰的场景。

确定性算法是通过计算系统基站间的最小耦合损耗 MCL,并在最小耦合损耗的基础 上来分析共存及共站系统间的相互干扰的。它是在相邻频率信道最坏情况下,也就是干 扰的无线通信系统在以最大功率发射情况下,此时两系统间存在最大的干扰值,来从理 论上衡量被干扰系统所受的最大影响。系统基站之间的干扰分析采用这种方法较为合 适。

用确定性算法的分析 WCDMA 系统基站干扰 TD-SCDMA 系统的具体执行过程如下。

1)根据 3GPP TS25. 104 和 3GPP TS25. 105 协议获得确定性算法分析所需的 TD-SCDMA 和 WCDMA 系统的一些仿真参数<sup>[46,47]</sup>,如表 3-2 所示。

参数	TD-SCDMA 系统	WCDMA 系统
基站天线增益	11dBi	11dBi
接收机底噪	-108dBm	-103dBm
载波间隔	1.6MHz	5MHz
基站最人发射功率	34dBm	43dBm

表 3-2 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统的仿真参数

2) 获得反映 WCDMA 系统基站发射机干扰特性的邻信道泄漏功率比 (ACLR) 要求。

 $ACLR = P_{1} - E$ 

(3-2)

其中, P, 为干扰系统 WCDMA 发射机的最大发射功率, 可以由表 3-2 获得; E 为 WCDMA

系统发射机在 TD-SCDMA 系统所使用频段的杂散辐射要求。根据 3GPP TS25.105 协议规定可获得 WCDMA 系统的杂散辐射要求如表 3-3 所示。

共存/共站情况		WCDMA杂散要求	测量带宽
WCDMA宏蜂窝与	共存	-52 dBm	1MHz
TD-SCDMA宏蜂窝	共站	-96 dBm	100kHz
WCDMA微蜂窝与	共存	-71 dBm	100kHz
TD-SCDMA微蜂窝	共站	-88 dBm	100kHz

表3-3 WCDMA系统的杂散辐射要求

3)确定反映被干扰系统 TD-SCDMA 接收机特性的邻信道选择因子 (ACS)。

 $ACS = B - N_0$ 

其中, *B* 为被干扰的 TD-SCDMA 系统的基站接收机阻塞性要求, 根据 3GPP TS25.105 协议规定, 其在共存和共站时的要求都为-15dBm;  $N_0$ 为 TD-SCDMA 系统接收机的热噪声 底噪, 可由表 3-2 获得。

4) 根据获得的 ACLR 和 ACS, 通过公式 (3-1) 可以得到反映发射和接收系统综合抗 干扰特性的 ACIR。

5)确定 TD-SCDMA 系统所允许的最大干扰。

通常情况下,在对系统进行干扰分析时,一般假定系统接收机所允许的灵敏度恶化 值的范围在 0.2~1.5dB 之间。

$$ACL_{\max} = N_0 + 10\log(10^{\frac{\Delta S}{10}} - 1)$$
(3-4)

其中, ΔS 为系统接收机灵敏度的恶化值, ACL<sub>max</sub> 为系统接收机所受能承受的最大 干扰信号, N<sub>0</sub> 为被干扰系统 TD-SCDMA 基站接收机的热噪声底噪。

6) 确定 WCDMA 与 TD-SCDMA 系统间的最小耦合损耗要求 MCL。

$$MCL = P_t - ACIR - ACL_{max}$$
(3-5)

其中, P<sub>t</sub>为干扰系统 WCDMA 基站的最大的发射功率, ACIR 为相邻信道衰减, ACL<sub>max</sub> 为被干扰系统 TD-SCDMA 基站接收机在相邻信道上可承受的最大干扰。

7)确定 WCDMA 系统基站与 TD-SCDMA 系统基站间的附加隔离损耗要求。两系统共存和共站的情形需要分别讨论。

TD-SCDMA 与 WCDMA 系统共站情形讨论如下。

对于 TD-SCDMA 和 WCDMA 系统共站的情形, 根据 3GPP TS25.105 协议系统共站时的

(3-3)

耦合要求为 30dB。此时,两系统间的附加隔离损耗可由公式(3-6)获得。

$$A = MCL - 30 \tag{3-6}$$

TD-SCDMA 与 WCDMA 系统共存情况讨论如下。

$$A = MCL - (L - G_t - G_r) \tag{3-7}$$

其中, G,为干扰系统 WCDMA 基站的天线增益, G,被干扰系统 TD-SCDMA 基站的天线 增益,其值可由表 3-2 获得。L为干扰系统发射机与被干扰系统接收机间的路径损耗。 A 为两系统共存所需的附加隔离损耗要求。

假定两系统共存时,基站间的距离为100m,基站天线高度为30m。系统基站间的信 号传播模型采用双折线视距传播模型,如式(3-8)所示。

$$L(d) = \begin{cases} -27.56 + 20\lg(f) + 20\lg(d) & 1 < d < d_r \\ -27.56 + 20\lg(f) - 20\lg(d_r) + 40\lg(d) & d > d_r \end{cases}$$
(3-8)

其中, L(*d*) 为路径损耗, 单位 dB。*f* 为载波频率, 单位 MHz。*d* 为基站天线间的距离, 单位 m。*d*, 为是第一菲涅尔半径, *d*<sub>r</sub> = 4×*d*<sub>1</sub>×*d*<sub>2</sub> /  $\lambda$ , *d*<sub>1</sub>, *d*<sub>2</sub> 分别为两基站的天线 高度。

根据以上的分析,及表 3-2 和表 3-3 列出的两系统参数要求,可以获得 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统共存及共站时的附加隔离损耗要求,其值如表 3-4 所示。

		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					
		WCDMA 基站	TD-SCDMA 基站	ACTR/dBm	ACI/dBm	MCL/dB	附加隔离
		ACLR/dBc	ACS/dB				损耗/dB
宏	共存	93. 9	93	90. 42	110.07	66. 45	10. 53
唯窝	共站	127.9	93	93	-113. 87	63. 87	33. 87
徹	共存	93. 9	93	90. 4		66. 47	10. 55
蜂窝	共站	113. 9	93	93	-113.87	63. 87	33. 87

表3-4 WCDMA基站干扰TD-SCDMA基站所需的附加隔离损耗要求

从表 3-4 中的分析结果可以看出,两个无线通信系统共站时所要的附加隔离损耗比 它们共存时所需的值大,且宏蜂窝与微蜂窝对系统要求的附加隔离损耗影响不大。

## 3.5 本章小结

本章主要对 TD-SCDMA 系统与 WCDMA 系统间干扰产生的原因进行了分析,同时还分析 TD-SCDMA 系统与 WCDMA 系统共存时存在的干扰类型。并用确定性算法获得了 TD-SCDMA 系统与 WCDMA 系统共存及共站时,TD-SCDMA 系统所需要的附加隔离损耗要求。

## 第四章 功率控制对共存系统性能影响分析

由上一章对 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统共存干扰分析可知,共存系统不仅受到系统内的干扰,同时也受到共存系统间的相互干扰。特别地,共存干扰对邻频系统的影响 尤为突出,它会对共存系统的性能造成严重的损失。功率控制技术可以有效地抑制系统 所受的干扰,减轻共存干扰对系统性能产生的影响。

本章将研究系统共存对系统性能造成的影响,重点分析了共存干扰对系统容量和用 户通信质量的影响。同时,研究功率控制技术对系统共存问题的改善作用。

#### 4.1 共存对系统性能的影响

通信系统的性能通常体现在两个方面:系统容量和用户通信质量。无线通信系统的 容量是指系统所能承受负载的能力,即系统所能容纳的最大用户数。用户通信质量是由 用户的信噪比来保障的,并通过系统的误码率体现出来。

4.1.1 系统共存的仿真模型

TD-SCDMA 与 WCDMA 系统的小区配置情况如图 4-1 所示。为了清晰明了,仅给出了两 层结构中中心小区的基站分布情况。小区采用正六边形结构,基站天线采用全向天线, 两个系统的小区半径都为 R。由于随着基站间距离的增加,基站间的空间隔离度增大, 系统间的干扰减小。因此在分析两系统共存时,考虑两层的小区结构对于分析系统间的 干扰已经足够了,即分析 WCDMA 系统干扰 TD-SCDMA 系统时,可以采用两层结构的系统 小区模型,研究此时的共存干扰对系统性能的影响。



