

国际通信卫星组织

数字卫星通信技术

朱乃昭 翻译
查志远 审校



地震出版社



75321
号 62.11

数字卫星通信技术

国际通信卫星组织

朱乃昭 翻译
查志远 审校

地震出版社

1997

著作权合同登记 图字：01-96-0844

Digital Satellite Communications Technology
International Telecommunications Satellite Organization

本书版权归 INTELSAT 所有。

Copyright © INTELSAT 1992.

本书中文版由著作权人授权地震出版社独家出版发行，1995。

版权所有，翻印必究。

数字卫星通信技术

国际通信卫星组织

朱乃昭 翻译

查志远 审校

责任编辑：姚家榴

责任校对：李 珺

*

地震出版社 出版

北京民族学院南路9号

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 10.875印张 279千字

1997年12月第一版 1997年12月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-1359-4/TN·1

(1786)定价：15.00元

数字卫星通信技术

(修订版 1)

1992 年 4 月

序 言

本手册是为各种数字技术研讨班准备的。在国际通信卫星组织的援助和开发规划中，已经对这些数字技术作了规定。同时它也可作为参考手册，用于在国际卫星签约国培训计划指导下组织的数字卫星通信技术教程。

本手册会不时得到更新，关于本书的任何问题或建议，请按如下姓名地址告知：

The Manager,

IADP and Signatory Training Department,

Mail Stop 20B,

INTELSAT,

3400 International Drive, N. W.

Washington, D. C. 20008-3098

电 话：+1 202 944 7514

传 真：+1 202 944 8214

用 户 电 报：(WUT)89-2707

国际用户电报：(WUT)64290

第一次印刷：1989 年 12 月

第一次修订版：1992 年 4 月

目 录

| | |
|--------------------------------|------|
| 第一章 导论 | (1) |
| 1.1 国际通信卫星组织(INTELSAT)概况 | (1) |
| 1.2 数字革命 | (2) |
| INTELSAT 的业务 | (2) |
| 什么是模拟连接..... | (2) |
| 什么是数字信号..... | (2) |
| 模拟传输的缺点是什么..... | (2) |
| 为什么数字方式取代了模拟方式..... | (2) |
| 数字传输的其他优点..... | (3) |
| 允许较高的数据速率..... | (3) |
| 采用数字无线系统的好处..... | (4) |
| 数字交换机和综合业务数字网(ISDN) | (4) |
| 免除了维护..... | (4) |
| 非常安全..... | (4) |
| 省空间省钱..... | (4) |
| 大容量..... | (4) |
| 数字传输系统是由什么构成的..... | (4) |
| 使用数字系统引起的问题..... | (5) |
| 第二章 数字基础 | (6) |
| 2.1 脉码调制(PCM)原理 | (6) |
| 引言..... | (6) |
| 原理..... | (6) |
| 自适应脉码调制(APCM) | (7) |
| 相移键控(PSK) | (7) |
| 四相移相键控(QPSK) | (7) |
| 量化..... | (8) |
| 线性量化..... | (8) |
| 非线性量化..... | (9) |
| 混叠 | (10) |
| 编码选择 | (10) |
| 增量调制 | (10) |
| 积分器 | (11) |
| 接收终端 | (12) |
| 局限性 | (12) |

