

数字移动通信技术丛书

码分多址(CDMA) 移动通信系统

竺南直 肖 辉 刘景波 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

码分多址(CDMA)移动通信系统

TN929.533

IN 27.533

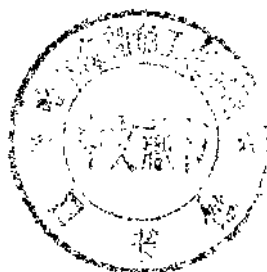
287

452656

数字移动通信技术丛书

码分多址(CDMA)移动通信系统

竺南直 肖 辉 刘景波 编著



00452656

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从 CDMA 蜂窝移动通信系统的工程和科研的角度出发,系统地介绍了 CDMA 蜂窝移动通信系统的基本原理、关键技术、系统结构、芯片设计、标准和接口、系统设计及发展趋势。包括 CDMA 蜂窝移动通信系统基本概念及关键技术、CDMA 蜂窝移动通信系统的体系结构及接口、CDMA 蜂窝移动通信系统的基站分系统、CDMA 蜂窝移动通信系统的移动台分系统、CDMA 蜂窝移动通信系统的交换机分系统、CDMA 蜂窝移动通信系统的芯片设计、CDMA 蜂窝移动通信系统的系统设计、CDMA 蜂窝移动通信系统的发展等八个方面的内容。

全书内容新颖,简洁扼要,实用性较强,适合于具有一定数字通信技术基础的工程技术人员和从事移动通信领域科研、设计的人员阅读,也可作为通信专业高年级和研究生的教材或参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

码分多址(CDMA)移动通信系统/竺南直等编著. - 北京:电子工业出版社,1999.4

(数字移动通信技术丛书)

ISBN 7-5053-5185-0

I. 码… II. 竺… III. 蜂窝结构-移动通信-通信系统 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 30485 号

丛 书 名: 数字移动通信技术丛书

书 名: 码分多址(CDMA)移动通信系统

编 著 者: 竺南直 肖 辉 刘景波

责任编辑: 徐 莹

策 划: 张 欣

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京天宇星印刷厂

装 订 者: 河北省涿州桃园装订厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 11.25 字数: 281.6 千字

版 次: 1999 年 4 月第 1 版 1999 年 9 月第 2 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5185-0
TN·1243

定 价: 20.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页,请向购买书店调换。

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

出版说明

二十世纪的最后十年,移动通信特别是数字移动通信发展之快和应用之广,大大超出了人们的预料和专家的预测。移动通信的产品和它向社会提供的各种服务已是家喻户晓。为了满足社会各界和广大通信技术人员系统学习和掌握这些新技术的需要,电子工业出版社通信与网络编辑部约请富有经验的通信专家和技术人员,编写了这套《数字移动通信技术丛书》,相继出版。

这套丛书的特点是力求内容的先进性、实用性和系统性。丛书从我国通信技术应用现状与发展情况出发,以系统与技术为中心,系统地介绍基本原理和系统结构、系统体制和技术指标、协议和信令、接口和组网技术、典型设备和工程设计,以及新技术和新设备。丛书理论性与工程实践性紧密结合,内容丰富、深入浅出、层次清楚、深浅适宜、详简得当。丛书旨在引导读者将移动通信的原理、技术与应用有机结合。

这套丛书的主要读者对象是广大从事通信技术工作的工程技术人员,也适合大专院校通信、计算机等学科各专业在校师生和刚走上工作岗位的毕业生阅读参考。

在编辑出版这套丛书的过程中,参与编写、审定的各位通信专家都付出了大量心血,对此,我们表示衷心感谢。欢迎广大读者对这套丛书提出宝贵意见和建议,以便我们今后为广大读者奉献更多、更好的优秀通信技术图书。

电子工业出版社

1997年5月

《数字移动通信技术丛书》编审委员会

主 编：鞠 枫

委 员：(以姓氏笔划为序)

丁 瑾 马义广 王 青

刘乃安 刘景波 张乃通

李小白 李承恕 李英涛

张中兆 吴文昱 肖 辉

杨永宁 陆冰霞 沈思源

宋俊德 杜振民 竺南直

赵荣黎 郭 峰 曾兴雯

前 言

移动通信是 20 世纪经济、能源、交通运输与通信技术高速发展相结合的产物。移动通信的发展,经历了模拟移动通信和数字移动通信两大历程,而数字移动通信体系中,目前应用最多的是时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA)两种技术。CDMA 技术比起 TDMA 技术来说,投入商用较晚,但是却早已显示出强大的生命力。也有人认为,CDMA 蜂窝移动通信代表着第三代移动通信技术。

