



数字卫星通信

[美] J. J. 斯普里凯尔 著

白延隆 李道本 等译

人民邮电出版社

数 字 卫 星 通 信

〔美〕 J. J. 斯普里凯尔 著
白 延 隆 李 道 本 等译

人 民 邮 电 出 版 社

Digital Communications by Satellite

James J. Spilker, Jr.

内 容 提 要

本书较全面地论述了现代数字卫星通信及一般数字通信技术中的各个方面,包括信源的数字化及多路复用、同步卫星通信系统、调制、解调、编码及各种定时同步等技术。可供有关大专院校师生及从事卫星及数字通信工作的工程技术、科研人员参考。

数 字 卫 星 通 信

[美] J. J. 斯普里凯尔 著

白 延 隆 李 道 本 等译

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北 京 印 刷 一 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

开本: $850 \times 1168^{1/32}$ 1980年8月第一版

印张: 22 28/32 页数: 366 1980年8月北京第一次印刷

字数: 607 千字 印数: 1—5,000 册

统一书号: 15045·总2101-无677

定价: 2.80 元

译 者 序

本书是从美国斯普里凯尔教授 1977 年的著作 «Digital Communications by satellite» 翻译过来的, 是 70 年代斯坦福大学毕业班及研究生的教材。书中全面地综合了近年来国际上有关数字卫星通信及数字通信的一些主要文献的成果, 着重于理论阐述, 内容相当丰富。为了能更好地领会本书的内容, 要求读者具备概率论与随机过程的初步知识 (例如应读过达文波特与茹特的 «随机信号与噪声引论»、王梓坤的 «概率论基础及其应用» 等书) 以及有关通信理论方面的基础知识 (例如应读过伍成夸夫的 «通信工程原理»、罗斯的 «信息与通信理论» 等书)。

本书对于大专院校的教师、研究生、高年级学生及有关工程技术人员来说, 是一本很好的参考用书。美中不足的是由于书中内容过于广泛, 因而系统性稍差。另外, 书中错误较多, 译者虽尽量予以更正, 但难免也有遗漏之处, 请读者注意。对译文不当之处, 还望读者多多批评指正。

本书是由七机部五〇四所白延隆、汤国璋、汪一飞、季荣昌、黄兰华和北京邮电学院李道本、钟义信、吴伟陵、赵长奎等同志翻译的。七机部五〇四所曾邑铎、潘华江两位同志曾对初稿进行过审校。最后由李道本同志作了总校。

译者

一九七九年六月

目 录

译者序

第一章 数字卫星通信原理	1
1-1 国际卫星通信	1
1-2 数字传输的优点	1
1-3 系统结构	2
1-4 本书的目的与内容安排	7

第一部分 信号的量化与多路复用

第二章 非限频信号的抽样	14
2-1 引言	14
2-2 抽样数据通信系统	15
2-3 最佳前置滤波器和匀滑滤波器	18
2-4 抽样数据系统的性能	24
第三章 脉码调制的量化	27
3-1 引言	27
3-2 幅度量化原理	28
3-3 无限带宽有延时编码系统的界限	36
3-4 最佳量化	39
3-5 大N准最佳量化器(压缩扩展器)	45
3-6 抗传输误差量化编码	62
3-7 在均匀量化器中应用加颤信号	72
3-8 小结	79
第四章 增量调制(ΔM)和差分脉码调制(DPCM)	81
4-1 引言	81
4-2 Δ 调制	82
4-3 有输出匀滑时, ΔM 的颗粒量化噪声	88
4-4 Δ 调制和脉码调制量化噪声的比较	95

4-5 Δ 调制中的斜率过载噪声	98
4-6 差分脉码调制—线性预测量化	106
4-7 可变斜率 Δ 调制(VSDM)	119
4-8 小结	126
第五章 时分多路复用	128
5-1 引言	128
5-2 脉冲填充	130
5-3 脉冲填充同步信号	133
5-4 码字填充	137

