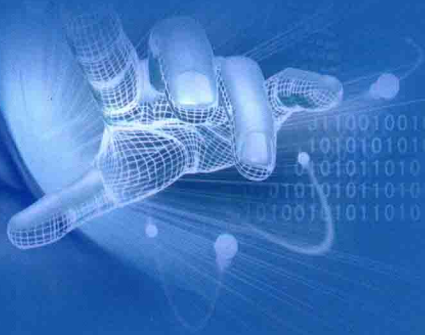


责任编辑：刘 炯 jliu@ndip.cn  
责任校对：苏向颖  
封面设计：蒋秀芹

# 通信系统仿真实验



►上架建议：通信/仿真实验◀

<http://www.ndip.cn>

ISBN 978-7-118-10038-9



9 787118 1100389 >

定价：28.00 元

普通高等学校“十二五”规划教材

# 通信系统仿真实验

主 编 杨育红  
编 著 王 彬 韩 乾 郭 彬  
郭 虹 辛 刚 李永才  
陈阿君 王 鹏

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书以某通信系统实践教学平台为基础,向读者介绍 Simulink 系统软件的使用,通过大量系统仿真实例程序详细地阐述了 Sumulink 的基本原理及其使用方法。

全书主要介绍了卫星通信系统的基本概念、系统仿真的概念、Sumulink 软件的使用概要、部分通信仿真模块参数说明、典型卫星通信链路仿真的设计与实现等内容,并在附录中给出了结合本书内容设计的实验,相关的实验代码可登录相关网站进行下载以供参考。

本书适合于通信工程、电子信息工程专业高年级的本科生、研究生学习使用,也可供相关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

通信系统仿真实验/杨青红主编. —北京:国防工业出版社,2015.7

普通高等院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-10038-9

I. ①通… II. 杨… III. ①通信系统—系统仿真—实验—高等学校—教材 IV. ①TN914-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 171874 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 9 字数 213 千字

2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 前 言

对于 Matlab 语言,由于其语法的简洁性、代码接近于自然数学描述方式以及丰富的专业函数库,使其在各个专业领域都得到了广泛的应用。尤其在教学、科研、工程领域,Matlab 已经成为众多科学研究者不可或缺的工具。而对于 MathWorks 家族的另一成员——Simulink 来说,用户对它的熟知程度远不及 Matlab。当你接触到 Simulink 并对它有一定了解时,你会被它展现出的不一样的编程方式和仿真效果所吸引。Simulink 是一个采用图形框图对系统进行模拟与仿真的软件平台。在该平台上可对动态系统进行建模、仿真和分析。平台支持线性和非线性系统,能够在连续时间域、离散时间域或者两者混合时间域里进行建模,它同样支持具有多种采样速率的系统。Simulink 经过多年的发展,平台日趋成熟,其应用也备受科研工作者、学生、工程技术人员的关注。本书以通信系统实践教学平台为基础,向读者介绍 Simulink 系统软件的使用。书中提到的内容均来自作者在平台开发过程中,使用 Simulink 软件的经验 and 体会,希望这些能够给使用或是想要学习 Simulink 的读者提供一点小小的帮助。

Simulink 由 Simulink 引擎和一个包含了丰富系统模块的 Simulink 模块库组成。通过多年不断的版本更新,Simulink 充分扩展了以各种应用为核心的专业模块库。如信号处理模块库(Signal Processing Blockset)、通信模块库(Communications Blockset)、射频模块库(RF Blockset)等。本书从系统的角度介绍通信仿真的整个流程,仿真模型构建的过程中主要用到以上三个模块库。在讨论系统模型构建的过程中,我们先从构建模型的基本元素——模块入手,对信号的产生处理流程进行分析。使读者能够通过本书了解到 Simulink 在通信系统仿真中的应用。

本书共有 4 章。第 1 章主要对单路单载波语音数据传输系统、中速率通信系统、广播系统三种通信系统的原理、系统结构相关性能指标做一个简单的介绍。通过这一章使读者可以对三种通信系统有一定的了解。学习了这章的基础知识以后,在后面第 4 章介绍三种系统模型时,读者会对整个模型有更深入的了解。同时读者也会体会到将实际系统抽象为系统模型的整个过程。

第 2 章主要针对系统仿真的概念和 Simulink 平台工具进行介绍。通过对系统仿真概念的介绍使读者理解仿真对实际工作学习的意义并对系统仿真的整个流程有一个初步的认识。同时本章会对 Simulink 几个主要功能进行讲解,让读者能够熟练 Simulink 这一图形化的开发工具,而且本章还将简要介绍 Simulink 工作原理,帮助读者深入理解 Simulink 开发平台。

第 3 章围绕通信系统仿真中经常使用到的模块进行讨论。主要涉及通信模块库、射频模块库、信号处理模块库三个模块库中的模块,同时还增加了一些对自定义模块的讲

解。3.2节对部分模块进行了功能和性能的验证,搭建了简单的仿真链路。在介绍讲解仿真模块时,本章按照功能对模块进行了分类介绍。通过对模块内部构造、参数设置的讲解,使读者能够迅速地掌握使用模块,能够进一步学会自定义读者所需要的模块。