国内目前已出版了几本移动通信方面的书籍和教材,大多是介绍 CDMA 基本原理以及 IS-95 标准。对于 CDMA 技术的实际应用和工程设计方面的书籍,国内尚少,而介绍 CDMA 应用芯片设计方面的书籍更是罕见。基于这种情况,本书从工程及科研需要的角度出发,系统地介绍了 CDMA 蜂窝移动通信系统的基本原理、关键技术、系统结构、芯片设计、标准和接口、系统设计及发展趋势。

全书共八章,第一章介绍 CDMA 蜂窝移动通信系统基本概念及关键技术;第二章介绍 CDMA 蜂窝移动通信系统的体系结构及接口;第三章介绍 CDMA 蜂窝移动通信系统的基站子系统;第四章介绍 CDMA 蜂窝移动通信系统的移动台子系统;第五章介绍 CDMA 蜂窝移动通信系统的交换子系统;第六章介绍 CDMA 蜂窝移动通信系统的芯片设计;第七章介绍 CDMA 蜂窝移动通信系统的系统设计;第八章介绍 CDMA 蜂窝移动通信系统的发展。

本书的主要内容由竺南直、肖辉和刘景波编写,郭莉、程静、刘耕及章林杰也参加了部分章节的编写。此外还引用了西安电子科技大学的郭梯云教授、广州通信研究所的汤锦基研究员和电子科技大学的李少谦教授的部分技术资料,在此表示感谢。另外在本书编撰过程中,得到了电子科学研究所胡邦德副院长的大力支持与帮助,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,水平有限,书中难免会有一些错误和疏漏,敬请读者多提出宝贵意见。

作 者

1998 年 4 月

目 录

第一章 CDMA 系统概述	(1)
第一节 数字移动通信系统的基本概念	(1)
一、大区制移动通信系统	(1)
二、蜂窝系统	(2)
第二节 移动通信系统的多址方式	(3)
一、频分多址(FDMA)	(4)
二、时分多址(TDMA)	(4)
三、码分多址(CDMA)	(5)
第三节 CDMA 系统的基本原理及特点	(6)
一、CDMA 蜂窝通信系统的基本原理	(6)
二、CDMA 系统的容量	(7)
三、CDMA 系统的主要优点	(10)
第四节 CDMA 系统的关键技术	(11)
一、功率控制	(11)
二、分集接收	(14)
三、软切换	(15)
四、可变速率声码器	(16)
五、RAKE 接收	(19)
六、自适应天线	(22)
第五节 CDMA 系统的相关标准及其发展	(24)
第二章 CDMA 系统的体系结构	(26)
第一节 网络结构	(26)
一、总体结构	(26)
二、系统组成与配置	(26)
三、接口标准	(28)
第二节 功能结构	(29)
一、CDMA 移动功能	(29)
二、服务资源功能	(29)
三、服务控制和管理功能	(32)
四、CMS 设计	(36)
五、未来研究领域	(38)
第三节 无线链路	(38)
一、前向链路	(38)
二、反向链路	(42)
第四节 接口与协议	(45)

一、接口	(45)
二、呼叫与转移	(47)
第三章 基站子系统	(54)
第一节 基站系统的构成	(56)
第二节 基站控制器	(58)
一、基站控制器的结构	(58)
二、基站控制器的应用	(63)
第三节 基站管理器(BSM)	(68)
一、BSM 的结构	(68)
二、操作与维护	(68)
第四节 基站收发系统	(71)
一、基站收发系统的结构	(71)
二、基站收发系统的设计	(74)
第四章 CDMA 移动台子系统	(78)
第一节 移动台的结构	(78)
一、数字子系统	(79)
二、射频子系统	(80)
第二节 MS 控制和呼叫处理	(81)
一、控制过程	(81)
二、呼叫处理	(85)
三、自适应功率控制	(87)
四、分集接收技术	(89)
第三节 移动办公服务	(89)
一、异步数据和 G3 传真服务	(90)
二、短信息服务	(94)
第五章 移动交换子系统	(96)
第一节 移动交换子系统的功能	(96)
一、移动交换中心的功能	(96)
二、移动电话程序控制原理	(96)
第二节 移动交换中心和漫游位置寄存器	(97)
一、系统结构	(98)
二、硬件结构	(99)
三、软件结构	(101)
第三节 归属位置寄存器和鉴权中心	(103)
一、软件结构	(104)
二、可扩展的灵活的硬件平台	(109)
第六章 CDMA 专用芯片设计	(110)
第一节 专用集成电路(ASIC)与 DSP 技术	(110)
一、ASIC 及设计方法	(110)
二、DSP 技术简介	(111)