第二部分 卫星通信

第六章 同步卫星通信	147
6-1 引言	147
6-2 同步卫星中继	147
6-3 卫星	163
6-4 卫星和地面终端的相互干扰	170
6-5 天线旁瓣干扰	173
6-6 与频率有关的衰减和噪声效应	176
6-7 通信线路计算	186
第七章 卫星转发器	194
7-1 引言	194
7-2 转发器模型	194
7-3 转发器信道化	195
7-4 频率分配方案	201
7-5 处理转发器	211
第八章 多址地面终端	213
8-1 引言	213
8-2 地面终端的组成	214
8-3 发射信道与接收信道之间的隔离	218
8-4 频率变换及寄生影响	223
8-5 功率放大中的交调	229

第九章 频分多址方式和系统的非线性	232
9-1 引言	232
9-2 频分多址原理	232
9-3 单信道按需分配技术(SPADE)	235
9-4 任意带通非线性对 FDMA 信号的抑制	238
9-5 带通硬限幅器对 FDMA 信号的抑制	245
9-6 由幅度非线性所引起的畸变	249
9-7 多个输入信号加到硬限幅器时的交调畸变	262
9-8 为减小交调畸变所进行的频率选择	269
9-9 调幅/调相(AM/PM)转换效应	276
9-10 AM/PM 和幅度非线性的复合效应	282
第十章 时分多址(TDMA)	288
10-1 引言	288
10-2 TDMA 的概念和组成	288
10-3 TDMA 系统定时	290
10-4 TDMA 帧速率和帧格式	303
10-5 TDMA 系统的效率	307
10-6 利用帧-帧相干性恢复 TDMA 载频	308
10-7 TDMA 延时参考载频恢复	312
10-8 卫星切换 TDMA (SSW-TDMA) 方式	314

第三部分 畸变信道的调制与编码

第十一章 相干与差分相干传输技术	320
11-1 引言	320
11-2 双相相移键控(BPSK)	321
11-3 四相相移键控(QPSK)	332
11-4 参差四相相移键控(SQPSK)与最小频移键控(MSK)	341
11-5 多元相移键控(MPSK)	352
11-6 同信道干扰对 PSK 信号的影响	354
11-7 相移键控(PSK)信号的差分相干检测(DCPSK)	361
第十二章 载波相位跟踪与振荡器相位噪声	366

12-1	引言	366
12-2	频率稳定度与振荡器噪声	367
12-3	锁相环	379
12-4	对有相位噪声振荡器的锁相跟踪	384
12-5	锁相环的捕获与多卜勒跟踪性能	390
12-6	对锁相环的非线性分析	401
12-7	双相相移键控(BPSK)信号的部分相干接收—— 比特差错的影响	418
12-8	恢复四相相移键控(QPSK)载波的相位噪声	426
第十三章 滤波畸变对相移键控(PSK)信号的影响		435
13-1	引言	435
13-2	卫星通信线路中滤波器畸变模型	436
13-3	滤波器畸变对相移键控(PSK)及四相相移键控 (QPSK) 信号的影响	439
13-4	滤波器畸变对四相相移键控 (QPSK)信号及八相相移键控 (8-PSK) 信号的影响	451
13-5	带通横截均衡器	451
13-6	决策反馈均衡器	463
第十四章 数字通信中的比特同步		471
14-1	引言	471
14-2	非线性——滤波比特同步设备	473
14-3	同相/中间相位(IP/MP)比特同步设备	481
14-4	超前-滞后-选通比特同步设备	488
14-5	最佳比特同步	491
14-6	有钟定时误差时的比特差错概率	493
14-7	帧同步	496
第十五章 卷积码的维特比译码		502
15-1	引言	502
15-2	卷积码的结构	503
15-3	二元对称信道的最大似然译码	506
15-4	最大似然译码器的差错率性能	510
15-5	相干解调中相位噪声对译码器性能的影响	520

第十六章 基带数据传输	522
16-1 引言	522
16-2 双极性与对选三元(PST)脉冲传输	523
16-3 部分响应信号传输	528
16-4 正交幅移键控(QASK)信号的传输	536
16-5 数字扰码技术	538