| | |
|--------------------------------|------|
| 差分编码 | (12) |
| 自适应差分脉码调制(ADPCM) | (12) |
| ADPCM 的应用 | (12) |
| ADPCM 的原理 | (12) |
| ADPCM 原理的实例 | (12) |
| 估计值来自何处 | (13) |
| 使用 ADPCM 把每个 8 位字变成 4 位字 | (13) |
| 2.2 数字多路复用基础 | (14) |
| 引言 | (14) |
| 一次群多路复用 | (14) |
| 多路复用原理 | (14) |
| 数字线路系统 | (14) |
| 地球站环境的一次复用 | (14) |
| 时分多路复用 | (14) |
| 同步 | (14) |
| 定时 | (15) |
| 时钟恢复 | (15) |
| 准同步运行 | (15) |
| 时钟滑移入门 | (16) |
| 数字体系 | (16) |
| 欧洲体系(CEPT) | (16) |
| 北美体系(NAS) | (17) |
| 日本体系 | (18) |
| 国际运行 | (18) |
| 2.3 数字多路复用和多址联接——一次群多路复用 | (18) |
| 引言 | (18) |
| 一次群多路复用 | (18) |
| 欧洲体系(CEPT)帧结构 | (19) |
| 北美体系(NAS) | (21) |
| 一个术语 | (22) |
| PCM 信令系统 | (22) |
| 随路信令 | (24) |
| 公共信道信令 | (24) |
| 公共信道信令的优势 | (24) |
| 解释使用公共信道信令时的网络测试 | (24) |
| A 法则与 Mu 法则的转换 | (24) |
| CEPT 和 NAS 之间的比较 | (24) |
| 数字环境中的告警 | (24) |
| 模拟系统告警 | (24) |

| | |
|--------------------------------|------|
| 使用导频监控的问题 | (25) |
| 告警目标 | (25) |
| 数字告警基本原理 | (25) |
| 告警类型 | (25) |
| 操作原则 | (25) |
| 高次群告警 | (26) |
| 即时告警 | (26) |
| 告警实例 | (26) |
| 相应措施 | (26) |
| 非紧急告警 | (28) |
| 一次群告警 | (28) |
| 即时告警状态 | (28) |
| 非紧急告警状态 | (29) |
| 冗余转换 | (29) |
| 2.4 数字多路复用和多址联接——高次群多路复用 | (30) |
| 引言 | (30) |
| 高次群多路复用 | (30) |
| 高次群多路复用器的安置地点和应用 | (30) |
| 几种体系 | (30) |
| 高次群多路复用原理 | (30) |
| 话务处理 | (30) |
| 设备同步 | (30) |
| 准同步运行 | (32) |
| 码速调整或位填充 | (32) |
| 恢复通信 | (32) |
| 接收业务重新定时 | (32) |
| CEPT 高次群多路复用的具体运行细节 | (33) |
| 二次群多路复用器 | (33) |
| 帧同步 | (33) |
| 服务数字 | (33) |
| 业务——第一个字块 | (34) |
| 调整控制字(JCW),或填充指示符 | (34) |
| 业务——第二和第三字块 | (34) |
| 重复调整控制字 | (34) |
| 可调整位 | (34) |
| 帧剩余位 | (34) |
| 8Mbit/s 帧 | (34) |
| 在其他分级层次中的 CEPT 多路复用器 | (35) |
| NAS 高次群多路复用的具体操作 | (35) |

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| 帧结构 | (35) |
| 帧同步 | (35) |
| 服务数字 | (36) |
| 业务 | (36) |
| 填充指示符 | (36) |
| 可调整位 | (36) |
| 6Mbit/s 帧 | (36) |
| 多址联接技术 | (37) |
| FDMA —— 频分多址 | (37) |
| TDMA —— 时分多址 | (38) |
| 第三章 调制解调器基础 | (39) |
| 导言 | (39) |
| 3.1 四相调制(QPSK) | (40) |
| 3.2 网络线路码 | (41) |
| 引言 | (41) |
| 电缆的传输特性 | (41) |
| 主要系数 | (41) |
| 系数效应 | (41) |
| 线路电容 | (41) |
| 防止线路电容的编码 | (41) |
| 传号交替反转 | (42) |
| 线路码的要求 | (42) |
| 时钟恢复 | (42) |
| 使用 AMI 作时钟恢复 | (42) |
| 使用 AMI 进行数据服务 | (43) |
| 在 CEPT 体系里的时钟恢复 | (43) |
| HDB-3 线路码 | (43) |
| 交替 NAS 线路码 | (43) |
| 高次群线路码 | (44) |
| 线路码概要 | (45) |
| 编码传号反转(CMI) | (46) |
| 3.3 用户接口 | (46) |
| 引言 | (46) |
| 频分调制(FDM)和数字系统接口 | (46) |
| 信道电平的 FDM 和数字系统接口 | (46) |
| FDM 和数字系统接口使用多路复用转换器(T-Mux) | (46) |
| T-Mux 转换的实例 | (46) |
| 信令转换 | (47) |
| FDM 导频和数字告警 | (47) |