第4章以典型卫星通信链路为例,介绍了通信系统仿真建立的具体流程。从系统结构框图到建模流程框图再到具体模型建立,一步步详细地讨论了系统建模仿真的整个过程,并以实际搭建的系统模型为例进行介绍。在本章的最后,对搭建出的系统模型进行了功能和性能的验证,对结果进行了相关的分析讨论,以证明整个系统仿真设计达到实际的性能指标。

本书有如下特点:

(1) 可操作性、可实现性强。本书从通信系统的基本原理入手讨论仿真建模、编程实现、系统各功能分析验证和系统链路性能分析。通过大量仿真实例使读者能够快速地了解 Simulink 仿真平台设计软件。

(2) 专业性强。本书的仿真系统模型都来源于实际典型的卫星通信系统,通过仿真模块的搭建完成对实际系统物理层和链路层传输过程的完整再现。对于从事卫星通信研究和相关工程技术的人员来说具有很大的参考价值。

(3) 难易适中、结论性强。不同于其他的专业通信技术教材,本书侧重于工程实践。书中内容所涉及理论上的公式侧重于实现和应用,弱化了其理论推导的过程,对于常用到的知识点只给出结论性公式,对于实际的工程应用有一定的指导意义。

本书是以 Matlab/Simulink R2009a 版本为例进行介绍,书中所有的仿真实例均来源于教学工程实现,具有较高的实用性和可靠性。本书的附录给出了部分的研究报告及问题讨论,这些研究报告和问题讨论一般是对实际工程问题的抽象和对 Simulink 应用的升华,许多问题的设计给读者预留了很大的空间,以便提出更好的设计思想,答案可以灵活多样。

本书所有实例的模型文件和程序代码都可登录网址进行下载(具体网址是:www.ndip.cn),以供读者学习研究。本书可供通信工程、电子信息工程专业高年级的本科生、研究生和相关的工程技术人员进行参考。书中用到了专业的通信知识,读者需查阅相关的通信原理书籍进行参考。

本书的第1章由杨育红、王彬、郭虹编写,第2章由郭彬、王鹏、陈阿君编写,第3章由辛刚、陈阿君、韩乾、李永才编写,第4章由杨育红、王彬、韩乾编写。

由于作者水平有限,书中难免存在一些不足甚至错误之处,请广大读者批评指正。作者的电子邮箱地址是 hanqian476@163.com。

作者

# 目 录

第 1 章 通信系统概述	1
1.1 通信系统的基本概念	1
1.2 卫星通信系统概述	3
1.2.1 卫星通信系统的组成及网络形式	3
1.2.2 卫星通信系统工作频段	4
1.2.3 卫星通信体制概述	5
1.3 典型卫星通信系统概述	10
1.3.1 单路单载波语音数据传输系统	10
1.3.2 中等数据速率传输系统	12
1.3.3 卫星 DVB-S 系统	14
第 2 章 系统仿真平台	18
2.1 系统仿真概念与流程	18
2.1.1 通信系统仿真的概念	18
2.1.2 通信系统仿真的流程	18
2.2 Simulink 工具应用	20
2.2.1 Simulink 简介	20
2.2.2 Simulink 编程语言——S 函数	20
2.2.3 Simulink 子系统的创建	28
2.2.4 Callback 子程序的使用	31
2.3 VC++ 控制调度的实现	32
2.3.1 Matlab 引擎的使用	32
2.3.2 基于 COM 组件的窗口嵌入方法	33
2.3.3 应用实例	34
第 3 章 系统功能模块设计与实现	37
3.1 通信系统仿真模块	37
3.1.1 信源模块	37
3.1.2 信源编码/解码模块	38
3.1.3 信道编码/译码模块	45

3.1.4	调制/解调模块 .....	56
3.1.5	多路复用/分接模块 .....	63
3.1.6	射频模块 .....	68
3.1.7	信道模块 .....	75
3.1.8	滤波模块 .....	77
3.1.9	信号观测模块 .....	80
3.1.10	测量模块 .....	82
3.1.11	BER 分析工具 .....	83
3.2	通信系统模块功能分析验证 .....	85
3.2.1	PCM 编码/解码模块的验证及分析 .....	85
3.2.2	DM 编码/解码模块的验证及分析 .....	88
3.2.3	DPCM 编码/解码模块的验证及分析 .....	89
3.2.4	汉明码编码/译码模块的验证及分析 .....	89
3.2.5	BCH 编码/译码模块的验证及分析 .....	91
3.2.6	RS 编码/译码模块的验证及分析 .....	95
3.2.7	卷积码编码/译码模块的验证及分析 .....	97
3.2.8	MFSK 调制/解码模块的验证及分析 .....	98
3.2.9	MPSK 调制/解码模块的验证及分析 .....	101
3.2.10	QAM 调制/解码模块的验证及分析 .....	104
<b>第 4 章</b>	<b>典型卫星通信链路仿真的设计与实现 .....</b>	<b>106</b>
4.1	单路单载波语音数据传输系统 .....	106
4.1.1	链路仿真建模 .....	106
4.1.2	链路实现及验证 .....	107
4.2	中等数据速率传输系统 .....	110
4.2.1	链路仿真建模 .....	110
4.2.2	链路实现及验证 .....	110
4.3	DVB-S 卫星广播链路 .....	116
4.3.1	链路仿真建模 .....	116
4.3.2	链路实现及验证 .....	116
附录 1	调制与编码权衡研究报告 .....	130
附录 2	ITU 标准 SCPC 通信系统体制研究报告 .....	134
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>138</b>