图 4-1 系统小区的配置图

图 4-1 中的数字 n 代表各个小区的编号。表 4-1 给出了小区中编号为 n 的 TD-SCDMA 系统基站的坐标。

基站编号 n	基站坐标(x <sub>n</sub> , y <sub>n</sub> )	基站编号 n	基站坐标(x <sub>n</sub> , y <sub>n</sub> )
0	(0, 0)	10	(3R, 0)
1	$(0, \sqrt{3} R)$	11	$(3R, -\sqrt{3}R)$
2	(1. 5R, $\sqrt{3}/2$ R)	12	$(1.5R, -3\sqrt{3}/2R)$
3	$(1.5R, -\sqrt{3}/2R)$	13	$(0, -2\sqrt{3} R)$
4	$(0, -\sqrt{3} R)$	14	$(-1.5R, -3\sqrt{3}/2R)$
5	$(-1.5R, -\sqrt{3}/2R)$	15	$(-3R, -\sqrt{3}R)$
6	$(-1.5R, \sqrt{3}/2R)$	16	(-3R, 0)
7	(0, $2\sqrt{3}$ R)	17	$(-3R, \sqrt{3}R)$
8	$(1.5R, 3\sqrt{3}/2R)$	18	$(-1.5R, 3\sqrt{3}/2R)$
9	$(3R, \sqrt{3}R)$		

表 4-1 TD-SCDMA 系统小区基站的坐标

假定在编号 0 小区中的 WCDMA 系统基站的坐标为  $(x_{w0}, y_{w0})$ , 由于两系统的小区的 配置情况一样,因此可以得到 WCDMA 系统各个小区基站的坐标  $(x_{wn}, y_{wn})$ 。

$$\begin{cases} x_{wn} = x_n + x_{w0} \\ y_{wn} = y_n + y_{w0} \end{cases}$$
(4-1)

由 WCDMA 系统各个小区基站的坐标 ( $x_{wn}$ ,  $y_{wn}$ ),即可获得 WCDMA 系统干扰基站 n 与 TD-SCDMA 系统被干扰中心基站间的距离  $R_n$ 。

$$R_n = \sqrt{\left(x_{wn} - x_0\right)^2 + \left(y_{wn} - y_0\right)^2} \tag{4-2}$$

4.1.2 系统共存对容量和信噪比的影响分析

移动台用户通常工作在两种状态:激活状态和非激活状态。激活状态的移动台用户 发射的信号对于其它移动台用户来说是干扰信号,进而会对系统共存时的性能产生影 响。

研究两无线通信系统的共存干扰问题,只用考虑处于激活状态的移动台。假定某一 特定时刻,在被干扰系统的一个小区中有 N 个移动台处于激活状态。由于通信系统为码 分多址系统,因此,对于特定的某移动台来说,它受到来自小区中其它 N-1 个移动台的 同频干扰。

在小区中,基站接收到的本小区移动台信号的比特能量为E,。

$$E_b = \frac{P_{ri}}{R}$$

(4-3)

其中, P<sub>ri</sub>为小区中基站接收到来自本小区中第i个移动台用户的信号功率, R为用 户的数据比特数率。

基站在接收移动台用户i的有用信号的同时,也接收到相对于移动台用户i来说的小 区内干扰信号。它是来自小区中其它 N-1 个移动台用户产生的干扰 I<sub>intra</sub>。

$$I_{intra} = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^{N-1} v P_{ri}$$
(4-4)

其中, W 为码片速率, TD-SCDMA 系统的码片速率为 1.28Mchip/s, WCDMA 系统的码 片速率为 3.84Mchip/s; v为移动台用户的话音激活因子,其值通常为 0.4~0.6; P<sub>r</sub>为 小区中基站接收到的来自本小区移动台用户的信号功率,它是除用户*i*外的其它 N-1 个 用户的信号功率。

基站接收机的热噪声功率谱密度为No。

$$N_0 = kT + N_f \tag{4-5}$$

其中, k 为波耳兹曼常量, 其值为1.380662×10<sup>-23</sup>; T 为绝对温度, 其值为 290K;  $N_f$  为基站接收机的热噪声系数, 其典型值为 5dB; 热噪声功率可由  $N_0W$  获得, 其中W 为系统的码片速率<sup>[48]</sup>。

假定在系统中上行链路的功率控制过程是理想的,则基站接收机接收的各移动台用 户信号功率相等,即 $P_{ri} = P_{r}$ ,  $i \in 1, 2, \dots, N$ 。在不考虑其它外系统干扰的情况下,基站 接收的总干扰为 $I_{total}$ 。

$$I_{total} = I_{intra} + N_0 = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^{N-1} \nu P_{ri} + N_0$$
(4-6)

由于理想的功率控制,基站接收到的移动台用户功率都为 P, ,因此式 I<sub>total</sub> 可进一步用下式来表示。

$$I_{total} = \frac{1}{W} v(N-1)P_r + N_0$$
(4-7)

则小区中基站接收机接收到的各个移动台用户的信噪比 E<sub>b</sub> / I<sub>total</sub> 可用公式(4-8)表示。

$$\frac{E_b}{I_{total}} = \frac{W}{R} \bullet \frac{P_r}{N_0 W + v(N-1)P_r} = \frac{GP_r}{N_0 W + v(N-1)P_r}$$
(4-8)

其中 G 为处理增益,其值为W/R。由公式(4-8)可以获得小区的系统容量即移动台 用户数 N。

$$N = 1 + \frac{G}{(E_b / I_{total}) \bullet v} - \frac{N_0 W}{v P_r}$$
(4-9)

同时基站接收的用户信号功率 P, 可表示为

$$P_{r} = \frac{(E_{b} / I_{total})N_{0}}{\frac{1}{R} - \frac{v(N-1)(E_{b} / I_{total})}{W}}$$
(4-10)

在单小区的基础上,进一步考虑来自本系统中的其它小区带来的干扰 $I_{inter}$ 的影响,此时引入其它小区的干扰因子f,其值通常为 0.5~1.2。则其它小区带来的干扰为 $I_{inter} = f \bullet I_{inter}$ 。系统内部的干扰 $I_{his}$ 为

$$I_{this} = I_{intra} + I_{inter} = \frac{1}{W} \nu (1+f)(N-1)P_r$$
(4-11)

则公式(4-8)可改写为

$$\frac{E_b}{I_{total}} = \frac{GP_r}{N_0 W + v(1+f)(N-1)P_r}$$
(4-12)

若在单一系统的情况下,再加入与之共存的邻频无线通信系统,此时需要考虑该邻频系统带来的邻频干扰 *I*<sub>where</sub>。

由上一章对 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统间的干扰类型分析可知,当两个系统共存时, WCDMA 系统对 TD-SCDMA 系统的干扰主要为 WCDMA 系统基站干扰 TD-SCDMA 系统,而 WCDMA 系统的上行链路频段与 TD-SCDMA 系统的频段间隔较大,WCDMA 系统移动台用户产生的干 扰可以不用考虑。因此,两系统共存时,系统间的干扰仅用考虑 WCDMA 系统基站对 TD-SCDMA 系统的影响。

邻频干扰 *I*<sub>others</sub> 可用公式(4-13)表示。*I*<sub>others</sub> 主要由 WCDMA 系统基站发射机的发射特性、TD-SCDMA 系统接收机的选择特性、以及 WCDMA 系统的干扰基站与 TD-SCDMA 系统被干扰基站之间的距离来决定的。其中发射机与接收机的特性可综合地用 ACIR 来表示。

$$I_{others} = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^{M} P_{brj} \tag{4-13}$$

-23-

其中, M 为与被干扰的 TD-SCDMA 系统基站相邻的 WCDMA 系统基站的数目。由于本文 分析的是如图 4-1 所示的两层结构的小区系统,此时 M 的取值为 19。 P<sub>bri</sub>为 TD-SCDMA 系统基站接收机接收到的与之相邻的第 j 个 WCDMA 系统基站发射的信号功率。

$$P_{bri} = P_{bvcdma} + G_{wcdma} + G_{id-scdma} - ACIR - L_i$$
(4-14)

其中,  $P_{twedma}$  为 WCDMA 系统基站的发射功率;  $G_{wedma}$  和  $G_{id-sedma}$  分别为 WCDMA 和 TD-SCDMA 基站的天线增益,其值都为 11dBi; ACIR 为反映两系统基站发射和接收特性 的邻信道道干扰功率比;  $L_j$  为 WCDMA 系统基站 j 到被干扰的 TD-SCDMA 系统基站间的路 径损耗,其传播模型可采用 3.4 小节中的双折线视距传播模型,而干扰基站与被干扰基 站间的路径距离可由 4.1.1 小节的分析得到。