| | |
|----------------------------|------|
| T-Mux 的应用 | (47) |
| T-Mux 同步 | (47) |
| 使用宽带编解码器 | (48) |
| 电视信号(TV)编解码器 | (48) |
| 数据接口 | (48) |
| 数据用户的要求 | (49) |
| 数据电路终接设备(DCE)和网络间的互连 | (49) |
| 模拟用户接口 | (51) |
| 控制回波 | (51) |
| 回波消除器 | (52) |
| 操作规则 | (52) |
| 回波的成因及其影响 | (52) |
| 3.4 同步 | (53) |
| 引言 | (53) |
| 同步一次群多路复用器 | (53) |
| 时钟恢复 | (53) |
| 帧同步 | (53) |
| 帧同步字(FAW)的使用 | (53) |
| 帧数据字(FDW)的使用 | (53) |
| 实现同步的逻辑过程 | (53) |
| 实现同步的速度 | (54) |
| 校验连续同步 | (54) |
| 丢失同步的逻辑过程 | (54) |
| 检测帧同步丢失的用时 | (54) |
| NAS 同步设备 | (54) |
| 标准的 NAS 帧结构 | (54) |
| NAS 扩展超帧同步 | (55) |
| 数据传输 | (55) |
| 异步传输 | (55) |
| 同步传输 | (55) |
| 其他数据用户 | (56) |
| 网络同步 | (56) |
| 中央时钟系统 | (56) |
| 互同步 | (57) |
| 完全同步系统 | (57) |
| 配置方法 | (57) |
| 3.5 数字损伤 | (58) |
| 引言 | (58) |
| 时钟滑移 | (58) |

| | |
|----------------------|------|
| 时钟滑移效应 | (58) |
| 测量时钟滑移 | (59) |
| 过多的时钟滑移 | (59) |
| 抖动 | (59) |
| 抖动源 | (60) |
| 漂移 | (60) |
| 漂移源 | (60) |
| 测量抖动 | (60) |
| 抖动测量 | (61) |
| 网络的抖动测试 | (61) |
| 最大容许抖动 | (61) |
| 最大容许抖动实例 | (62) |
| 选择滤波器 | (62) |
| 连续测试 | (62) |
| 抖动容限测试 | (64) |
| 抖动容限测试过程 | (64) |
| 抖动容限测试目标 | (65) |
| 抖动界限 | (65) |
| 抖动传输测试 | (65) |
| 抖动累积 | (66) |
| 眼图 | (66) |
| 抖动消减 | (66) |
| 抖动消减电路的操作 | (67) |
| 噪声 | (67) |
| 感生噪声 | (67) |
| 差错 | (67) |
| 回顾差错源 | (67) |
| 差错效应 | (67) |
| 声频电路用户 | (68) |
| 适用于声频电路用户的差错分布 | (68) |
| 数据电路用户 | (68) |
| 适用于数据电路用户的差错分布 | (68) |
| 其他电路用户 | (68) |
| 差错分布 | (68) |
| 差错秒 | (68) |
| 无差错秒 | (68) |
| 严重差错秒 | (69) |
| 降级分 | (69) |
| 差错测量 | (69) |