# 第 1 章 通信系统概述

## 1.1 通信系统的基本概念

通信的目的在于传递信息，将完成信息传递所需全部设备和传输媒质的总和称为通信系统。典型通信系统的模型如图 1-1 所示。

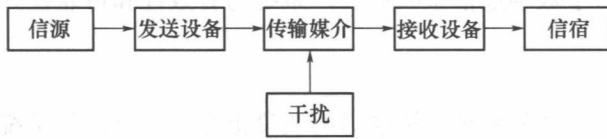


图 1-1 通信系统的一般模型

系统中的信源是指发出信息的信息源，其作用是把各种可能消息转换成原始电信号。发送设备是将信源发出的信息转换成适合在信道中传输的信号形式。对应不同的信源和不同的通信系统，发送设备有不同的组成和功能。对于数字通信系统而言，发送设备常常包含基带处理和频带处理两部分，基带处理包括信源编码、信道编码以及为达到某些特殊要求所进行的各种处理，如多路复用、保密处理等；频带处理包含频率变换、滤波、功率放大等频带部分。传输媒介又称为通信信道，分为无线信道和有线信道。在有线信道中电磁信号（或光信号）被约束在某种传输线（架空明线、电缆、光缆等）上传输；在无线信道中电磁信号沿空间（大气层、对流层、电离层等）传输。无线媒介可以利用的频段从中、长波到激光，有较宽的频段，用不同性能的设备 and 配置方法，可以组成不同的通信系统。信道如果按传输信号的形式又可以分为模拟信道和数字信道。接收设备的基本功能是完成发送设备各项处理的“反变换”，即进行解调、译码、解密等。它的任务是从带有干扰的信号中正确恢复出原始消息，对于多路复用信号，还包括解复用设备用以实现正确分路。信宿是信息传送的目的地，也就是信息接收者。它是将复原的原始电信号转换成相应的消息。噪声源是系统内各种干扰影响的等效结果。系统的噪声来自各个部分从发出和接收信息的周围环境、各种设备的电子器件到信道所受到的外部干扰，这些都会对信号形成噪声影响。通信系统设计的主要任务就是克服噪声的影响。

以上所述是单向通信系统，但在大多数场合下，通信双方是收发兼备的，以便随时交流信息，实现双向通信，电话就是一个最好的例子。如果两个方向有各自的传输媒介，则双方都可以独立进行发送与接收，但若共享一个传输媒介，则必须用频率、时间或空间分配等办法来共享。

现代通信中常用的是数字通信系统，如图 1-2 所示。



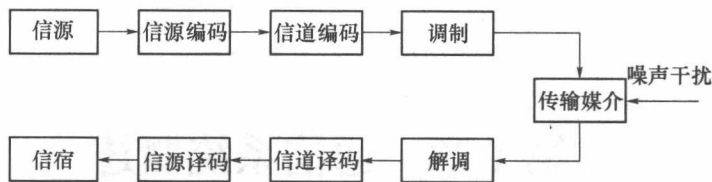


图 1-2 数字通信系统的组成

除图 1-2 中基本功能模块以外, 根据不同的通信体制和要求还会有其他的处理过程, 比如数据加密、扩频调制等。

在实际通信系统中, 为了衡量系统的传输质量, 通常用有效性和可靠性作为衡量通信系统的最重要的性能指标。前者表示通信系统传输信息的数量, 后者反映通信系统传输信息的质量。对于数字通信系统而言, 系统的有效性和可靠性具体可用传输速率和传输差错率来衡量。

### 1. 传输速率

传输速率是衡量通信系统传输能力的质量指标, 它反映了系统的有效性, 常用的有以下 3 种指标:

(1) 码元速率 ( $R_s$ )。携带消息的信号单元称为码元, 单位时间内传输的码元数称为码元速率, 又称码元传输速率, 单位为波特 (Baud)。

(2) 信息速率 ( $R_b$ )。在单位时间内传输的平均信息量称为信息速率, 也称为比特率。单位是比特/秒 (b/s 或 bps)。

码元速率和信息速率有以下关系:

$$R_b = R_s \log_2 N \quad (\text{b/s}) \quad (1-1)$$

$$R_s = \frac{R_b}{\log_2 N} \quad (\text{Baud}) \quad (1-2)$$

(3) 频带利用率 ( $\eta$ )。频带受限制的信道简称为频带受限信道, 常用“频带利用率”来衡量传输系统的有效性。它是指单位频带内所能实现的码元速率或者信息速率。

$$\eta = \frac{\text{码元速率}}{\text{带宽}} \quad (\text{Baud}) \quad (1-3)$$

或者

$$\eta = \frac{\text{信息速率}}{\text{带宽}} \quad (\text{b}/(\text{s}\cdot\text{Hz})) \quad (1-4)$$