此时,公式(4-12)表示的信噪比可进一步用公式(4-15)表示。

$$\frac{E_b}{I_{total}} = \frac{GP_r}{N_0 W + v(1+f)(N-1)P_r + \sum_{j=1}^M P_{brj}}$$
(4-15)

从公式(4-15)可以看出共存的 WCDMA 系统带来的干扰  $\sum_{j=1}^{M} P_{bj}$  将减小 TD-SCDMA 系统的信噪比。

由公式(4-15)可以获得在 WCDMA 系统干扰下的 TD-SCDMA 系统的容量,即 TD-SCDMA 系统小区中激活的用户数 N,如公式(4-16)所示。

$$N = 1 + \frac{G}{v(E_b / I_{total})(1+f)} - \frac{N_0 W + \sum_{j=1}^M P_{brj}}{v(1+f)P_r}$$
(4-16)

由公式(4-16)可知,WCDMA 系统的干扰  $\sum_{j=1}^{M} P_{bj}$  会使 TD-SCDMA 系统的小区用户数减小,即降低了系统的容量。

4.1.3 信噪比对共存系统通信质量的影响分析

为了更好的研究信噪比对共存系统通信质量的影响,需要对扩频通信系统的发射和 接收过程进行介绍。



图 4-2 扩频通信系统发射原理图

扩频通信系统的发射过程如图 4-2 所示。发端数据首先变换为复数数据,再经过扩 频和加扰生成复数码片序列,接着通过实部和虚部分离形成 I 路和 Q 路信号。它们分别 经过脉冲成形滤波、载波相乘,最后由加法器对 I 路和 Q 路信号合成 *s*(*t*)。

$$s(t) = \operatorname{Re}\{d(t)\}\cos(wt) - \operatorname{Im}\{d(t)\}\sin(wt)$$
(4-17)

其中, d(t)为扩频、加扰后数据,可由公式(4-18)来表示。

$$d(t) = d_n(t)C(t)m(t)g(t)$$
(4-18)

其中,  $d_n(t)$  复数数据; C(t) 为扩频码; m(t) 为扰码; g(t) 为脉冲成形滤波器的冲击响应。



图 4-3 扩频通信系统接收原理图

图 4-3 给出了扩频通信系统的接收过程。接收的信号 y(t) 由 s(t) 和干扰信号 n(t) 组 成。在邻频共存的系统中, n(t) 含有较强的共存干扰信号。接收的信号 y(t) 通过载波相 乘、脉冲成形滤波、I 路和 Q 路信号合并,再通过解扰、解扩得到复数数据,最后由复 数数据可获得接收端的数据。系统在解扰和解扩前接收的信号为 r(t)。

$$r(t) = r_{i}(n) + jr_{0}(t)$$
(4-19)

式中

$$\begin{cases} r_{I}(t) = \operatorname{Re}\{d_{n}(t)C(t)m(t)\} + \{(n(t)\cos(wt))^{*}g(t)\}|_{t=nT_{c}} \\ r_{O}(t) = \operatorname{Im}\{d_{n}(t)C(t)m(t)\} - \{(n(t)\sin(wt))^{*}g(t)\}|_{t=nT_{c}} \end{cases}$$
(4-20)

在整个扩频通信系统的收发过程中,可以通过对比在不同信噪比下收端数据与发端 数据间的差别,来确定信噪比对系统误码率的影响。



图 4-5 系统接收过程

在信噪比值为 6dB 时,系统发射和接收过程的信号变化分别如图 4-4 和图 4-5 所示。 原数据的 4 种可能数据值代表了 QPSK 调制中的 4 种相位。扩频与解扩过程中使用的扩 频序列为扩频因子为 8 的 0VSF 序列。脉冲成形滤波采用的是滚降系数为 0.22 的根升余 弦滤波器。通过对比接收数据与原数据,可以看出此时出现了 3 个数据点的差错。

QPSK 数字调制系统的误码率与信噪比的理论关系可用公式(4-21)来表示。

$$P \approx 2Q(\sqrt{2r})(1 - \frac{1}{2}Q(\sqrt{2r}))$$
 (4-21)

其中, r 为系统接收信噪比。 Q(x) 可表示为

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x}^{\infty} e^{-t^{2}/2} dt \quad , x \ge 0$$
(4-22)



图 4-6 系统的误码率与信噪比的关系

系统误码率与信噪比的关系如图 4-6 所示。可以看出在相同的信噪比情况下,实际 仿真过程的误码率比理论值大,且系统的误码率随着信噪比的增大而减小,因此可以通 过提升信噪比来改善共存系统的通信质量。

#### 4.2 功率控制对系统共存性能的改善

码分多址通信系统存在着远近效应。它是指在同一小区中,假如移动台用户都以相同的功率发射信号,由于小区中各个移动台用户位置的随机性,它们到基站的距离是不相同的,因此它们到基站的路径损耗也各不相同,从而导致基站接收到的移动台用户信号功率不相同。基站接收较近的移动台用户强信号将对位于距基站较远的移动台用户产生强干扰,从而导致通信链路质量的下降,影响移动台用户的通话<sup>(49)</sup>。如图 4-7 所示为远近效应的示意图。



图 4-7 远近效应

同时在码分多址通信系统中也存在着边缘效应。由于系统中小区边缘的移动台用户 接收的有用信号功率较小,并且还易受到相邻小区以及共存系统的干扰,从而造成用户 下行通信链路质量降低,干扰严重时甚至出现掉话现象。

在系统的上行通信链路中,通过功率控制,使得小区中随机分布的移动台用户发射 的信号到达基站接收机时,在满足目标信噪比要求的情况下,基站接收的各移动台用户 信号的功率相同,从而有效地避免了由于距离不同引发的远近效应。在系统的下行通信 链路中,通过功率控制,可以使得小区中基站发射的信号功率刚好满足位于各处的移动 台用户目标信噪比要求,这可以减小小区间的边缘效应。

由于功率控制技术能有效地抑制远近效应和边缘效应,减小系统所受的干扰,因此 可以用功率控制技术改善共存系统的性能。假定功率控制因子为ξ,则公式(4-15)表示 的信噪比可用公式(4-23)表示。

$$\frac{E_b}{I_{total}} = \frac{GP_r}{N_0 W + \nu (1+f)(N-1)(P_r/\xi) + \sum_{j=1}^M P_{brj}}$$
(4-23)

从公式(4-23)可以看出,提高功率控制技术的功率控制因子,能增大信噪比,从 而改善用户的通信质量。对公式(4-23)进行变换,可获得系统容量,即小区中激活的移 动台用户数 N。

$$N = 1 + \frac{G\xi}{\nu(E_b / I_{total})(1+f)} - \frac{(N_0 W + \sum_{j=1}^M P_{brj})\xi}{\nu(1+f)P_r}$$
(4-24)

公式(4-23)和公式(4-24)说明了功率控制技术与共存系统性能的关系。可以通 过改进功率控制过程中采用的功率控制算法来改善功率控制因子,达到提高共存系统性 能的目的。

功率控制技术在改善共存系统性能的同时,它还能有效地降低移动台用户的发射信 号功率。因为在上行链路的功率控制过程中,移动台用户尽可能地使用最小的发射功率 去满足基站接收机的目标信噪比要求,从而减小移动台用户的功率损耗,增加了电池的 使用寿命。

#### 4.3 仿真结果分析

根据 4.1 小节所述的 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统共存的仿真模型和系统共存对系统性能的影响分析,以及 4.2 小节功率控制技术对共存系统性能的改善研究,用 Matlab 进行仿真分析。

系统共存仿真过程中的一些关键参数的取值如表 4-3 所示。

参数	取值
数据比特率	12. 2kbps
TD-SCDMA 系统码片速率	1.28Mchip/s
邻区干扰因子	0. 67
话音激活因子	0. 5
热噪声系数	5dB
目标信噪比	6dB
WCDMA 系统基站数目	19
基站天线增益	11dBi

表 4-3 仿真参数取值

#### 1) 共存对系统性能的影响

如图 4-8 所示,它说明了 TD-SCDMA 系统在有无邻频共存的 WCDMA 系统干扰情况下, TD-SCDMA 系统的容量随系统基站接收到的本小区中移动台用户信号功率的变化关系。