第二节 CDMA 系统芯片设计	(114)
一、移动台专用芯片设计	(114)
二、CDMA 基站芯片设计	(119)
第三节 QCELP 语音编码器的 DSP 实现	(123)
一、QCELP 语音编码器	(124)
二、QCELP 编码器的 DSP 实现	(128)
第七章 CDMA 系统的设计	(132)
第一节 蜂窝移动通信系统的设计要素	(132)
一、概述	(132)
二、频率复用	(133)
三、同信道干扰衰减因子	(133)
四、切换机制	(134)
五、蜂窝分裂	(135)
六、无线电链路设计	(135)
第二节 CDMA 系统设计的关键要素	(136)
一、CDMA 系统设计原理	(136)
二、CDMA 系统设计的关键	(136)
第三节 CDMA 系统的干扰	(137)
一、反向链路干扰	(137)
二、前向链路干扰	(138)
第四节 CDMA 系统的设计	(139)
一、均匀小区的理想情况	(139)
二、不均匀小区的情况	(142)
第五节 CDMA 网络配置与工程	(146)
一、蜂窝规划	(146)
二、蜂窝配置	(150)
三、CDMA 系统设计步骤	(152)
四、广东商用 CDMA 试验网实例	(153)
第八章 CDMA 技术发展	(156)
第一节 IS-95 CDMA 技术的发展	(156)
第二节 CDMA 与第三代移动通信系统	(158)
一、概述	(158)
二、几种典型的第三代移动通信系统模型	(160)
词汇表	(169)
参考文献	(170)

第一章 CDMA 系统概述

随着社会的进步、经济和科技的发展,当今世界已进入信息时代。人们对通信的要求越来越高,这促进了移动通信的发展。

现代移动通信技术的发展始于本世纪 20 年代,代表是美国供警察用的车载无线电系统,它工作于 2MHz,不能与公众网连接。40 年代开始建立了公用移动通信系统,可实现人工交换及与公众网的连接,但容量较小。60 年代,移动通信实现了无线频道的自动选频和与公众电话网的拨号连接,并且开拓了 150MHz 和 450MHz 工作频段,从而形成了移动通信的无线传输、信道管理及移动交换的基本技术。70 年代出现了蜂窝移动通信系统,它起源于美国贝尔实验室研制成功的先进移动电话系统 AMPS。80 年代,数字移动通信开始发展并成熟起来,欧洲首先推出了泛欧数字移动通信系统,该系统在 1991 年 7 月开始投入商用,后被许多国家采用。随后,美国和日本也制定了各自的数字移动通信体制。美国于 1990 年 4 月批准了数字蜂窝移动通信标准 IS-54,即 D-AMPS,又于 1993 年通过了 IS-95 码分多址系统标准。日本在 1993 年 3 月推出数字蜂窝通信系统,称为个人数字蜂窝通信系统(PDC)。

上面提到的蜂窝通信系统都得到了广泛的应用。人们将以 AMPS 为代表的模拟系统称为第一代蜂窝系统,将数字蜂窝系统称为第二代系统。

应用需求推动了技术的发展。从用户角度讲,人们要求蜂窝系统通话质量高,话音清晰,通话连续,手机小巧,携带方便,电池寿命长。从经营者角度讲,要求系统容量高,建设与维护成本低,频率规划简单。CDMA 系统在满足用户要求方面有独特的优势,因而得到迅速发展,并成为第三代蜂窝系统的首选技术。本章将对 CDMA 蜂窝移动通信系统做一概述。

第一节 数字移动通信系统的基本概念

现代移动通信系统都采用蜂窝结构。蜂窝概念本身在移动通信的发展中是一大进步,相对以往大区制移动通信系统,它代表了一种先进的无线电话组网方式,这种方式可以大大提高系统容量。蜂窝概念在解决无线频率拥挤问题——移动用户数量增加的主要障碍上是一项重大突破。

一、大区制移动通信系统

早期的移动通信系统采用大区制的场强覆盖,即由一个基站覆盖一个较大的服务区,半径在 30~50km 范围,如图 1.1 所示。其特点是网络结构简单,直接与市话交换局相连,不需要无线交换。