### 2. 传输差错率

传输差错率是衡量数字通信系统的可靠性的性能指标。错误率又分为误比特率和误码率。

(1) 误比特率:

$$P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输比特数}} \quad (1-5)$$

(2) 误码率:

$$P_s = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}} \quad (1-6)$$

用二元码传输时,  $P_b = P_s$ ; 而用  $M$  元码传输时, 两者不等。

## 1.2 卫星通信系统概述

卫星通信是地球上(包括水面、地面和低层空间)的无线电通信站利用人造卫星作为中继站转发无线电波建立通信联系的一种手段。与其他通信方式相比, 卫星通信具有通信距离远, 覆盖面积大; 便于实现多址联接; 通信频带宽, 传输容量大; 机动灵活; 通信线路稳定可靠, 传输质量高; 成本与通信距离无关等优点。但是, 卫星通信在技术上还存在一些缺点, 比如: 对通信卫星可靠性要求高, 通信卫星寿命有限; 通信卫星的发射与控制技术比较复杂; 卫星通信具有较大的信号传输延迟和回声干扰等。

### 1.2.1 卫星通信系统的组成及网络形式

卫星通信系统是一个非常复杂的系统, 它由地面部分和空间部分组成。主要包括通信地球站分系统、跟踪遥测指令分系统、监控管理分系统及空间分系统等四大部分, 如图 1-3 所示。其中跟踪遥测指令分系统对卫星进行跟踪测量, 控制其进入静止轨道上的指定位置, 并对在轨卫星的轨道、位置及姿态进行监视和校正。监控管理分系统对在轨卫星的通信性能及参数进行业务开通前的监测和业务开通后的例行监测和控制, 以保证通信卫星的正常运行和工作。空间分系统即通信卫星, 其主体是通信装置(包括天线和转发器), 保障部分则有星上的遥测指令、控制装置和能源装置等。地面的跟踪遥测指令分系统和监控管理分系统, 及与空间相应的系统并不直接参与通信, 所以很多场合所述的卫星通信系统仅由卫星转发器和通信地球站组成。

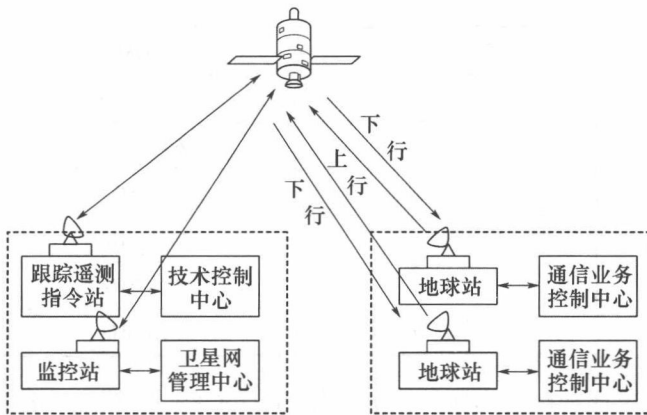


图 1-3 卫星通信系统的基本组成<sup>[1]</sup>

与地面通信系统类似，每个卫星通信系统都有一定的网络结构，使网络中各地球站能够通过卫星按照一定形式进行通信。卫星通信网络有星型、网格型和混合型三种形式，网络拓扑结构如图 1-4 所示。在星型网络中，外围各边远站仅与中心站直接通过卫星进行通信，边远站之间不能直接通过卫星直接通信，只能经中心站转接才能建立联系。在星型 VSAT 网中，中心站的天线尺寸较大，发射功率较大，而边远站的天线尺寸较小，发射功率较小。网格型网络中，各站彼此可经卫星直接通信。混合型有两种形式，一种是星型和网格型混合形式；另一种通常是星型网络结构，各边远站之间的话音信号直接通过卫星进行通信，信令等控制信号则通过中心站进行转接。

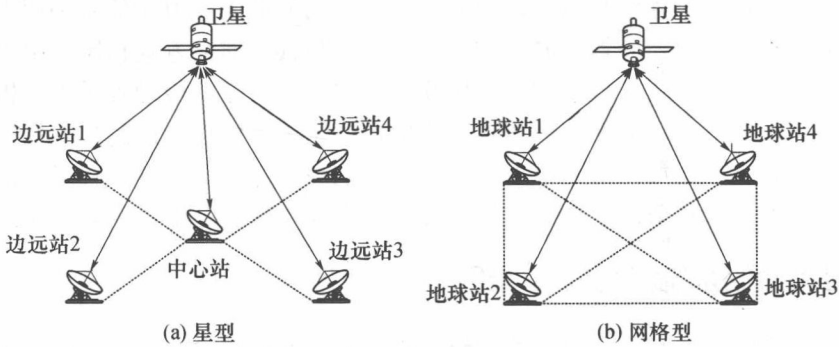


图 1-4 卫星通信网络结构

## 1.2.2 卫星通信系统工作频段

卫星通信工作频段的选择直接影响整个系统的传输容量、质量、可靠性、设备的复杂性和成本的高低，还将影响与其他通信系统的协调能力。通常，将卫星通信使用的频率范围选在微波波段（300MHz~3000GHz），且必须高于 100MHz，以便不受电离层的影响。世界无线电行政会议规定，卫星通信的使用频段为 136MHz~275GHz，但是，中间有许多频段被航天、移动、广播、海上等领域使用。目前，大多数卫星选择频段如下：