图 4-8 WCDMA 系统干扰对 TD-SCDMA 系统容量的影响

从上图可以看出,在基站接收移动台用户功率相同的情况下,由于共存系统的干扰 影响,TD-SCDMA 系统能容纳的用户较少,但随着 TD-SCDMA 系统基站接收到移动台用户 有用信号功率的增大,这种影响逐渐减小。



图 4-9 共存干扰对系统信噪比影响

图 4-9 为共存干扰对 TD-SCDMA 系统接收信号信噪比的影响。可以看出随着共存干扰的增大,TD-SCDMA 系统接收的信噪比减小,这将导致系统误码率的增大,降低了用户的通信质量。

2) 功率控制对共存系统性能的改善

功率控制对小区用户数的影响如图 4-10 所示。它反映了功率控制技术的性能对 TD-SCDMA 系统小区容量的作用。



图 4-10 功率控制对小区用户数的影响

图 4-10 对比了上行链路为理想功率控制以及功率控制因子为 0.7 和 0.8 时, TD-SCDMA 系统小区容量的变化。在基站接收移动台用户功率相同的情况下,随着功率控 制因子的增大,即功率控制过程性能的改善,系统小区容量也随之增加。当系统的功率 控制过程为理想功率控制时,即功率控制因子为1时,系统小区容量能获得其最大值。 因此,可以通过改进决定功率控制性能的功率控制算法来提高共存系统容量。



图 4-11 功率控制对信噪比的影响

图 4-11 说明了功率控制对共存系统中接收信噪比的影响。可以看出在基站接收移 动台用户功率相同的情况下,随着功率控制性能的改善,系统接收的信噪比也随之增加。 因此可以通过改善系统的功率控制性能来提高信噪比值,从而提高用户的通信质量。

## 4.4 本章小结

本章主要分析了 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统共存时,共存干扰对 TD-SCDMA 系统性能的 影响。这些影响主要体现在被干扰系统的容量和信噪比上。同时,也研究了功率控制技 术对共存系统性能改善作用。

## 第五章 对影响共存系统性能的功率控制技术改进

由上一章的分析可知,TD-SCDMA 与 WCDMA 系统的共存干扰对系统性能的影响 十分显著,而通过改善功率控制技术可以明显地减小共存干扰对系统性能造成的损失。 功率控制技术的性能是由功率控制算法决定的,因此可以通过改善功率控制算法来提高 共存系统的性能。

本章将对共存系统性能影响较大的功率控制技术进行研究。介绍码分多址通信系统 中所采用的功率控制技术,同时分析已有的典型功率控制算法,并在此基础上对其进行 改进。

#### 5.1 功率控制技术的分类

功率控制技术若从控制的原理过程来分,一般包括开环功率控制和闭环功率控制, 其中闭环功率控制又分为内环功率和外环功率控制<sup>[50]</sup>。

功率控制技术若从功率调整的对象来分,可分为上行链路功率控制技术和下行链路 功率控制技术。上行链路的功率控制主要用于调整移动台用户的发射功率,而下行链路 的功率控制主要用于调整基站的发射功率。

5.1.1 开环功率控制

开环功率控制技术主要用于上行链路功率控制过程,应用在移动台用户的初始接入 过程<sup>[61]</sup>。在移动台用户接入系统的过程中,它首先根据接收到的小区中基站的导频信号 功率,调整其初始发射功率,若接收到的导频信号功率较小,则说明基站与用户间的路 径损耗较大,则需要一个较大的初始发射功率,反之,则使用较小的发射功率,从而保 持所有的移动台发射的初始功率在到达基站接收机时保持一个合理的功率值。在开环功 率控制过程中假定系统的上行链路和下行链路的路径损耗相同。开环功率控制过程原理 可用公式(5-1)表示。

$$P_{mt} = P_{bt} - P_{mr} + P_{br} \tag{5-1}$$

其中, P<sub>mt</sub> 为移动台用户的初始发射信号功率; P<sub>bt</sub> 为基站的导频信号的发射功率; P<sub>mr</sub> 为移动台用户接收到的基站发射的导频信号功率; P<sub>bt</sub> 为移动台用户为满足基站接收机 要求的目标信噪比所发射的信号功率。

-32-



图 5-2 上行链路开环功率过程

如图 5-2 所示,为上行链路开环功率控制过程的原理图。在开环功率控制过程中, 由于不需要基站提供的反馈信息,因此开环功率控制过程不需要太多的时间,受信道变 化速度的影响较小。但同时由于不需要反馈信息,也使得功率控制过程不够精确。

开环功率控制对频分双工的通信系统的功率控制过程不是很理想,因为频分双工系统的上行链路和下行链路使用不同的频率信道。对于不同的频率,虽然信号经过的路径一样,但它们的路径损耗却是不相同的,从而使得移动台用户根据基站发射的导频信号测量的路径损耗值与实际的上行链路的路径损耗值之间存在偏差,导致移动台用户在初始其发射信号功率时不够精确。

5.1.2 内环功率控制

内环功率控制技术可以用来弥补开环功率控制过程中功率控制不够精确的问题。内 环功率控制是一种快速的功率控制,它可以用来抑制无线通信系统中的快衰落现象和减 小系统内移动台用户所受的干扰,从而提高系统的容量,在整个功率控制过程发挥着关 键作用。

内环功率控制根据功率调整的对象不同,可分为上行链路及下行链路的闭环功率控制<sup>[sz]</sup>。下行链路的闭环功率控制通过调整基站的发射功率,将小区中的移动台用户接收的基站信号功率置为相同的值,从而克服来自其它小区的干扰,达到抑制小区的边缘效应目的。上行链路的闭环功率控制通过调整移动台用户的发射功率,将基站接收的小区中移动台用户的功率置为相同的值,同时满足基站接收机的最小目标信噪比要求,从而克服小区内移动台间的干扰,达到抑制小区的远近效应,并且降低移动台用户的发射功率的目的。因此,通过内环功率控制技术,可以有效地改善移动台用户的通信服务质量,并且提高无线通信系统的容量。

由于码分多址系统的上行链路的系统容量和下行链路的系统容量是不同的<sup>[63]</sup>。通 常,码分多址系统的上行链路系统容量小于下行链路系统容量,因此码分多址系统的容 量是由上行链路系统容量决定的,本文主要研究的是对 TD-SCDMA 系统上行链路系统容 量起关键作用的上行链路的功率控制过程。如图 5-3 所示,为码分多址系统的上行链路 的闭环功率控制过程。



图 5-3 上行链路内环功率控制过程

从图 5-3 可以看出,基站对小区中的移动台用户的业务信道的信号功率进行检测, 并测量其信噪比值,然后用它与基站设定的目标信噪比值进行比较,进而根据比较的结 果调整移动台用户发射功率。若基站接收到的移动台用户信噪比低于目标信噪比,则传 输控制指令使移动台用户增大其发射功率;反之,则传输控制指令使移动台用户减小其 发射功率。

在无线通信系统中,由于信号传播的信道是时变的,信道的衰落特性也是时变的。 系统的内环功率控制过程的速度必须能跟上信道衰落变化的快慢,若功率控制的速度跟 不上信道衰落的变化,则会产生功率控制的偏差,造成系统容量的损失,因此,在系统 功率控制过程,其收敛特性必须满足信道的快衰落特性,达到移动台用户的信噪比要求, 从而保证移动台用户的通信质量。内环功率控制的收敛性是由其所采用的功率控制算法 决定的。

5.1.3 外环功率控制

外环功率控制是一种慢速功率控制,它可以用来补偿无线通信信道的慢衰落变化特性。外环功率控制用于调整基站的内环功率控制过程中目标信噪比门限值,使其保持在一个合理的数值<sup>[54]</sup>。若设定的目标信噪比值较低,虽然系统此时的容量可获得较大的值,但移动台用户的通信质量较差;若目标信噪比值较高,则移动台用户需要发射较大的信号功率,这会对其它的移动台用户产生大的干扰,使得系统的容量减小。因此,需要根据移动台用户的传输质量要求,设定合理的基站目标信噪比值。



图 5-4 外环功率控制过程

如图 5-4 所示,为外环功率控制过程的原理图,可以看出它主要是由基站与无线网 络控制器件实现的。在外环功率控制过程中,基站传输给无线网络控制器的信息中包含 了移动台用户的帧可靠信息,无线网络控制器对此信息进行块误码率 BLER(Block Error Rate)的检测,并与具体业务的块误码率要求进行比较,进而对基站的目标信噪比值进 行相应的调整。