| | |
|---|------|
| 差错指标 | (69) |
| 假设参考连接(HRX) | (69) |
| HRX 的质量区划 | (70) |
| HRX 中的地球站 | (70) |
| 地球站的数据电路测试 | (70) |
| 初调 | (70) |
| 日常维护和操作 | (71) |
| 误码率 | (71) |
| 测量差错 | (71) |
| 误码率计算实例 | (71) |
| 差错检测及其改正 | (72) |
| 奇偶校验 | (72) |
| 扰码 | (72) |
| 循环冗余校验(CRC) | (72) |
| 使用自动请求重发(ARQ)的缺点 | (72) |
| 前向纠错 | (72) |
| 3.6 前向纠错(FEC) | (72) |
| 引言 | (72) |
| 卷积码 | (73) |
| 编码方法 | (74) |
| IDR 编码器 | (75) |
| 差分编码 | (76) |
| 差分译码器的运行 | (76) |
| 维特比(Viterbi)译码 | (77) |
| 格构 | (77) |
| 汉明(Hamming)距 | (77) |
| 维特比译码实例 | (78) |
| 实际维特比译码器的译码器存储 | (79) |
| 实际维特比译码器的软判决译码 | (79) |
| 3.7 IDR 附加单元——用于 IDR 载波的工程维护电路(ESC) | (80) |
| 引言 | (80) |
| 早期设备规范 | (80) |
| 同 INTELSAT 通信 | (80) |
| 在同类地球站之间的通信 | (81) |
| 新设备规范 | (81) |
| 数据速率小于 1.544Mbit/s | (81) |
| 数据速率大于 1.544Mbit/s | (81) |
| IDR ESC 单元 | (82) |
| 额外开销帧结构 | (82) |

| | |
|--------------------------|------|
| 额外开销单元内的定时 | (83) |
| 帧和复帧同步 | (83) |
| 故障状态及其相应措施和告警 | (83) |
| 故障 | (83) |
| 告警 | (84) |
| 第四章 应用 | (85) |
| 4.1 网络体系结构——原理和应用 | (85) |
| 引言 | (85) |
| 网络体系结构概念 | (85) |
| 局域网和广域网 | (85) |
| 网络拓扑结构 | (85) |
| 星形网 | (85) |
| 环形网 | (86) |
| 总线网 | (86) |
| 树形网 | (86) |
| 格构网或网状网 | (87) |
| 卫星系统中的网络拓扑结构 | (87) |
| 数据网络的兼容性 | (87) |
| 国际标准化组织(ISO)开放系统互连 | (88) |
| 层兼容性 | (89) |
| 地球站的复杂情况 | (89) |
| 类似 ISO OSI 的七层模式 | (89) |
| 4.2 极小孔径终端站——VSAT | (90) |
| 引言 | (90) |
| 网络体系结构 | (91) |
| 国际互联网(INTELNET) | (91) |
| 标准租赁 | (91) |
| INTELNET 租赁服务 | (91) |
| 国内 VSAT 应用 | (91) |
| 潜在的 VSAT 应用 | (92) |
| VSAT 的成本 | (92) |
| 4.3 IDR 载波简介 | (93) |
| 引言 | (93) |
| 运行 IDR 载波的优点 | (93) |
| 传输特点 | (94) |
| 前向纠错(FEC) | (94) |
| 调制 | (94) |
| 调制器 | (95) |
| 解调器 | (96) |

| | |
|---|-------|
| 多址联接 | (96) |
| 地球站的设备 | (96) |
| 怎样测量相位噪声 | (97) |
| 扰频 | (97) |
| 服务质量 | (98) |
| 等效全向辐射功率(E. I. R. P.)的稳定性 | (98) |
| 频率容限 | (99) |
| 带外辐射 | (99) |
| 定时精度 | (99) |
| 缓冲器容量 | (100) |
| 多址载波 | (100) |
| 4.4 IDR 的实施 | (100) |
| 引言 | (100) |
| 多路复用标准和交互工作 | (101) |
| 等效全向辐射功率(E. I. R. P.)的要求、降雨储备量和上行线路功率控制 | (101) |
| 地球站的设备配置 | (101) |
| 用 IDR 链路代替 FDM/FM 链路 | (101) |
| IDR 系统的扩展 | (102) |
| 单址 IDR 设备 | (102) |
| 单址发送,多址接收 | (102) |
| 多址 2.048Mbit/s IDR 载波——64kbit/s | (102) |
| 多址 IDR 高次群载波 | (104) |
| 4.5 卫星转换的时分多址联接(SSTDMA) | (106) |
| 引言 | (106) |
| 时分多址联接(TDMA)系统 | (107) |
| TDMA 的缺点 | (107) |
| 波束转换概念 | (108) |
| SSTDMA 的优点 | (108) |
| SSTDMA 的局限性 | (109) |
| SSTDMA 系统 | (109) |
| 4.6 IBS 和 INTELNET | (110) |
| IBS | (110) |
| IBS 应用 | (110) |
| 数据通信应用 | (110) |
| 话音通信应用 | (110) |
| 视频通信应用 | (110) |
| 服务项目概要 | (111) |
| 调制 | (111) |
| 传输参数 | (111) |