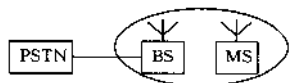


图 1.1 大区制移动通信系统

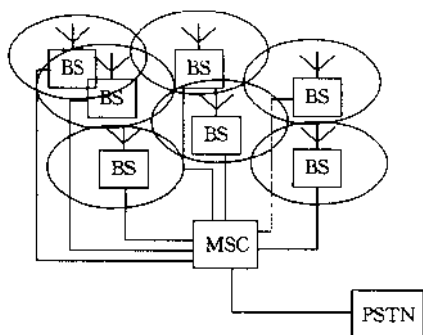


图 1.2 蜂窝移动电话系统的示意图

但是,大区制系统有其局限性。首先是覆盖范围有限,受地球曲率的影响,通常最大覆盖半径为 50km 左右。再者因为能够使用的频段有限,这种方式严重限制了系统容量,例如早期采用频分多址方式的一个基站只能提供几个频道,供少数用户使用。同时要求通信设备有较大的发射功率,但移动用户设备的体积、发射功率和天线高度都是受限的。

二、蜂窝系统

为了解决大区制系统的问题,提出了蜂窝移动通信系统的概念,如图 1.2 所示。它将一个大区覆盖的范围划分为若干小区,用小功率发射机覆盖每个小区,与用户移动台建立通信,小区的覆盖半径较短,约 1~20km,许多小区就可以覆盖整个服务区;同时通过在不同小区使用相同频率,使整个系统的总容量大为提高。为便于对系统进行分析,可以将各小区抽象为正六边形,多个小区相邻排列就像蜂窝的结构,所以称为蜂窝移动通信系统。蜂窝系统的典型结构如图 1.3 所示,它由移动交换机、基站、移动台组成。基站设于各个小区,通过无线信道与用户移动台进行通信。移动台包括车载台和手持机。从基站到移动台的方向称为前向链路,从移动台到基站的方向称为反向链路,通信协议采用空中接口标准。移动交换机对其覆盖范围内的移动台进行控制,并完成与其他公用通信网之间的连接,通过有线方式与基站和公用通信网进行信息传输。

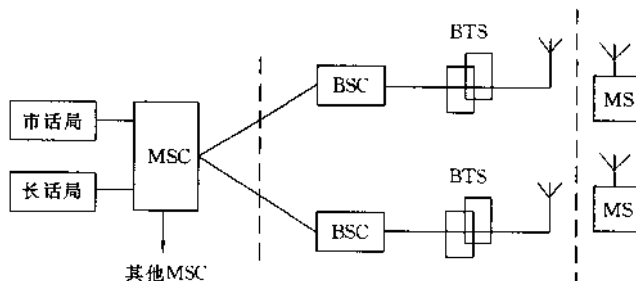


图 1.3 蜂窝移动通信系统的典型结构

下面是与蜂窝系统相联系的几个基本概念:

1) 频率再用与同道道干扰

表面上看,如果在服务区内划分 100 个小区,可供使用的所有频率都能用于每个小区,假

设每个小区有 12 对信道可供服务,整个城市将有 1200 对信道可同时通话。然而事情并非如此简单。因为在一个小区附近使用与此小区相同的载波频率,相互间会产生干扰,这种干扰称为同信道干扰。因而相同频率不能用于每一个小区,必须间隔一定空间距离或者说跳过若干小区后,同一频率才能再用。为了实现这一点,将若干相邻小区组成一个区群,并将可供使用的无线频道分成若干组,区群内各小区使用不同的频率组,而每个区群能够使用所提供的全部无线频道。用相同频率配置的区群来覆盖整个服务区,就实现了频率再用。

2) 越区切换

将服务区域划分成小区所带来的一个问题是并非所有通话都能在单个小区内完成,例如,一辆快速行驶的汽车在一次通话中可能通过若干小区。因为移动台在小区范围内用所分配的频率与基站建立无线链路,通过基站连接到移动交换中心,然后再连接到有线电话用户或其他小区的移动用户,当移动台从一个小区进入相邻小区时,其工作频率和接续服务都是不相同的,这就需要在一次通话过程中将移动台的工作频率和接续控制从其离开的小区交换给正在进入的小区,这个过程就称为越区切换。

3) 小区分裂

当蜂窝系统覆盖区内部分地区通信业务增长时,可将该部分的蜂窝小区分裂成多个较小的区域,这称为小区分裂。依据蜂窝小区半径不同,可分为宏区(半径约 35km)、小区(半径约几 km)、微小区(半径约 1km)和微微小区(半径约 50m)。