5.2 上行链路内环功率控制

在无线通信系统中,内环功率控制是整个功率控制过程的核心组成部分,其特性决定了整个功率控制过程的性能。而上行链路功率控制过程通常比下行链路功率控制过程 对无线通信系统的性能影响大,因此为了提高无线通信系统共存时的性能,对上行链路 内环功率控制过程的研究显得十分必要。

5.2.1 影响上行链路内环功率控制的因素

在无线通信系统中,上行链路内环功率控制包括基站从移动台用户传输的信息中提 取测量信息,用于测量其信噪比,然后根据功率控制算法产生功率控制指令,传输控制 指令对移动台用户下次发射功率进行调整。在这一过程中,功率控制的性能受到多种因 素的影响。

1)延时,在闭环功率控制中的延时主要是由功率控制算法的性能决定的。延时包括信噪比的测量过程,无线信道中传输包含信噪比控制信息的过程,以及根据功率调整控制信息调整基站或移动台用户发射功率的过程。可以看出发射功率的调整是根据上一次测量的信噪比信息进行的,假若在调整过程中,外界的干扰发生较大的变化,将导致功率控制的不精确。

2) 信噪比的估计,基站接收机在估计接收移动台用户信号的信噪比时,并不能完 全精确的获得其值,它会存在一些估计误差。增加测量的次数可以减小这种误差,但会 造成更长的延时。 3)反馈信息的准确性,基站接收机由接收的移动台用户信息测量其信噪比,在一定程度上反映了移动台用户和接收机间的信息交换。测量的信噪比代表了基站与移动台用户间的反馈信息,它通常包含在移动台用户的传输信息位中。用于测量信噪比位的开销影响了信噪比测量的精确性,也就是说功率控制过程中反馈信息的准确性受到测量信噪比位开销的影响。

5.2.2 功率控制算法的反馈信息

在上行链路内环功率控制过程中,需要一些测量的反馈信息来调整移动台用户的发 射功率,达到基站接收信噪比平衡的目标。可用于功率控制过程的反馈信息主要有:发 射机与接收机间的距离,基站接收机接收到的移动台用户发射信号的信噪比,基站接收 机接收到的移动台用户的信号功率大小,以及基站接收机接收到的移动台用户信号误码 率。

在可用的测量反馈信息中,以测量的信噪比作为反馈信息的功率控制性能最佳。若 测量的移动台用户的信噪比低于目标信噪比,则增大该用户的发射信号功率;反之,则 减小该用户的发射信号功率。

信噪比平衡的概念最初是在卫星通信系统中提出来的,它是一个求解特征值的问题。它能明显的提高无线扩频移动通信系统的容量,因此在无线扩频通信系统中也得到 了广泛的应用。

#### 5.3 上行链路内环功率控制技术的改进

功率控制过程采用的功率控制算法的优劣决定了功率控制技术的性能。本小节将对 功率控制算法进行研究改进。

5.3.1 功率控制算法的改进

假定 M 个移动台用户随机均匀分布在无线通信系统的小区中,在基站接收移动台用 户信号的同时,考虑基站接收机的热噪声和共存系统的干扰。基站接收移动台用户的信 噪比可用公式(5-2)来表示。

$$r_{i} = \frac{g_{ii} p_{i}}{\sum_{j=1, j \neq i}^{M} g_{ij} p_{j} + N_{0} + I_{others}}, \quad i = 1, 2, \cdots, M$$
(5-2)

其中, r<sub>i</sub>为基站接收机接收到的移动台用户i的信噪比, g<sub>ii</sub>代表移动台用户 j 和基站 i 之间的上行链路增益, p<sub>i</sub>代表移动台用户 i 的信号发射功率, N<sub>0</sub>为基站接收机的热噪声功率, I<sub>ahrr</sub>为系统共存时其它系统带来的干扰。

为了使无线通信系统中的移动台用户获得良好的通信质量要求,接收机接收到的移

动台用户信号的信噪比必须满足公式(5-3)的要求。若移动台用户的信噪比要求不能满 足公式(5-3),则该移动台用户处于掉话状态。

$$r_i \ge r_{target} \qquad i = 1, 2, \cdots, M \tag{5-3}$$

其中, r<sub>target</sub> 为基站接收机接收移动台用户信号的目标信噪比要求, 这里假定小区中 所有的移动台用户都处于相同的业务服务, 因而它们具有相同的目标信噪比值 r<sub>target</sub> 。

假定可以获得无线通信系统中的所有链路增益g<sub>y</sub>,且各个移动台用户的目标信噪比相等,都为r<sub>/arret</sub>,则公式(5-2)可用向量公式(5-4)来表示。

 $AP = b, \qquad P = [p_1, p_2, \cdots, p_M]^T$  (5-4)

其中,矩阵 A 是 M×M 阶的,其中的各个元素为 $a_{ij} = -r_{rarget}g_{ij} / g_{ii}, i \neq j$ 或 $a_{ij} = 1, i = j$ ;  $b = r_i (N_0 + I_{others}) / g_{ii}$ ; 向量 P 为各个移动台用户信号的发射功率向量。矩阵 A 和向量 b 分别如公式(5-5)和(5-6)所示。



通过公式(5-3)和(5-4)即可实现无线通信系统的功率控制过程。在此过程中,需要获得系统中所有移动台用户和基站之间的链路增益g<sub>y</sub>,这种功率控制方法称为集中式功率控制。由于要获知所有的移动台用户的链路增益,增加了测量时间和网络中数据传输负荷,因而加剧了这种功率控制方法的复杂度。

分布式功率控制过程与集中式功率控制过程不同,它利用基站接收机接收的包含链

路增益信息的信噪比估计值对各个移动台用户进行功率控制,从而有效地避免了集中功 率控制过程中需要获得所有链路增益所带来的问题。

分布式功率控制过程通过在一系列的离散时间上估计基站接收机接收的各个移动 台用户信号的信噪比值,来进行功率控制,如公式(5-7)所示。

$$r_i(k) = \frac{E\{p_i(k)\}}{E\{p(k) - p_i(k)\}}, \qquad i = 1, 2, \cdots, M; k = 1, 2, \cdots$$
(5-7)

其中, k为功率控制迭代过程中基站接收机进行信噪比值估计的离散时刻,其取值 一直持续到移动台用户的整个通信过程。r<sub>i</sub>(k)为基站接收机对移动台用户i的信噪比估 计值。p<sub>i</sub>(k)为基站接收机接收到的用户i的信号功率。p(k)为基站接收机接收到的总功 率。

Jens Zander 等人提出了一种分布式功率控制算法,它不用获得各个移动台用户的 无线通信链路增益,减小了功率控制过程的复杂度。在此功率控制过程中仅用获得各个 移动台用户的信噪比估计值即可,通过这些信噪比值来计算移动台用户下次的发射功 率,从而实现系统中各个移动台用户的信噪比平衡。

$$P(k+1) = c(k)(1 + \frac{1}{r(k)})P(k)$$
(5-8)

该功率控制算法可用公式(5-8)来表示。其中,  $c(k) = \frac{1}{\sum_{i} P_i(k)}$ ,  $P_i(k)$ 为移动台用户

*i* 在功率控制迭代过程第 k 次的发射功率; *r*(k) 是在第 k 次迭代中,基站接收机对各个移动台用户信号的信噪比估计值向量。*P*(k) 和 *P*(k+1) 分别为在第 k 和 k+1 次迭代中各个移动台用户的信号发射功率向量。

将公式(5-8)改写为矩阵乘法的形式,如公式(5-9)所示。

P(k+1) = c(k)AP(k) (5-9)

其中,矩阵 A 的特征值大小反映了整个功率控制算法的收敛特性。特征值越小,则 算法的收敛性越好。

Grandhi 等人在此基础上提出了一种 DCPC 算法, 它比此前的算法的收敛性更好。该算法如公式(5-10)所示。

$$P(k+1) = c(k)(\frac{1}{r(k)})P(k)$$
(5-10)

其中,  $c(k) = \frac{1}{\max\{p_i(k)\}}$ , 该算法的收敛性取决于矩阵(A-1)的特征值。显然(A-1)

的特征值比 A 的特征值小,可以确定由(5-10)确定的功率控制算法的收敛特性比 Jens Zander 等人的方法好<sup>[55]</sup>。

在实际的上行链路功率控制过程中,移动台用户的信号发射功率通常都有附加的限 制条件,即用户的信号发射功率必须在某个特定范围内,如公式(5-11)所示。

$$0 \le p_i(k) \le p_{\max}, \quad i = 1, 2, \cdots, M$$
 (5-11)

其中, p<sub>max</sub> 为无线通信系统中限定的移动台用户的最大发射功率。在限定了移动台 用户信号发射功率的最大值后,由公式(5-10)确定的功率控制过程可用公式(5-12)来表 示。

$$p_i(k+1) = \min\{p_{\max}, \max\{0, \bar{p}_i(k)\}\}, \quad i = 1, 2, \cdots, M$$
 (5-12)

其中, 
$$\bar{p}_i(k) = \frac{1}{\max\{p_i(k)\}} \cdot \frac{1}{r(k)} p_i(k)$$
.