第四部分 卫星中继全球定时

第十七章 卫星定时概念	546
17-1 引言	546
17-2 基本时间与频率概念	547
17-3 全网定时与全球定时概念	551
17-4 定时系统结构	557
17-5 定时系统信号	563
17-6 卫星轨道几何图形与路径时延变化	569
17-7 时钟定时误差	571
17-8 可能造成定时误差的一些原因	575
第十八章 伪随机信号的延时锁定跟踪	581
18-1 引言	581
18-2 延时锁定测距技术	582
18-3 系统方程式	593
18-4 噪声特性	598
18-5 接收数据限幅或量化的影响	602
18-6 时间选通信号的延时锁定跟踪	611
18-7 包络相关延时锁定环	614
18-8 各种伪随机信号延时锁定的比较	626
18-9 瞬态特性	634
18-10 伪随机信号的搜索与捕获	644
18-11 伪随机序列与有关码的性质	655
18-12 滤波器畸变对互相关函数的影响	666
附录 A 增量调制误差样值协方差系数的计算	669

附录 B 滤波器特性	673
附录 C 限幅器输入输出之间的互相关函数	685
符号表	687
参考文献	694

第一章 数字卫星通信原理

1-1 国际卫星通信

第一颗通信卫星斯科尔(Score), 是 1958 年被送入轨道的。1962 年在电星号(Telstar)卫星上开始使用有源卫星转发器进行通信。接着又在 1963 年发射了第一颗同步卫星——辛康号(Syncom)。1965 年 4 月 6 日发射了第一颗国际通信卫星即国际通信卫星-1 号(晨鸟号)。此后, 又有另外一些国际通信卫星被送入轨道。现在卫星通信已成为国际和国内远距离或中距离通信的一种重要手段。许多组织和国家, 包括国际通信卫星财团(通过通信卫星公司)、美国和加拿大的国内卫星通信网、均已提供实用的通信业务。由于现有通信网的不断增大以及许多其他国家也正在建立他们自己的国内卫星通信网, 因而卫星在通信上的使用正在不断扩大。

在几乎所有的系统中, 所使用的通信卫星都处在与地球自转同步的轨道上, 即同步卫星, 这就使得系统大为简化。每个地面终端站对同一颗卫星进行工作。初期国防通信卫星(IDGS)并不是同步卫星, 它相对地球某点作缓慢漂移, 约两个星期漂移一圈。这样就要求每个地面终端站将通信业务从一个卫星到另一个卫星地进行交接, 从而造成通信中断。同步卫星避免了交接的问题, 但需要附加燃料以进行东-西向或南-北向的轨道修正。与使系统操作简化及通信不中断的优点相比, 附加燃料所付的代价是很小的。

1-2 数字传输的优点

在用卫星中继或其它方式的无线通信中, 用数字信号进行通信

是一个日益重要的技术。数字传输有胜于其它方式的许多优点，包括：(1) 较容易且能有效地实现多路信号复用或“分组”处理数字消息以便接转。(2) 数字系统对转发噪声较不敏感，而对模拟系统来说，这通常是一个问题。(3) 有可能使用检测和纠错技术而得到极低的差错率和高保真度。(4) 较容易实现保密通信。(5) 运用数字部件的灵活性，允许采用微型和小型处理机、数字开关及大规模集成电路等。

数字传输技术正在卫星通信、微波中继、电缆及波导传输中日益广泛地被采用。但是数字传输线路所传输的信息，其原始的和最终的形式可以是模拟话音、或是图象信号，所以模拟——数字转换设备是数字通信系统中的一个重要部件。

本书重点介绍微波和特高频(UHF)的数字传输，多数卫星通信使用微波频段，这主要是由于它有宽的可供利用的带宽。其中特高频传输主要用于数据率较低的流动用户，此时，允许采用无方向性天线。