| | |
|--------------------------|-------|
| 连接..... | (111) |
| 地球站..... | (111) |
| INTELNET | (112) |
| 应用..... | (112) |
| 数据通信应用..... | (112) |
| 话音通信应用..... | (112) |
| 视频通信应用..... | (112) |
| 调制..... | (112) |
| 传输参数..... | (112) |
| 地球站..... | (112) |
| 4.7 数字电路倍增设备(DCME) | (113) |
| 综述..... | (113) |
| 数字话音插空(内插)(DSI)技术 | (113) |
| 低速率编码(LER)..... | (113) |
| 运行模式..... | (114) |
| 点对点(单址)模式..... | (114) |
| 多集团模式..... | (114) |
| 多址模式..... | (116) |
| 荷载业务的能力..... | (117) |
| DCME 增益 | (117) |
| DCME 话务处理 | (117) |
| 过载系统..... | (119) |
| 接口..... | (120) |
| 分配信道(AC) | (120) |
| 位速率可变的信道..... | (120) |
| 同步和定时..... | (122) |
| 点对点同步..... | (122) |
| 多集团同步..... | (122) |
| 多址同步..... | (122) |
| 4.8 IDR 的使用和测试 | (124) |
| 引言..... | (124) |
| 卫星系统操作指南(SSOG)测试 | (125) |
| 4.9 使用倾斜轨道上的卫星进行操作 | (126) |
| 引言..... | (126) |
| 何谓倾斜轨道..... | (126) |
| 在倾斜轨道上运行的卫星..... | (127) |
| 倾斜轨道如何影响用户..... | (127) |
| 波束覆盖范围..... | (127) |
| 水平阻塞..... | (127) |

| | |
|-----------------------------------|-------|
| EIRP 的稳定性 | (128) |
| 极化隔离 | (128) |
| 多普勒效应 | (128) |
| 地球站和倾斜轨道卫星之间的相对速度 | (128) |
| 对传输系统的影响 | (128) |
| 数字系统——IDR 和 IBS | (128) |
| IBS 和 IDR 载频多普勒效应 | (129) |
| 国际互连网络(INTELNET)系统 | (129) |
| 窄带系统(SCPC 和 Vista)——使用导频的系统 | (129) |
| TDMA 系统 | (129) |
| 宽带模拟——FDM 和电视 | (130) |
| 倾斜轨道运行对地球站天线运动的影响有多大? | (130) |
| 仰角和方位角运动速度 | (130) |
| 天线指向 | (130) |
| 是否可以向非跟踪天线提供自动跟踪能力? | (131) |
| 手动跟踪 | (131) |
| 自动跟踪 | (131) |
| 附录一 数字环境中值班技术人员的任务 | (132) |
| 引言 | (132) |
| 检测 IDR 信道单元 | (132) |
| IDR 调制解调器的 SSOG 测试 | (132) |
| 告警 | (133) |
| 数字告警 | (133) |
| NAS 中的告警术语 | (133) |
| 相应措施 | (134) |
| 本地模拟用户停用 | (134) |
| 通知本地数字用户 | (134) |
| 通知远端 | (134) |
| 地球站上的告警策略 | (134) |
| 出现在整个网络上的告警 | (134) |
| 差错 | (136) |
| 差错测量 | (136) |
| 在 IDR 系统上的差错测量 | (136) |
| 标准的差错测量设备 | (137) |
| 发送器或码模式发生器 | (137) |
| 接收器或差错检测器 | (137) |
| 实际的 BER 测试 | (137) |
| 解释 BER 的结果 | (138) |
| 测试码模式 | (138) |