Jantti 和 Kim 等人提出了一种上行链路功率控制方法 CSOPC(Constrained Second-Order Power Control)<sup>[56]</sup>。在该功率控制过程中对于下一个(k+1)时刻的功率更 新不仅需要上一个 k 时刻移动台用户信号的发射功率值,同时也需要(k-1)时刻的功率 值。该功率控制过程如公式(5-13)所示。

$$p_i(k+1) = w(k) \frac{r_{i \text{ arg et}}}{r_i(k)} p_i(k) + (1 - w(k))p_i(k-1)$$
(5-13)

若在功率控制过程中考虑移动台用户信号最大发射功率的限制,则由式(5-13)确定 的功率控制过程可用公式(5-14)来表示。

$$p_i(k+1) = \min\{p_{\max}, \max\{0, \bar{p}_i(k)\}\}, \quad i = 1, 2, \cdots, M$$
 (5-14)

其中,  $\bar{p}_i(k) = w(k) \frac{r_{iarget}}{r_i(k)} p_i(k) + (1 - w(k)) p_i(k-1); w(k) 为一个递减序列; <math>p_{max}$  为移动台用户信号发射功率  $p_i(k)$  的最大值。

本文在 CSOPC 算法的基础上进行改进,该算法可用公式(5-15)所示。

$$p_i(k+1) = \frac{r_{target}}{r_i(k)} (w(k)p_i(k) + (1 - w(k))p_i(k-1))$$
(5-15)

若在功率控制过程中考虑移动台用户最大发射功率的限制,则由公式(5-15)确定的 功率控制算法可用公式(5-16)来表示。

$$p_i(k+1) = \min\{p_{\max}, \max\{0, \overline{p}_i(k)\}\}, \quad i = 1, 2, \cdots, M$$
 (5-16)

其中, 
$$\bar{p}_i(k) = \frac{r_{iarget}}{r_i(k)} (w(k)p_i(k) + (1 - w(k))p_i(k - 1)); w(k) 为一个递减序列; p_{max} 为$$

移动台用户发射功率 p<sub>i</sub>(k) 的最大值。

本文改进后的上行链路内环功率控制算法的收敛性的证明如下。由 CSOPC 的算法可获得如下关系。

$$\lim_{k \to \infty} p_i(k) = p_i \tag{5-17}$$

$$\lim_{k \to \infty} r_i(k) = r_{i \, \text{arge}i} \tag{5-18}$$

并且w(k)是单调有界的,因此也可以获得公式(5-19)。

$$\lim_{k \to \infty} w(k) = w \tag{5-19}$$

因此可以构造如公式(5-20)的数列。

$$b(k) = \frac{r_{i \, \text{arget}}}{r_i(k)} (w(k)p_i(k) + (1 - w(k))p_i(k - 1))$$
(5-20)

由数列极限的特性可以获得。

$$\lim_{k \to \infty} b(k) = \lim_{k \to \infty} \frac{r_{iarget}}{r_i(k)} (w(k)p_i(k) + (1 - w(k))p_i(k - 1))$$

$$= \lim_{k \to \infty} \frac{r_{iarget}}{r_i(k)} \bullet (\lim_{k \to \infty} w(k) \bullet \lim_{k \to \infty} p_i(k) + \lim_{k \to \infty} (1 - w(k)) \bullet \lim_{k \to \infty} p_i(k - 1)) \quad (5-21)$$

$$= p_i$$

令 *p<sub>i</sub>(k)* = *b*(*k*) 即为本文中提出的功率控制算法。从公式(5-21)可以看出,本文中 经 CSOPC 算法改进后的上行链路内环功率控制算法仍具有收敛的特性。

从改进后的功率控制算法可以看出,在对移动台用户第 k+1 次迭代的发射功率调整 过程中,不仅将第 k 次迭代的功率与信噪比关联起来,同时也将 k-1 次迭代的功率与信 噪比关联起来,从而加快了功率调整的过程,提升了算法的收敛性能。

5.3.2 功率控制仿真过程

在 TD-SCDMA 系统的上行链路内环功率控制过程中,首先按均匀分布函数在系统的 小区中,随机生成 n 个移动台用户的位置(x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>),来模拟实际无线通信系统中移动台用 户位置的不确定性。同时设定移动台用户*i* 的初始发射功率 p<sub>i</sub>(0)为[0, p<sub>max</sub>]范围内的某 一随机值,测量此时各个移动台用户的信噪比 r<sub>i</sub>(0)。 在功率控制迭代的过程中,设定基站接收机接收移动台用户信号的目标信噪比要求 r<sub>target</sub>,在共存的 WCDMA 系统干扰的情况下,按照给定的功率控制算法,进行移动台用户 信号功率的迭代。



图 5-5 移动台用户内环功率控制的迭代过程

移动台用户的内环功率控制迭代过程如图 5-5 所示。在迭代的过程中,若未被移除 的移动台用户都满足 TD-SCDMA 系统基站接收机的目标信噪比要求,但存在移动台用户 的发射功率大于设定的最大发射功率,则将该移动台用户从 TD-SCDMA 系统中移除不予 接入服务,余下的移动台用户继续重复进行功率控制迭代过程,直到都满足基站接收机 的目标信噪比要求为止,且同时没有移动台用户的发射信号功率大于最大的发射功率, 此时未被移除的移动台用户处于良好的通信状态,TD-SCDMA 系统中的移动台用户达到信 噪比的平衡。

在此过程中,可以获得该功率控制算法的收敛性能,移动台用户在达到信噪比平衡 时的发射功率值,以及算法对小区用户数的适应程度,从而对该功率控制算法的性能作 出评估。 5.3.3 仿真结果及分析

根据 5.3.2 小节的上行链路内环功率控制的仿真过程,以及 5.3.1 小节提到的上行 链路内环功率控制的更新算法,用 Matlab 对 TD-SCDMA 系统在共存的邻频 WCDMA 系统干 扰下的上行链路内环功率控制算法的性能进行仿真分析。

由第三章对两系统间的干扰分析可知,由于干扰系统的 WCDMA 基站是不可移动的, 并且基站间的干扰为两系统间的主要干扰,因此可以用一定值来表示 WCDMA 系统对 TD-SCDMA 系统的干扰。在仿真过程中,设定基站接收机的信号目标信噪比要求为 6dB, 移动台用户的最大信号发射功率为 2W,并且假定在 TD-SCDMA 系统的小区中按随机均匀 分布生成 17 个移动台用户的位置。



图 5-6 DCPC 算法的性能仿真

DCPC 算法的仿真结果如图 5-6 所示,子图 a 为各个移动台用户的信号发射功率与迭 代次数的关系图。从仿真的结果看出,在此功率控制算法中,没有因系统间共存干扰的 影响而移除移动台用户,所有移动台用户的信号发射功率都在规定的 0-2W 间,并且在 迭代次数到达 20 次后变化趋于平稳。子图 b 为基站接收机接收的各个移动台用户信号 的信噪比与迭代次数的关系图。从仿真结果可以看出,所有移动台用户信号的信噪比随 着迭代次数的增加都趋于基站接收机的目标信噪比要求的 6dB,并且在迭代次数到达 38 次时,它们都满足了目标信噪比要求。



图 5-7 CSOPC 算法的性能仿真

CSOPC 算法的仿真结果如图 5-7 所示,子图 a 为移动台用户的信号发射功率与迭代 次数的关系图。从仿真结果可以看出,所有移动台用户的发射功率都在 0-2W 间,没有 因系统间干扰而移除移动台用户,在整个功率控制迭代过程中,移动台用户的功率变化 较大。子图 b 为基站接收机接收的移动台用户的信噪比与迭代次数的关系图。从仿真结 果可以看出,随着迭代次数的增加,基站接收的移动台用户信号的信噪比趋于平衡,在 迭代次数到达 15 次后,所有移动台用户的发射信号都达到了基站接收机的目标信噪比 要求。