1-3 系统结构

到达地面终端的输入信号可以是各种模拟的或数字的形式。原始的信源通常包括：

模 拟	数 字
语 声	电传机或多路复用电传机
多路复用语声	计算机输入/输出
图 象	数字化电视或影象
扫描邮件或信件	数字化语声

这些信源的几种结构示于图 1.1。对模拟信号的模——数变换可以在信源中也可以在地面终端中进行。若各模拟量在其信源处已

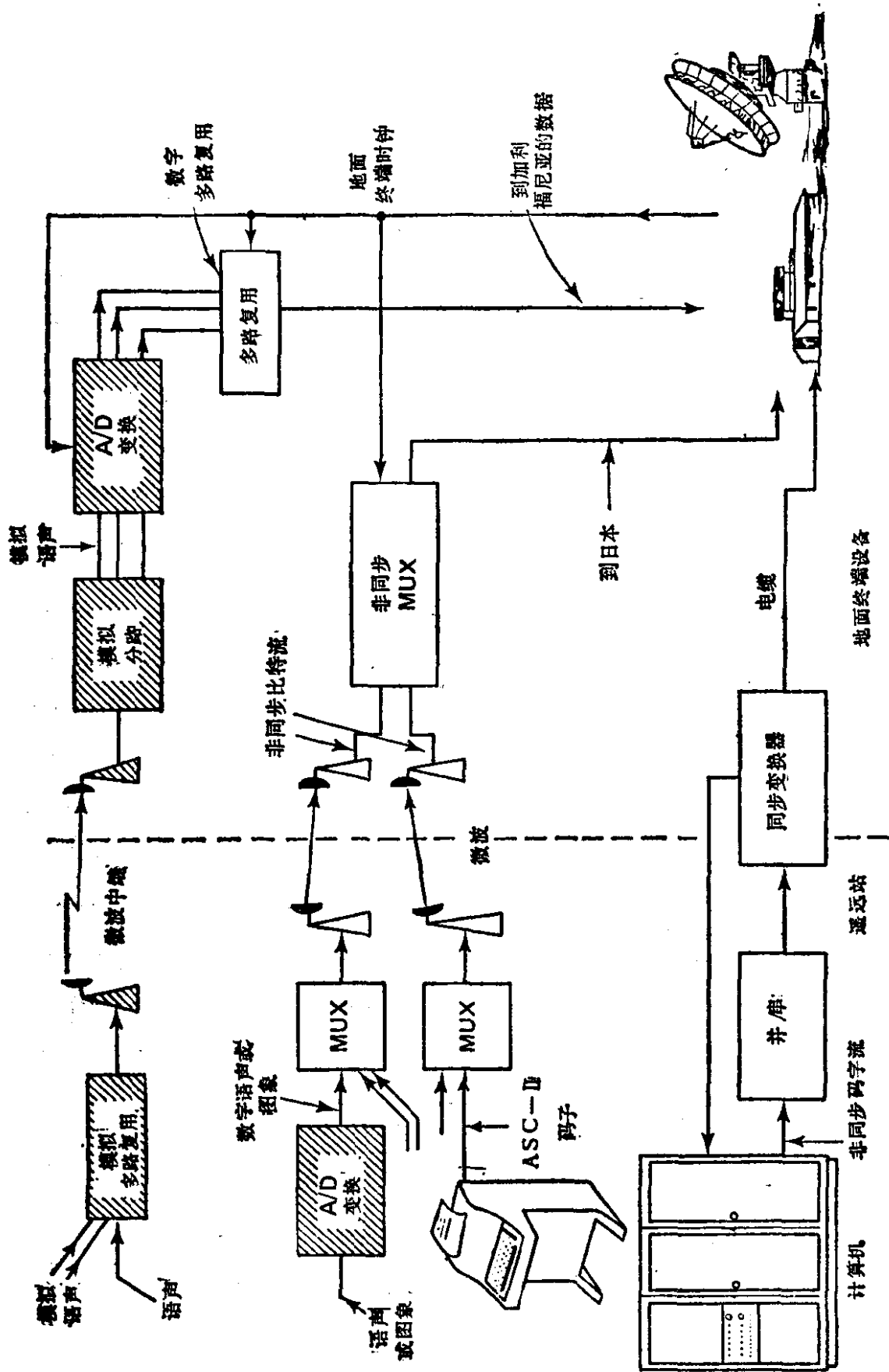


图 1-1 向地面站传送数据的结构示意图。图中阴影部分表示模拟通信系统。

被量化, 则它们各以一串比特流的形式到达地面终端。从不同信源来的这些并行比特流相互之间一般都不是准确同步的, (与时钟的相位、频率不完全一致) 因而必须作脉冲填充或码字填充, 将它们变