UHF 波段	400/200MHz
L 波段	1.6/1.5GHz
C 波段	6/4 GHz
X 波段	8/7 GHz
Ku 波段	14/12 GHz
	14/11 GHz
Ka 波段	30/20 GHz

卫星通信的频段还在向更高频段扩展，如 30/20GHz 的频段已开始使用，其上行频率为 27.5~31GHz，下行频率为 17.7~21.2GHz，该频段所用带宽可达 3.5GHz，但降雨影响严重。此外，低于 2.5GHz（处于 UHF 频段）的频率大部分用于非同步卫星或移动业务的卫星通信。

### 1.2.3 卫星通信体制概述

通信体制是指通信系统所采用的信号传输方式和信号交换方式。卫星通信系统的通信体制除了有一般无线通信均要涉及到的基本信号形式和调制方式外,还包含多址联接方式、卫星信道的分配方式等内容。通常,按照所采用的基带信号处理方式、调制方式、多址联接方式、信道分配及交换制度的不同来描述不同的卫星通信系统体制。

#### 1. 基带处理部分

在数字卫星通信系统中,基带信号处理包括信源编码与译码、信道编码与译码、加扰与解扰、复用/复接与解复用/分接等环节。

##### 1) 信源编码

卫星通信中主要有语音和图像两种业务,不同的业务采用不同的信源编码方式。

对于话音业务,常用的话音信号压缩编码方式有波形编码、参数编码和混合编码方式。波形编码是一种直接将时域信号转换成数字代码的编码方式,其编码信号与原输入信号基本保持一致。这种方式的特点是信号的信噪比高。脉冲编码调制和自适应增量调制都属于这一类。其中,通用的 PCM 系统的数码率为 64Kb/s,话音质量达到了长途电话通信网的标准要求,在大、中容量民用数字卫星通信系统中应用广泛。自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)在数码率为 32Kb/s 的情况下,可达到 64Kb/s 的 PCM 系统的质量,且信道利用率提高一倍,并在许多实际系统中得到了应用。 $\Delta M$ (DM)系统虽然也压缩了数码率,可以工作在 32Kb/s 或 16Kb/s,但其话音质量不如 PCM 和 ADPCM。参数编码是一种以发声机制模型为基础的编码方式,是将其转换成为数字代码的一种编码方式。参数编码的压缩比很高,但是通常话音质量只能达到中等水平。如数字移动通信系统中与卫星移动通信系统中使用的线性预测编码(LPC)及其改进型,传输速率可压缩到 2~4.8Kb/s,甚至更低,但是此时收端的话音仍能保证相当程度的可懂度。混合编码综合了波形编码和参数编码的优点,使编码后的数字话音既包含话音特征参量,又包含部分波形编码信息。如多脉冲激励线性预测编码系统、正规脉冲激励编码系统和码激励线性预测编码系统等。混合编码可以将速率压缩至 4~16Kb/s,在此范围内能够获得良好的话音效果。

对于图像信号而言,可以分成两种情况:一是广播电视信号,另一种是会议电视信号。对于广播电视信号,不进行频带压缩的传输速率高达 160Mb/s,一般采用帧内差值脉冲编码方式(DPCM),把传输速率压缩至 34Mb/s 以下。对差值的量化仍采用非线性压扩特征。目前国际上已有的高效图像编码技术和标准有 MPEG-2、MPEG-4、H.264 等。对于变化较小的视频会议电视信号,一般编码传输速率倾向于采用 1.5~2.0Mb/s,对于这种信号的编码,多采用帧间和帧内预测相结合的方法。

##### 2) 信道编码

在数字卫星通信中,广泛应用差错控制技术,以提高系统通信可靠性。常用的有循环冗余校验(CRC)和前向纠错(FEC)技术。

循环冗余校验(CRC)是在发端产生具有某种特殊数学结构的 CRC 码,与数据一起发射出去。在收端采用与发端相同的 CRC 码,并与发射的码进行比较,若一致,则认为接收的数据与发射的数据是完全相同的,否则认为接收数据中存在错误。

前向纠错 (FEC) 的方法是通过增加冗余比特, 以发现或者纠正错误。与未编码时相比, 误码性能明显改善, 这种改善可以用编码增益来描述。在给定误比特率条件下, 未编码与编码传输的归一化信噪比  $E_b/N_0$  之差称为编码增益。在数字卫星通信中主要采用分组码和卷积码, 近年来, 高效新型编码 (如 Turbo 码、LDPC 码) 的应用也日趋广泛。在给定误比特率为  $10^{-5}$  时, 采用分组码的编码增益为 3~5dB, 采用卷积码并进行维特比译码可以获得 4~5.5dB 的编码增益, 采用 RS 分组码和卷积码、维特比译码的级联码可以获得编码增益为 6.5~7.5dB。