最简单的蜂窝小区分裂方法是将小区半径缩小并增加新的基站,这样虽然成本有所增加,但系统容量增大,从经济上说是值得的。另一种方法是在原基站采用方向性天线将小区扇区化。还有一种方法是将小区分为几个区,每个区的设备仅仅是天线、放大器和变频器,它们只起信号发射和接收的作用,并与基站相连。

移动通信系统采用蜂窝结构组网,通过频率再用,可以提高系统容量。但系统容量还受限于在小区内如何有效利用分配的频谱,即采用怎样的多址方式的影响。

第二节 移动通信系统的多址方式

在无线通信环境的电波覆盖区内,如何建立用户之间的无线信道的连接,是多址接入方式的问题。因为无线通信具有大面积无线电波覆盖和广播信道的特点,网内一个用户发射的信号其他用户均可接收,所以网内用户如何能从播发的信号中识别出发送给本用户地址的信号就成为建立连接的首要问题。

多址接入方式的数学基础是信号的正交分割原理。无线电信号可以表达为时间、频率和码型的函数,即可写作:

$$s(c, f, t) = c(t)s(f, t)$$

其中 $c(t)$ 是码型函数, $s(f, t)$ 为时间(t)和频率(f)的函数。

当以传输信号的载波频率的不同划分来建立多址接入时,称为频分多址方式(FDMA);当以传输信号存在的时间不同划分来建立多址接入时,称为时分多址方式(TDMA);当以传输信号的码型不同划分来建立多址接入时,称为码分多址方式(CDMA)。图 1.4 分别给出了 FDMA、TDMA 和 CDMA 的示意图。

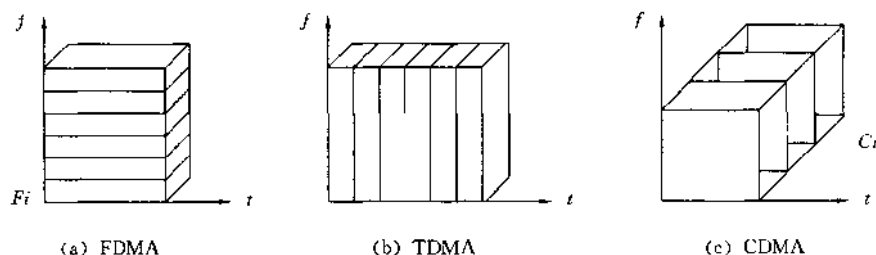


图 1.4 FDMA、TDMA、CDMA 的示意图

蜂窝结构的通信系统特点是通信资源的重用。频分多址系统是频率资源的重用；时分多址系统是时隙资源的重用；码分多址系统是码型资源的重用。由于频分多址系统是以频道来分离用户地址的，所以它是频道受限和干扰受限的系统；时分多址系统是以时隙来分离的，所以它是时隙受限和干扰受限的系统，但一般说来，它只是干扰受限的系统。

下面将分别介绍 FDMA、TDMA 和 CDMA。

一、频分多址(FDMA)

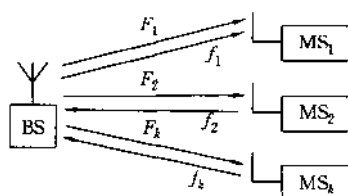


图 1.5 FDMA 系统的工作示意图

在频分多址系统中，把可以使用的总频段划分为若干占用较小带宽的频道，这些频道在频域上互不重叠，每个频道就是一个通信信道，分配给一个用户。在接收设备中使用带通滤波器允许指定频道里的能量通过，但滤除其他频率的信号，从而限制临近信道之间的相互干扰。图 1.5 是 FDMA 通信系统的工作示意图。由图可见，这种通信系统的基站必须同时发射和接收多个不同频率的信号；任意两个移动用户之间进行通信都必须经过基站的中转，因而必须同时占用 4 个频道才能实现双工通信。不过，移动台在通信时所占用的频道并不是固定指配的，它通常是在道信建立阶段由系统控制中心临时分配的，通信结束后，移动台将退出它占用的频道，这些频道又可以重新分配给别的用户使用。

这种方式的特点是技术成熟，易于与模拟系统兼容，对信号功率控制要求不严格。但是在系统设计中需要周密的频率规划，基站需要多部不同载波频率发射机同时工作，设备多且容易产生信道间的互调干扰。

二、时分多址(TDMA)