表 1-1 7 位码的美国标准信息互换码 (ASC II)

b_7				0	0	0	0	1	1	1	1
b_6				0	0	1	1	0	0	1	1
b_5				0	1	0	1	0	1	0	1
b_4											
b_3											
b_2											
b_1											
0	0	0	0	NULL	DC ₀	b	0	@	P	↑	↑
0	0	0	1	SOM	DC ₁	!	1	A	Q		
0	0	1	0	EOA	DC ₂	"	2	B	R		
0	0	1	1	EOM	DC ₃	#	3	C	S		
0	1	0	0	EOT	DC ₄ (STOP)	\$	4	D	T		
0	1	0	1	WRU	ERR	%	5	E	U	↑	未
0	1	1	0	RU	SYNC	8	6	F	V		
0	1	1	1	BELL	LEM	' (APOS)	7	G	W	未	用
1	0	0	0	FE ₀	S ₀	(	8	H	X		
1	0	0	1	HT SK	S ₁	)	9	I	Y	用	
1	0	1	0	LF	S ₂	*	:	J	Z		
1	0	1	1	V _{TAB}	S ₃	†	;	K	[		
1	1	0	0	FF	S ₄	(COMMA)	<	L	\		ACK
1	1	0	1	CR	S ₅	—	=	M	]		①
1	1	1	0	SO	S ₆	.	>	N	↑		ESC
1	1	1	1	SI	S ₇	/	?	O	←		DEL

注: 标准 7 比特码的位置顺序是: b_7 表示最高位比特; b_1 表示最低位比特

表 1-1(续)

例:

		b ₇	b ₆	b ₅	b ₄	b ₃	b ₂	b ₁
“R” 的电码为:		1	0	1	0	0	1	0
NULL	零/空闲	DC ₁ -DC ₃		设备控制				
SOM	电报开始	DC ₄ (停止)		设备控制 (停止)				
EOA	地址终了	ERR		差错				
EOM	电报终了	SYNC		同步空白				
EOT	传输终了	LEM		电报纸完了				
WRU	“你是谁?”	S ₀ -S ₇		(信息) 分隔				
RU	“你是……吗?”	b		字分隔 (空白, 通常不印)				
BELL	振铃	<		小于				
FE ₀	格式变换器	>		大于				
HT	水平制表							
SK	空白 (穿孔卡片)	↑		向上				
LF	换行	←		向左箭头 (意指/由……代替)				
V _{TAB}	垂直制表							
FF	换页	\		倒斜线				
CR	回车	ACK		认可				
SO	移出	①		未分配控制码				
SI	移入	ESC		逸出				
DC ₅	为数据线路逸出而	DEL		删去/空白				
	准备的设备控制							

换到一个共用的、稳定的地面终端的时钟速率上, 才能进行多路复用(MUX)与重新传输。为了使接收地面站能有效地进行解调, 要求变换后的同步数字形式具有高的时钟速率稳定度。

当信源产生由美国标准信息转换码 (ASCII) 所组成的比特流 (见表 1-1) 时, 则送到地面终端的已经是编码后的数字信号形式了, 这种信源形式在电传机或计算机——计算机装置中是典型的。另一方面, 有些模拟信号以多路复用的形式到达地面终端。这时, 可与

该地面终端的时钟同步地对它们进行分路、抽样和量化，然后将同步数字流按它们最终的收信地面终端站址重新作时分多路复用。接着将所得到的各路或多路同步数据流，送入数字调制-解调器，对某个中频载波（通常为 70 MHz 或 700 MHz）进行调制，然后将已调载波上变频到射频后发向卫星（也有直接对射频载波进行调制的）。

卫星转发器将各个地面终端发来的信号利用其全球波束或定向窄波束天线再转发到各收信地面终端。

有时，某些信号必须再经过第二颗卫星中继，才能达到最终目的地（见图 1-2）。第二次中继一般要对被接转的信号先进行解调、分路并将这一信号与其它也要用这第二颗卫星进行传输的信号一起多路复用，然后通过第二个地面终端发射出去。因为第一颗卫星和第二颗卫星的比特率通常不完全相同，这第二次多路复用，就可能要作异步或准同步多路复用。