图 5-8 改进后的功率控制算法

本文在上行链路的 CSOPC 算法的基础上,提出了一种改进的功率控制算法,该算法 的仿真结果如图 5-8 所示,子图 a 为移动台用户的信号发射功率与迭代次数的关系图。 同样地,所有移动台用户的发射功率都在 0-2W 间,因此并没有因系统间的干扰而移除 移动台用户。子图 b 为基站接收机接收的移动台用户的信噪比与迭代次数的关系图,在 迭代次数到达 9 次后,所有移动台用户的发射信号都达到了基站接收机的目标信噪比要 求。

表 5-1 给出了本文改进后的上行链路内环功率控制算法与已有的两种典型功率控制 算法的性能仿真结果对比。

	迭代次数	平衡时平均功率/₩	平衡时平均信噪比/dB	移除用户数
DCPC 算法	38	0. 5383	6. 2462	0
CSOPC 算法	15	0. 7057	6. 3278	0
改进后的算法	9	0. 5485	6. 4945	0

表 5-1 三种功率控制算法的对比

从表 5-1 的对比结果可以看出,三种功率控制算法都满足功率控制的要求。在最终 基站接收机接收到的移动台用户信噪比达到平衡时,都没有因系统间的干扰而移除移动 台用户,因此所有基站接收的移动台用户的信噪比值都大于目标信噪比值 6dB,并且达 到平衡时,它们的平均信噪比值也基本相当。

在达到信噪比平衡时,对比这三种功率控制算法, DCPC 算法所需的迭代次数最多 为 38 次,因而其收敛特性最差,但是它所需要的平均发射功率是三种算法中最小的。 CSOPC 算法所需的迭代次数为 15 次,其收敛特性比 DCPC 算法有所改善,但移动台用户 的平均发射功率比 DCPC 算法的大,可见它牺牲了一部分移动台的用户发射功率用于改 善算法的收敛性。本文提出的改进功率控制算法所需的迭代次数为 9 次,较之前的两种 功率控制算法的收敛特性有很大的提高,虽然它所需的平均发射功率比 DCPC 的略大, 但比 CSOPC 算法却小很多。



图 5-9 给出了三种功率控制算法对应的小区用户数与用户平均信噪比关系。从图中可以看出,DCPC 算法的用户平均信噪比随着用户数的增多而减小,并且在用户数较多时,

出现了平均信噪比低于目标信噪比,可见 DCPC 算法对于用户数较多的情况不太理想。 CSOPC 算法和改进算法的用户平均信噪比随着用户数的增多基本不变,且大于目标信噪 比,从而保证了用户的通信质量要求。



图 5-10 小区用户数与用户平均发射功率关系

图 5-10 给出了三种功率控制算法的小区用户数与用户平均发射功率关系。DCPC 算法的用户平均发射功率随着用户数的增多而减小,这导致了用户平均信噪比的损失。 DCPC 算法在用户数较少时的高用户信噪比是靠较大的用户平均发射功率来实现的。改进 算法和 CSOPC 算法的用户平均发射功率随着用户数的增多而加大,使得用户的信噪比要 求得到满足。并且改进算法比 CSOPC 算法的用户平均发射功率小。

由上述仿真分析可知,改进算法在收敛性、用户的平均发射功率以及用户数适应程 度上都比已有的两种典型算法较好,可以看出本文改进后的功率控制算法的综合性能得 到了明显的改善。

#### 5.4 本章小结

本章对影响共存系统性能较大的功率控制技术进行了研究。分析了已有的两种典型 功率控制算法,并在此基础上提出了一种改进的功率控制算法,仿真结果表明改进后的 算法使得功率控制的综合性能得到了明显的提升。

## 第六章 总结与展望

在第三代移动通信网络迅猛发展的同时,为了满足日益增多的移动通信用户,第三 代移动通信系统的补充频段必将投入使用,因此分析这些尚未投入使用的补充频段与其 它系统频段的共存干扰问题已显得迫在眉睫。本文主要研究了尚未投入使用的 WCDMA 系 统的补充频段与 TD-SCDMA 系统核心频段间的共存干扰问题,同时也研究了在共存干扰 下,功率控制技术对系统性能的改善作用。

本文主要获得了以下几方面的成果:

1. 分析了尚未投入使用的 WCDMA 系统的补充频段与邻频的 TD-SCDMA 系统的核心频 段间的共存干扰问题,研究了系统间共存干扰产生的原因,确定了它们系统间存在的干 扰类型,并用确定性算法获得了两系统在共存及共站时所需要的附加隔离损耗要求。

2. 建立了 TD-SCDMA 与 WCDMA 系统共存的仿真模型,分析了共存干扰对系统容量和 用户信噪比造成的影响。同时,也研究了信噪比与反应用户通信质量的系统误码率间的 关系。并且,仿真分析了功率控制技术对共存系统性能的改善作用。

3. 研究了在其它共存系统干扰情形下对系统性能影响较大的功率控制技术。介绍了 功率控制技术的种类,特别研究了对系统性能起着重要作用的上行链路的内环功率控制 技术,分析了现有的两种典型功率控制算法,在此基础上提出了一种改进算法,并在 WCDMA 系统干扰 TD-SCDMA 系统的情形下,对几种算法进行了对比研究及仿真。从仿真结 果可以看出,改进后的功率控制算法的收敛性得到了明显的提升,并且移动台用户平均 发射功率也得到了一定的改善。此外,它对小区用户数的适应程度也比已有的两种典型 算法较好。

本文虽然对 WCDMA 系统与 TD-SCDMA 系统共存时的干扰进行了分析,并且也对在 WCDMA 系统干扰情形下的 TD-SCDMA 系统的性能进行了仿真,同时也改善了对系统性能影 响较大的功率控制技术。但是对其它一些影响系统容量的因素并没有做深入的探讨,如 TD-SCDMA 系统所采用的智能天线技术,以及多用户联合检测技术等。因此,接下来应继 续对这些方面进行深入的探讨和研究。

## 参考文献

[1] Tero Ojanpera 等著, 邱玲等译. WCDMA: 面向 IP 移动与移动因特网[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003, 3-4.

[2] 蔡康, 李洪, 朱英军. 3G 网络建设与运营[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007, 12-14.

[3] 李立华,陶小峰等. TD-SCDMA 无线网络技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 2007, 1-4.

[4] 中心通信学院. 对话第三代移动通信[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010, 36-37.

[5] 新浪科技.3 大运营商 3G 用户超过 9000 万 8 月份增速均加快. http://tech.sina.com.cn/t/3g/2011-09-21/01366089535.shtml

[6] 信息产业部. 关于第三代公众移动通信系统频率规划问题的通知. 2002.

[7] Shin Horng Wong. A COEXISTENCE STUDY OF HIGHER CHIP RATE UTRA-TDD AND FDD SYSTEMS IN MACRO CELL ENVIRONMENT[C]. 15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2004(1): 449-453.

[8] Andrea Giorgetti, Marco Chiani, Moe Z. Win. The Effect of Narrowband Interference on Wideband Wireless Communication Systems[J]. IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, 2005, 53(2): 2139-2149.

[9] Abolfazl Mehbodniya, Sonia Aissa. Coexistence Between DS-UWB and MB-OFDM: Analysis and Interference Mitigation[C]. IEEE Global Telecommunications Conference, 2007: 5200-5204.

[10] Zheng Ruiming, Zhang Xin, Li Xi. On the WiMAX System Co-existence with WCDMA and cdma2000 1x System[C]. 2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008: 1-5.

[11] 苏洁. WCDMA 与 GSM(DCS1800)相邻频段共存性研究[J]. 移动通信, 2010(7): 15-18.

[12] Jingxin Chen, David Grace, Paul Mitchell. CAPACITY ANALYSIS OF COEXISTING TD-SCDMA/WCDMA SYSTEMS[C]. The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007: 1-5.

[13] 冯慧娟, 唐宏, 龙薇. WCDMA 系统与其他无线系统共存时隔离度分析[J]. 通信技术, 2007, 40(9): 29-30.

[14] Marco Chiani, Andrea Giorgetti. Coexistence Between UWB and Narrow-Band Wireless Communication Systems[J]. PROCEEDINGS OF THE IEEE, 2009, 97(2): 231-254.

[15] Yang Liu, Fang Wang, Yongyu Chang, Dacheng Yang. Theoretical and Simulation Investigation on Coexistence between TD-SCDMA and WCDMA system[C]. IEEE 65th Vehicular Technology Conference, 2007: 1198-1203.