### 3) 扰码

在数字卫星通信中为了便于提取比特定信息并进行能量扩散, 通常需要对原信号进行加扰以改变原信号的统计特性再进行传输; 通常是用 PN (伪随机码) 序列与数字基带信号序列进行模 2 加来实现加扰。接收时, 则用与发端相同的 PN 序列跟解调出的数字基带信号序列进行模 2 加进行解扰, 从而恢复原数字基带信号。

## 2. 卫星通信中的调制部分

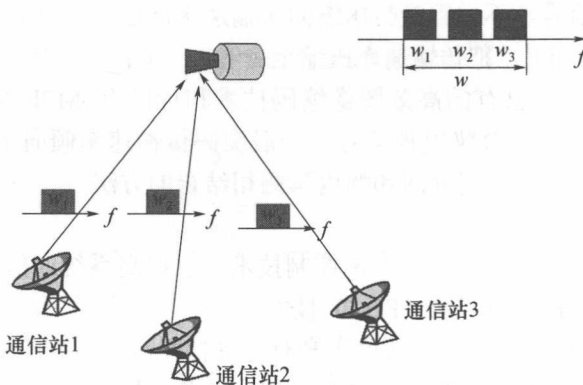
在卫星数字通信系统中多采用 PSK、FSK 和以此为基础的其他调制方式。从功率有效角度, 常用 QPSK、OQPSK、MSK 和 GMSK 等调制方式; 从频谱有效角度来看, 常用 MPSK、MQAM 等调制方式; 此外, 还有格型编码调制 TCM 和多载波调制等新技术也在卫星通信中得到应用。

## 3. 卫星通信中的多址联接部分

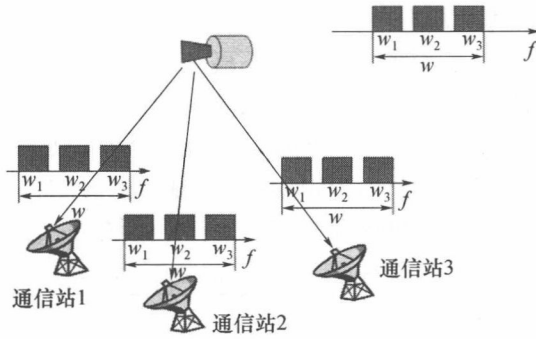
多址联接是指多个地球站通过共同的卫星, 同时建立各自的信道, 从而实现各地球站相互之间通信的一种方式。多址方式的出现, 大大提高了卫星通信链路的利用率和通信连接的灵活性。目前常用的多址方式有 FDMA、TDMA、CDMA 和 SDMA 以及它们的组合形式。此外, 还有利用正交极化的极化分割多址联接方式等。

### 1) 频分多址 (FDMA) 方式

当多个地球站共用卫星转发器时, 如果根据配置的载波频率的不同来区分地球站的站址, 这种多址联接方式称为频分多址。其基本特征是把卫星转发器的可用射频带宽分割成若干互不重叠的部分, 分配给各地球站作为所要发送信号的载波使用。由于各载波的射频频率不同, 可以区分开不同的地球站。FDMA 上行和下行线路工作原理如图 1-5 所示。



(a) FDMA上行线路原理图



(b) FDMA下行线路原理图

图 1-5 FDMA 工作原理图

频分多址有单址载波、多址单载波和单址单载波三种处理方式。其中，单址载波方式是指每个地球站在规定的频带内可发多个载波，每个载波代表一个通信方向，如图 1-6 所示。如果系统有  $n$  个地球站，则每个地球站需发  $(n-1)$  个载波，而转发器则要转发  $n(n-1)$  个载波。多址载波(MPC)方式是指每个地球站只发一个载波，在基带中利用 FDM、TDM 多路复用方式将不同的频率或时隙划分给不同的目的地球站，如图 1-7 所示。单路单载波(SCPC)方式是指每个载波只传送一路话音或数据信号，如图 1-8 所示。

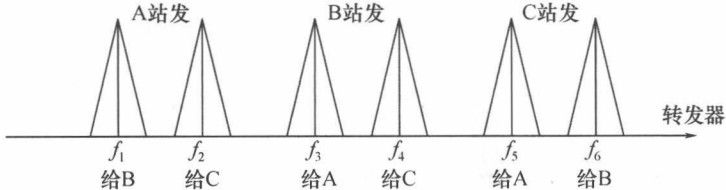
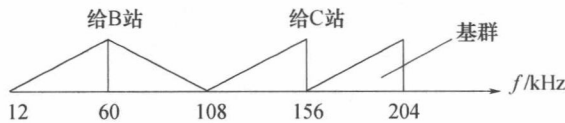