在时分多址系统中，把时间分成周期性的帧，每一帧再分割成若干时隙（无论帧或时隙都是互不重叠的），每一个时隙就是一个通信信道，分配给一个用户。然后根据一定的时隙分配原则，使各个移动台在每帧内只能按指定的时隙向基站发射信号，在满足定时和同步的条件下，基站可以在各时隙中接收到各移动台的信号而互不干扰。同时，基站发向各个移动台的信号都按顺序安排在预定的时隙中传输，各移动台只要在指定的时隙内接收，就能在合路的信号中把发给它的信号区分出来。图 1.6 是 TDMA 通信系统的工作示意图。

与 FDMA 通信系统比较，TDMA 通信系统的特点如下：

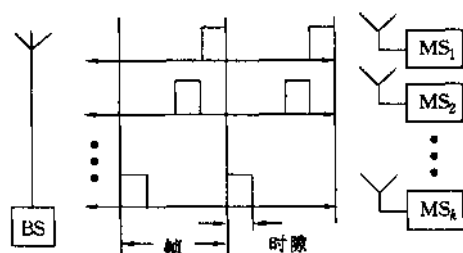


图 1.6 TDMA 系统的工作示意图

• TDMA 系统的基站只需要一部发射机,可以避免像 FDMA 系统那样因多部不同频率的发射机同时工作而产生的互调干扰;

• 频率规划简单。TDMA 系统不存在频率分配问题,对时隙的管理和分配通常要比对频率的管理与分配容易而经济,便于动态分配信道;如果采用语音检查技术,实现有语音时分配时隙,无语音时不分配时隙,有利于提高系统容量;

• 因为移动台只在指定的时隙中接收基站发给它的信号,因而在一帧的其他时隙中,可以测量其他基站发射的信号强度,或检测网络系统发射的广播信息和控制信息,这对于加强通信网络的控制功能和保证移动台的越区切换都是有利的;

• TDMA 系统设备必须有精确的定时和同步,保证各移动台发送的信号不会在基站发生重叠或混淆,并且能准确地地在指定的时隙中接收基站发给它的信号。同步技术是 TDMA 系统正常工作的重要保证,往往也是比较复杂的技术难题。

有些系统综合采用 FDMA 和 TDMA 技术,例如 IS-136 数字蜂窝标准采用 30kHz FDMA 信道,并将其再分割成 6 个时隙,用于 TDMA 传输。

三、码分多址(CDMA)

在 CDMA 通信系统中,不同用户传输信息所用的信号不是靠频率不同或时隙不同来区分,而是用各自不同的编码序列来区分,或者说,靠信号的不同波形来区分。如果从频域或时域来观察,多个 CDMA 信号是互相重叠的。接收机用相关器可以在多个 CDMA 信号中选出使用预定码型的信号。其他使用不同码型的信号因为和接收机本地产生的码型不同而不能被解调。它们的存在类似于在信道中引入了噪声或干扰,通常称之为多址干扰。

在 CDMA 蜂窝通信系统中,用户之间的信息传输也是由基站进行转发和控制的。为了实现双工通信,正向传输和反向传输各使用一个频率,即通常所谓的频分双工。无论正向传输或反向传输,除去传输业务信息外,还必须传送相应的控制信息。为了传送不同的信息,需要设置相应的信道。但是,CDMA 通信系统既不分频道又不分时隙,无论传送何种信息的信道都靠采用不同的码型来区

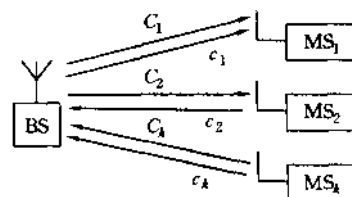


图 1.7 CDMA 系统的工作示意图

分。类似的信道属于逻辑信道。这些逻辑信道无论从频域或者时域来看都是相互重叠的,或者说它们均占用相同的频段和时间。图 1.7 是 CDMA 通信系统的工作示意图。

CDMA 蜂窝移动通信系统与 FDMA 模拟蜂窝通信系统或 TDMA 数字蜂窝移动通信系

统相比具有更大的系统容量、更高的话音质量以及抗干扰、保密等优点,因而近年来得到各个国家的普遍重视和关注,并作为第三代数字蜂窝移动通信系统的首选方案。下面我们将重点介绍 CDMA 蜂窝移动通信系统的基本原理、主要特点和关键技术。