| | |
|---------------------------|--------------|
| 术语:最新变更 | (139) |
| 电路编号 | (139) |
| FDM 电路编号 | (139) |
| 识别数字业务 | (139) |
| 电路编号的其他最新变更 | (139) |
| 为什么要改变我们现有的系统 | (139) |
| 谁会使用数据库 | (139) |
| 需要什么信息 | (140) |
| 数据库需要什么格式 | (140) |
| 如何存储其余的信息 | (140) |
| 相关信息的格式 | (140) |
| 标号信息完整的范例 | (141) |
| 数字体系 | (144) |
| 多路复用等级 | (144) |
| 互连 | (144) |
| 检验声频电路 | (146) |
| 恢复 | (148) |
| 恢复原则 | (148) |
| 基本原理 | (148) |
| 实践中的计划 | (148) |
| 附录二 连接(链路)预算 | (149) |
| 1 连接预算简介 | (149) |
| 1.1 连接预算的实质 | (149) |
| 1.2 连接预算的基本概念和主要方程 | (149) |
| 2 系统性能 | (150) |
| 2.1 载波-热噪声比 | (150) |
| 2.2 载波-噪声比 | (150) |
| 3 连接预算的计算 | (151) |
| 3.1 上行连接 | (152) |
| 3.1.1 饱和通量密度 | (152) |
| 3.1.2 输入补偿 | (153) |
| 3.1.3 上行连接雨衰储备 | (154) |
| 3.2 下行连接 | (154) |
| 3.2.1 输出补偿 | (154) |
| 3.2.2 下行连接的雨衰储备 | (155) |
| 3.3 互调噪声 | (156) |
| 3.4 干扰噪声 | (156) |

第一章 导 论

1.1 国际通信卫星组织(INTELSAT)概况

INTELSAT, 即有 120 多个会员国的国际通信卫星组织, 它拥有和运营着全球通信卫星系统, 该系统被全世界绝大多数国家用于可靠的、高质量的、国际和远程通信业务; 其中许多国家把 INTELSAT 卫星也同样用于国内的公众通信。事实上, INTELSAT 是全世界国际话音和数据通信业务的主要提供者, 并且所有国际电视转播实际上都是由该组织的卫星载送的。

自 1965 年 INTELSAT 首次开始运作以来, 通信卫星已经从实质上革新了人类社会。今天, 用电视现场直播来报道头条新闻已是很平常的事情, 电视播放特别事件继续吸引着日益众多的观众, 并且现在已经可以随时提供高效率、低成本的远程通信服务。在联合国首次提出和平开发外层空间倡议的时候, 已经发生的所有这些事情, 都远远超出了任何人所能作出的预想。

INTELSAT 按照其宪章, 在没有歧视的基础上, 尽可能以最低价格向世界上所有的国家(签约时大约为 180 个国家和地区), 提供高质量和高度可靠的国际公众远程通信服务。有 40 多个国家使用 INTELSAT 的空间段负载能力, 进行国内通信服务。INTELSAT Business Services (IBS)、即 INTELSAT 商业服务部有为用户提供集成数字话音、数据和电视会议等各种能力; 由于它的努力, 各种国际电视业务, 包括全日租用业务都在持续而迅速地增长。

INTELSAT 系统在头 25 年成功的实施和发展, 在很大程度上要归功于高效的组织结构、雄厚的金融基础以及该组织与其用户之间长久密切的合作。INTELSAT 宪章已经能够使各种不同社会制度和经济实力的国家, 在一个高效率的商业组织中合作。INTELSAT 已经从最初只有少数几个国家组成的联合体, 成长为其成员包括 International Telecommunication Union (ITU) 即国际电信联盟大多数国家的全球性组织。

在比较短的历史时期内, INTELSAT 所取得的成就证明了: 通过世界各国的共同努力, 能够取得极其有益的成果。尽管从最早的卫星时代起, INTELSAT 就已提供了国际数字通信, 但是, 我们现在仍为一场新的远程通信革命, 即“数字革命”而艰苦奋斗, 它将引导我们进入综合业务数字网(ISDN)的新时代。

为了鼓励数字化, INTELSAT 已经采用了新的数字业务和新的资费方式, 从经济上鼓励管理部门由模拟操作向数字操作转变。特写出本手册, 通过介绍数字卫星通信技术来帮助和支持此项首创事业。