图 1-6 FDMA 单址载波排列示意图<sup>[1]</sup>



(a) 频分多路复用



(b) 时分多路复用

图 1-7 基带多路复用中的信道定向<sup>[1]</sup>

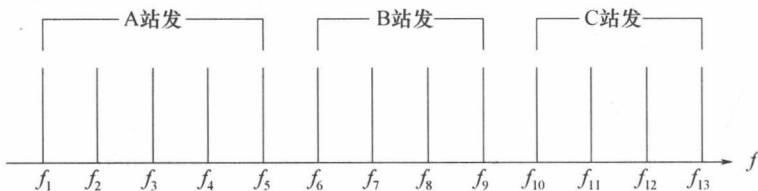


图 1-8 SCPC 信道定向<sup>[1]</sup>

## 2) 时分多址 (TDMA) 方式

在 TDMA 方式中, 分配给各地球站的不再是一个特定频率的载波, 而是一特定的时隙。各地球站在定时同步系统的控制下, 只能在指定的时隙内向卫星发射信号, 而且时间上互不重叠。在 TDMA 系统中, 地球站中有一个为基准站, 为其他各站发射定时基准, 基准站常由某一地球站兼任, 各地球站按规定的时隙依次向卫星发射信号。图 1-9 以三个地球站为例, 给出了 TDMA 系统的工作示意图。

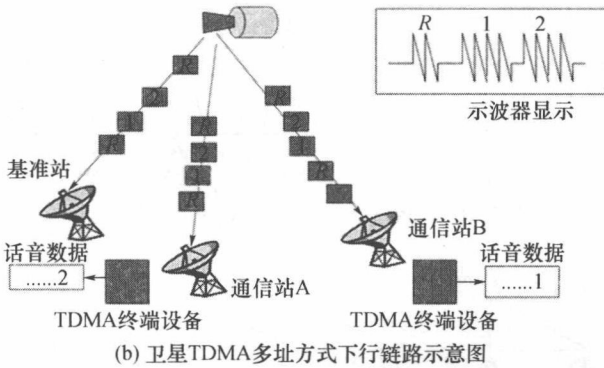
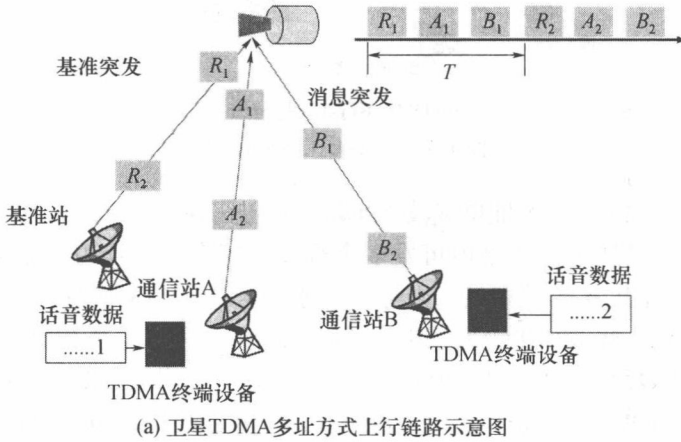


图 1-9 TDMA 系统

在 TDMA 系统中, 所有地球站在卫星内占有的整个时间间隔称为帧周期 (简称帧)。而把每个地球站占有的时隙称为分帧。卫星的一帧由一个基准站分帧和所有地球站分帧组成。除基准站分帧以外, 其他每个地球站分帧均由前置码和信息数据两部分组成。前置码包括载波恢复和比特定时信息、独特码、监控脉冲、勤务脉冲等内容。载波恢复和比特定时恢复脉冲主要用来在接收端提供相干解调的载波和定时同步信息。独特码提供本分帧的起始时间标志和本站站名标志, 并为完成分帧同步提供必要信息。监控脉冲用来对信道特性进行测量并标明信道分配的规律和指令。勤务脉冲用来作各站之间的通信联络。信息数据部分包含发往各地球站的数字语音或其他数据信号, 不同时隙承载发往不同地球站的信息数据。基准站分帧只有一个前置码, 其中除了没有勤务联络信号外, 其他均与别站前置码的结构一样, 它的独特码是一帧开始的时间基准。图 1-10 所示为一种典型的帧结构。

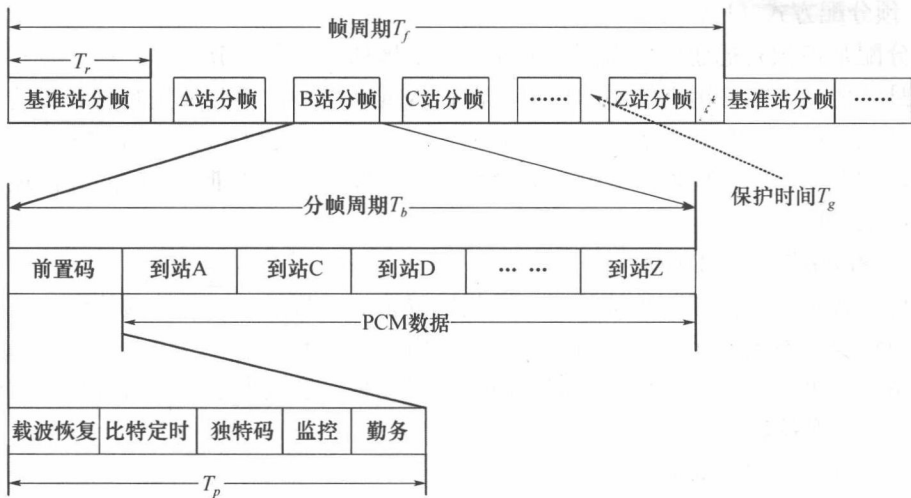


图 1-10 一种典型的帧结构<sup>[1]</sup>

### 3) 空中交换—时分多址 (SpaceSwitch—TDMA, 简称 SS-TDMA) 方式

如果通信卫星采用多波束天线, 各波束指向不同区域的地球站, 这种依靠卫星波束指向的不同来区分地球站地址的方式称为空分多址 (SDMA)。通常, SDMA 方式和其他多址方式结合使用。在 SS-TDMA 方式中, 为了在不同波束覆盖的区域之间进行通信, 通常在星上必须设置一个交换矩阵, 该交换矩阵根据预先设计好的交换次序进行高速切换。