第三节 CDMA 系统的基本原理及特点

一、CDMA 蜂窝通信系统的基本原理

CDMA 是一种以扩频通信为基础的调制和多址连接技术。扩频通信技术在信号发端用一高速伪随机码与数字信号相乘,由于伪随机码的速率比数字信号的速率大得多,因而扩展了信息传输带宽。在收端,用相同的伪随机序列与接收信号相乘,进行相关运算,将扩频信号解扩。扩频通信具有隐蔽性、保密性、抗干扰等优点。CDMA 蜂窝通信系统的原理示意图如图 1.8 所示。

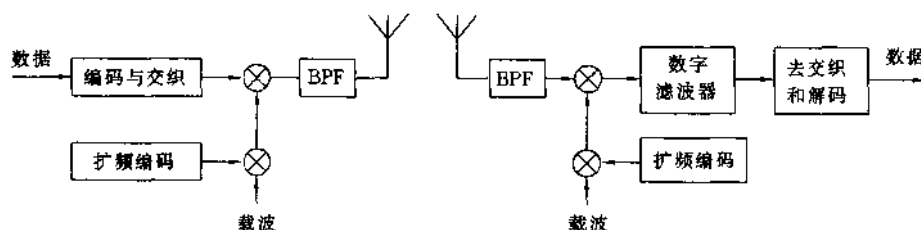


图 1.8 CDMA 扩频通信系统原理示意图

扩频通信中用的伪随机码常常采用 m 序列,这是因为它具有容易产生和自相关特性优良的优点。其归一化自相关函数只有 1 和 $-1/K$ 两个值, K 是 m 序列长度。所以,只有在收发端伪随机序列相位相同时才能恢复发送信号。

码分多址技术就是利用了这一点。可以采用不同相位的相同 m 序列作为多址通信的地址码。由于 m 序列的自相关特性与长度有关,因此,作为地址码,其长度应尽可能长,以供更多用户使用,同时可以获得更高的处理增益和保密性,但是又不能太长,否则不仅产生电路复杂,也不利于快速捕获与跟踪。

1. 地址码的选择

在 CDMA 蜂窝系统中,综合采用了三种码。一种是长度为 2^{15} 的 PN 码,它通过在长度为 $2^{15}-1$ 的 m 序列 14 个连“0”输出后再加入一个“0”获得。它用于区分不同的基站信号,不与基站保持同步,但使用的 PN 码序列相位偏移不同。规定每个基站的 PN 码相位偏移只能是 64 的整数倍,因而有 512 个值可被不同基站使用。使用相同序列不同相位作为地址码,便于搜索、同步。

另一种是长度为 $2^{42}-1$ 的 PN 序列,在前向信道它用于信号的保密,在反向信道它用于区分不同的移动台。这样长的码有利于信号的保密,同时基站知道特定移动台的长码及其相位,

因而不需要对它进行搜索、捕获。

此外,CDMA 蜂窝系统将前向物理信道划分为多个逻辑信道,即一个导频信道、一个同步信道(必要时可改作业务信道,因为移动台在获得同步后不需再监听同步信道)、7 个寻呼信道(必要时可改作业务信道)和 55 个前向业务信道(最多 63 个),划分的方法是采用 Walsh 序列对信号进行调制。由于 Walsh 序列的正交性,不同信道的信号是正交的,同时区分了不同移动台用户。相邻基站可以使用相同的 Walsh 序列,虽然可能不满足正交性,但可以由 PN 短码提供区分。在反向链路, Walsh 序列用于对信号进行正交码多进制调制,以提高通信链路的质量。反向信道由 PN 码来区分,不同用户的接入信道长码产生使用公用掩码,反向业务信道的长码掩码与移动台有关。

2. 扩频码速率的选择

CDMA 蜂窝系统扩频码(在前向链路是 Walsh 序列,在反向链路是 PN 长码)的速率规定为 1.2288MHz,这个规定考虑了频谱资源的限制、系统容量、多径分离的需要和基带数据速率多个因素。

在美国, FCC 规定划分给蜂窝通信的频谱带宽为单向 25MHz,并分配给两家公司,每家分得单向频谱带宽总计为 12.5MHz,其中最窄的一段带宽为 1.5MHz。为获得最大适应性,信号带宽应小于 1.5MHz。选择 1.2288MHz 的码速率,滤波后可获得 1.25MHz 的带宽。在 12.5MHz 宽频带内可以划分出 10 条信道。

决定 CDMA 数字蜂窝系统容量的主要因素是:系统的处理增益、信号比特能量与噪声功率谱密度比、话音占空比、频率重用效率、每小区的扇区数目。为了取得高的系统处理增益,从而获得高的系统容量,扩频码速率应尽可能高。