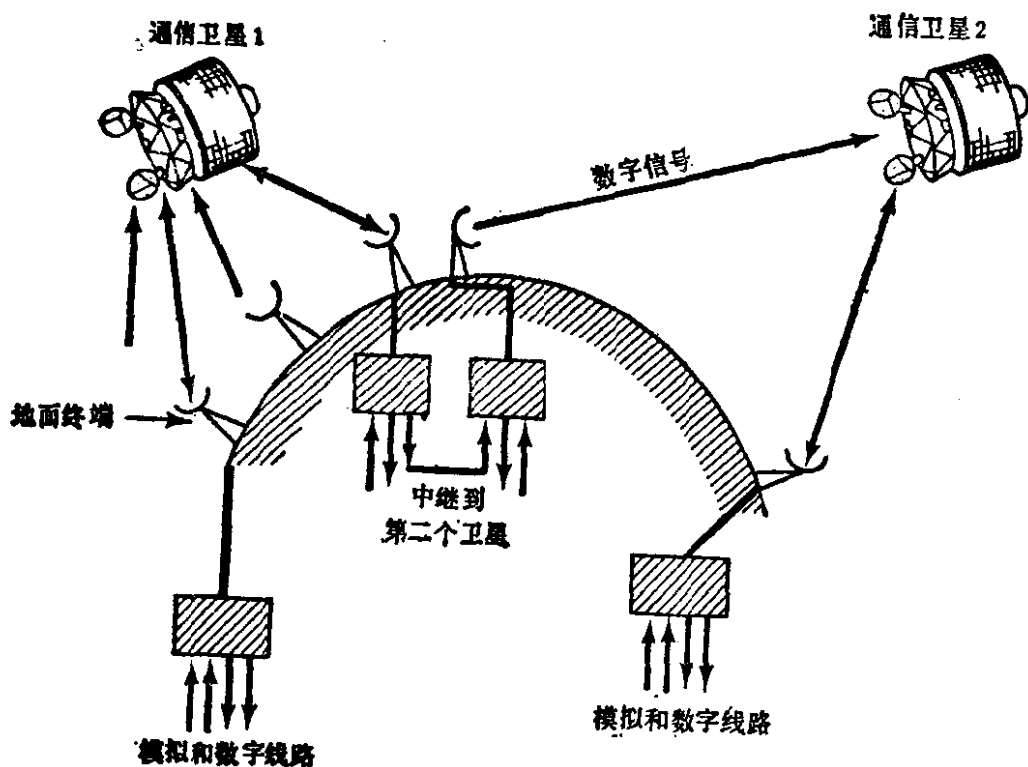


图 1-2 卫星数字中继通信模型。该模型表示了如何通过一数字卫星信道和地面中继线路传输信息的过程。

1-4 本书的目的与内容安排

目的

本书是向读者介绍最新的数字通信方式。通过对数字通信线路各个部件功能的介绍说明实际的（不是理想化的）数字通信原理。书中设计和分析的关键部分是从本书后面所列的参考文献及作者本人著作中选来的。

内容

(1) 介绍同步卫星中继、轨道、传播、转发器及多址技术的基本原理和性能。

(2) 介绍一般的数字通信原理。包括从最初的模拟信源或计算机输出，经过抽样、量化、多路复用、编码、调制、传输线路、中继转发器、以及解调恢复成最后的模拟信号或数字信号输出的全过程。这些内容虽然偏重于卫星通信，但对任何数字通信系统来说（微波、同轴电缆或波导等）也都适用。

(3) 对实际数字通信系统中各个部分的原理和功能进行数学分析。在分析中，我们以实际信道中所存在的非线性、色散或其它引起畸变的因素作为重点，而不是把理想的加性高斯噪声信道作为重点。但是，为了完整起见，我们也简单介绍了理想加性高斯噪声信道中，信号传输特性的分析、计算方法，并直接引出了加性噪声信道的一些结论（这里我们假设读者已经知道这些结论）。

对数字通信的分析我们将集中于卫星转发器和地面终端的非线性、振荡器的相位噪声以及滤波器时间色散和振幅畸变所引起的非理想信道效应。这些在实际线路中都是典型的影响，而且常常起主要作用，或至少能与理想信号检测理论中热噪声的影响相比拟。具体的分析包括转发器的振幅非线性失真、调幅/调相转换畸变、相移键控(PSK)和基带数字调制/检测、最大似然编码/译码、振荡器