### 4) 码分多址 (CDMA) 方式

码分多址 (CDMA) 方式是利用自相关特性非常强而互相关性比较弱的伪随机序列作为地址信息 (地址码), 对被用户信息调制过的载波进行扩频调制, 经卫星信道传输后, 在接收端以本地产生的伪随机序列作为地址码进行解扩, 当接收信号的地址码与本地地址码完全一致时, 将该扩频信号还原为原来的窄带信号接收下来, 其他与本地地址码不同的信号则仍保持或扩展为宽带信号被滤掉, 从而实现多址联接。图 1-11 是典型的 CDMA/DS 直接序列扩频 CDMA 系统原理示意图。



图 1-11 CDMA/DS 多址能力示意图

## 4. 卫星通信中的信道分配

所谓信道分配是指: 对于 FDMA 系统, 分配各地球站占用的转发器频段; 对于 TDMA 系统, 分配各站占用的时隙; 对于 CDMA 系统, 分配各站使用的码型。常用的分配方式有:



### 1) 预分配方式 (PA)

预分配是指预先把通信信道固定分配给各个地球站。信道分配后, 在一段时期内不改变, 且其他站不能使用别的站的信道。在 FDMA 系统中, 系统所用频带和载波事先分配给各个地球站。业务量大的地球站, 分的信道多些, 反之少些。在 TDMA 系统中, 事先把转发器的时隙分成若干分帧, 并分配给各地球站, 业务量大的站的分帧长度长, 反之分帧长度短。

### 2) 按需分配方式 (DAMA)

这种方式是所有信道归各站共用, 当某地球站需要与另一地球站通信时, 首先提出申请, 通过控制系统分配一对空闲信道供其使用。一旦通信结束, 这对信道又归共用。由于各站之间可以互相调剂使用信道, 因而可用较少的信道为较多的站服务, 信道利用率高, 但控制系统较复杂。

### 3) 随机分配方式 (RA)

随机分配是指通信网中的各个用户可以随机地选取 (占用) 信道。这种分配方式常采用 ALOHA 技术, 适用于随机、突发通信。

## 1.3 典型卫星通信系统概述

### 1.3.1 单路单载波语音数据传输系统

本节以 FDMA 体制中的预分配 PCM/PSK/SCPC 系统为例介绍单路单载波语音数据传输系统。按照 IESS-303 文件规定, 一个 36MHz 带宽的转发器的频率配置如图 1-12 所示。图中, 导频信号为 70MHz, 每信道的分配带宽为 45kHz, 可以容纳 800 条信道, 靠近 70MHz 导频两侧的第 400 路和第 401 路信道空闲不用, 信道间的保护间隔为 22.5kHz。

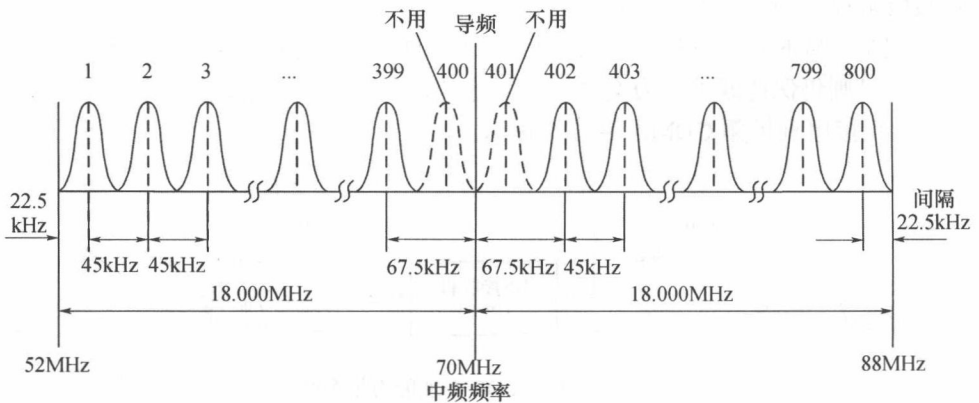


图 1-12 PCM/PSK/SCPC 系统的频率配置

SCPC 系统通信地球站主要由前端设备与地面终端设备两大部分组成, 其中前端与其他数字卫星通信系统中前端设备基本相同, 地面终端设备能独特地反映 SCPC 系统特点。SCPC 地面终端设备主要由中频公共设备和通道设备两部分组成, 如图 1-13 所示<sup>[1]</sup>。