通常陆地移动通信环境的多径延迟为 $1 \sim 100\mu\text{s}$,为了充分发挥扩频码分多址技术,实现多径分离的作用,要求扩频码序列的持续时间应小于 $1\mu\text{s}$,也就是扩频码速率应大于 1MHz。

选择 1.2288MHz 的另一个原因是,这个速率可以被基带数据速率 9.6kbps 整除,且除数为 2 的幂指数($128=2^7$)。

二、CDMA 系统的容量

按照香农定理,各种多址方式(FDMA、TDMA 和 CDMA)都应有相同的容量。但这种考虑有几种缺陷,一是假设所有用户在同一时间区间内连续不断地传送信息,这对话音通信来说是不符合实际的;二是没有考虑在地理上重新分配频带的问题;第三没有考虑信号传输中的多径衰减。下面对 CDMA 系统的容量进行分析。

决定 CDMA 数字蜂窝系统容量的主要参数是:处理增益、 E_b/N_0 、话音负载周期、频率再用效率以及基站天线扇区数。

若不考虑蜂窝系统的特点,只考虑一般扩频通信系统,接收信号的载干比定义为载波功率与干扰功率的比值,可以写成,

$$\frac{C}{I} = \frac{R_b E_b}{I_0 W} = \frac{\left(\frac{E_b}{I_0}\right)}{\left(\frac{W}{R_b}\right)} \quad (1.1)$$

式中 E_b 是信息的比特能量; R_b 是信息的比特率; I_0 是干扰的功率谱密度; W 是总频段宽度(这

里也是 CDMA 信号所占的频谱宽度,即扩频宽度); E_b/I_n 类似于通常所谓的归一化信噪比,其取值决定于系统对误比特率或话音质量的要求,并与系统的调制方式和编码方案有关; W/R_b 是系统的处理增益。

若 N 个用户共用一个无线频道,显然,每一用户的信号都受到其他 $N-1$ 个用户信号的干扰。假定到达一个接收机的信号强度和各干扰强度都相等,则载干比为,

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{N-1} \quad (1.2)$$

或

$$N-1 = \frac{\left(\frac{W}{R_b}\right)}{\left(\frac{E_b}{I_n}\right)} \quad (1.3)$$

若 $N \gg 1$,于是

$$N = \frac{\left(\frac{W}{R_b}\right)}{\left(\frac{E_b}{I_n}\right)} \quad (1.4)$$

结果说明,在误比特率一定的条件下,所需归一化信噪比越小,系统可以同时容纳的用户数越多。应该注意这里的假定条件,所谓到达接收机的信号强度和各个干扰强度都一样,对单一小区(没有临近小区的干扰)而言,在正向传输时,不加功率控制即可满足;但在反向传输时,各移动台向基站发送的信号必须进行理想的功率控制才能满足。

其次,应根据 CDMA 蜂窝通信系统的特征对这里得到的公式进行修正。

1. 话音激活期的影响

在典型的全双工通话中,每次通话中话音存在时间小于 35%。如果在话音停顿时停止信号发射,对 CDMA 系统而言,直接减少了对其他用户的干扰,使系统容量提高到原来的 $1/0.35=2.86$ 倍。虽然 FDMA 和 TDMA 两种系统都可以利用这种停顿,使容量获得一定程度的提高,但要做到这一点,必须增加额外控制开销,而且要实现信道动态分配必然会带来时间延迟,而 CDMA 蜂窝系统可以很容易地实现。

2. 扇区化

CDMA 小区扇区化有很好的容量扩充作用,其效果超过扇区化对 FDMA 和 TDMA 系统的影响。小区一般划分为三个扇区,天线波束宽度为 120 度,因为天线方向幅度宽而且经常出现传播异常,这些天线覆盖区域有很大重叠,扇区之间隔离并不可靠。因此,窄带系统在小区扇区化时,小区频率再用并无改善,典型的 7 通路再用模式在 3 个扇区内仍然是 7 通路,一个 AMPS 全向扇区在 1.25MHz 内有 6 条可用信道,现在变或一个 3 扇区小区内每个扇区有两条信道。

CDMA 系统的扇区化也会由于干扰而产生不利影响,但干扰不是以最严重的值,而是以其平均值来影响规划。扇区重叠导致的平均干扰增加幅度很小,同时,扇区之间实行软切换导致增益。因此,CDMA 小区如果实行 N 通路扇区化,则可扩充容量 N 倍,无论扇区化程度如何,每个扇区都有大致相同的容量。