[16] 栗军伟. WCDMA 和 CDMA2000 干扰共存研究[D]. 北京邮电大学, 2007.

[17] Romeo Giuliano, Franco Mazzenga. Capacity Analysis for UWB Systems with Power Controlled Terminals under Power and Coexistence Constraints[J]. IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS[J]. 2006, 5(11): 3316-3328.

[18] Kohei Ohno, Tetsushi Ikegami. Interference Mitigation Study for UWB Radio Using Template Waveform Processing[J]. IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 2006, 54(4): 1782-1792.

[19] Power Controlled Terminals under Power and Coexistence Constraints[J]. IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, 2006, 5(11): 3316-3328.

[20] 解光辉. TD-SCDMA 与 GSM 移动通信系统共存干扰研究与仿真[D]. 哈尔滨工程大学, 2008.

[21] Matti Hamalainen, Veikko Hovinen, Raffaello Tesi. On the UWB System Coexistence With GSM900, UMTS/WCDMA, and GPS[J]. IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, 2002, 20(9): 1712-1721.

[22] Andrea Giorgetti, Marco Chiani, Moe Z. Win. The Effect of Narrowband Interference on Wideband Wireless Communication Systems[J]. IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, 2005, 53(12): 2139-2149.

[23] Romeo Giuliano, Franco Mazzenga. On the Coexistence of Power-Controlled Ultrawide-Band Systems With UMTS, GPS, DCS1800, and Fixed Wireless Systems[J]. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, 2005, 54(1): 62-81.

[24] Carla Fabiana Chiasserini, Ramesh R. Rao. Coexistence mechanisms for interference mitigation in the 2.4-GHz ISM band[J]. IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, 2003, 2(5): 964-975.

[25] Dajana Cassioli, Samuela Persia, Valerio Bernasconi. Measurements of the performance degradation of UMTS receivers due to UWB emissions[J]. IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, 2005, 9(5): 441-443.

[26] Napaporn Petchinda, Settapong Malisuwan. Co-existence of GSM1800 and GSM1900: BTS-to-BTS Interference[C]. 17th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2006: 112-115.

[27] Besma Smida, Venkatesh Sampath, Paul Marinier. Capacity degradation due to coexistence between second generation and 3G/WCDMA systems[C]. IEEE 55th Vehicular Technology Conference, 2002(1): 95-99.

[28] Muhammad Suryanegara, Edwardo Rizky Hutabarat, Dadang Gunawan. THE INTERFERENCE ON WCDMA SYSTEM IN 3G COEXISTENCE NETWORK[C]. The 17th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006: 1-5.

[29] Qingyu Miao, Wenbo Wang, Dacheng Yang. The coexistence of UTRA-TDD and FDD system in the adjacent channel[C]. IEEE Global Telecommunications Conference, 2001(6):3714-3718.

[30] Yang Liu, Fang Wang, Yongyu Chang, Dacheng Yang. Theoretical and Simulation Investigation on Coexistence between TD-SCDMA and WCDMA system[C]. IEEE 65th Vehicular Technology Conference 2007: 1198-1203.

[31] 廖河,赵东风,衡利英. TD-SCDMA 与 WCDMA 系统共存干扰分析及滤波器设计[J]. 云南 大学学报(自然科学版), 2007, 29(S2): 190-19.

[32] Maan A. S. Al-Adwany, Amin M. Abbosh. Performance Evaluation of Overlaid WCDMA and TDMA Systems[C]. 2009 International Symposium on Performance Evaluation of Computer & Telecommunication Systems, 2009(41): 208-212.

[33] 吴江,梁双春,牛凯,吴伟陵. WCDMA 与其它蜂窝系统共存时电磁兼容性能研究[J]. 电波 科学学报,2004,19(6),673-678.

[34] Gleissner Filip, Hanus Stanislav. Co-channel and Adjacent Channel Interference Measurement of UMTS and GSM/EDGE Systems in 900 MHz Radio Band[J]. RADIOENGINEERING, 2008, 17(3): 74-80.

[35] Kohei Ohno, Tetsushi Ikegami. AN INTERFERENCE MITIGATION STUDY FOR COEXISTENCE OF DS-UWB AND OFDM[C]. The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007: 1-5.

[36] Mugen Peng, Biao Huang, Wenbo Wang. Investigation of TDD and FDD CDMA coexistence in the macro environment employing smart antennatechniques[C]. the 5th International Symposium on Multi-Dimensional Mobile Communications Proceedings, 2004(1): 43-47.

[37] 张传福, 彭灿等. TD-SCDMA 通信网络规划与设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009, 16-18.

[38] 张同须, 李楠, 高鹏等. TD-SCDMA 网络规划与工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008, 64-66.

[39] 罗建迪, 汪丁鼎, 肖清华等. TD-SCDMA 无线网络规划设计与优化[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010, 74-77.

[40] 莫秀玲. 超宽带无线通信系统中 Rake 接收技术的研究[D]. 吉林大学, 2010.

[41] 杨威. CDMA 的软切换与硬切换[J]. 电信快报, 2009(3): 20-22.

[42] 李金山, 唐宏, 陶京涛. 移动通信系统的切换技术[J]. 中国无线电, 2006(1): 46-51.

[43] 王文斌, 2.4GHz 无线发射机射频前端的研制[D]. 重庆大学, 2010.

[44] 全会阁. 直接变频接收机研究与实现[D]. 湖南大学, 2007.

[45] 3GPP. TR25.942 v9.0.0. Radio Frequency (RF) system scenarios, 2010.

[46] 3GPP. TS25.105 v9.0.0. Base Station (BS) radio transmission and reception (TDD), 2010.

[47] 3GPP. TS25.104 v9.4.0. Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD), 2010.

[48] 孙勇. CDMA 系统无线网络容量优化[D]. 西安电子科技大学, 2009.

[49] 张丹, 张文安, 俞立. 多业务 CDMA 通信系统联合功率控制[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(4): 974-977.

-49-

[50] 王玉良. TD-SCDMA 功率控制算法研究[D]. 北京邮电大学, 2009.

[51] 张玉双. WCDMA 系统无线资源管理中功率控制的研究[D]. 哈尔滨理工大学, 2008.

[52] 苏峥. TD-SCDMA 系统上行链路功率控制的研究与实现[D]. 西北工业大学, 2004.

[53] 谢静, 唐宏, 于晓. TD-SCDMA 系统的容量性能分析[J]. 广东通信技术, 2010(8): 58-62.

[54] 李庆, 梁云, 胡捍英. WCDMA 系统中功率控制的研究[J]. 通信技术, 2008, 41(2): 120-122.

[55] Manish Rai, Chhavi Sharma. Improvement in Power Updating Algorithm in Wireless DS-CDMA Networks[J]. Emerging Trends in Electronic and Photonic Devices & Systems, 2009: 274-277.

[56] Riku Jäntti, Seong-Lyun Kim. Second-Order Power Control with Asymptotically Fast Convergence[J]. Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 447-457.

# 发表论文和科研情况说明

## 发表的论文:

- [1] He Hong, Dong Hong, Yang Tong, He Lin, Wu Cong-Cong. Study of TD-LTE base station co-existence with TD-SCDMA base station. Advanced Materials and Computer Science. Vols. 474-476 (2011) pp 888-892.
- [2] He Hong, Dong Hong, Yang Tong, He Lin. Uplink capacity analysis in
- TD-SCDMA system. Advanced Research on Computer Science and Information Engineering. Vols. 153 (2011) pp 251-257.

#### 参与的科研项目:

本人参加了天津市科技创新专项重点基金项目:"新一代移动通信网络覆盖关键 技术研发及示范应用"的研究。

## 致 谢

值此论文完成之际,我首先要由衷地感谢我的导师何宏教授。在我的研究生学习的 两年半时间里,她给予了我极大的帮助。何老师不仅为我的学业的顺利完成给予了悉心 的指导,同时,还给我的为人处事方面带来了极好的影响。特别是,她那平易近人的态 度,以及治学严谨的态度是我一生努力学习的目标。在此,我再次向何老师表示我最崇 敬的谢意。

李丽老师对我的课题研究及论文的修改提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

同时,我也要衷心地感谢伴我度过这两年半美好时光的武聪聪、黄兴、鲍帅,以及 621 实验室的所有师弟师妹们,他们同样给我的学习与生活带来了极大的帮助。

最后,我要感谢二十多年来一直为我默默付出的父母,感谢你们对我的培养和关爱。