

射 频 与 调 制

空间数据系统咨询委员会 (CCSDS)

会议报告汇编 (绿皮书)

北京航空航天大学出版社

射 频 与 调 制

· 王 浩 盛 杰 李丹珠 李曰能 等译
郝修来 赵正才 孙信功 太 萍

李安娜 等校

北京航空航天大学出版社

(京)新登字 166 号

射 频 与 调 制
SHE PIN YU TIAO ZHI

王 浩 盛 杰 李丹珠 李曰能 译 李安娜等校
郝修来 赵正才 孙信功 太 萍

责任编辑 谢鸽翔

北京航空航天大学出版社出版

中国空间技术研究院印刷厂印装

787×1092 1/16 印张: 20.125 字数: 515.2 千字

1993 年 5 月第一版 1993 年 5 月第一次印刷 印数: 1000 册

ISBN 7-81012-423-4/TN·023

定价: 25 元

译者的话

随着航天技术的发展, 航天应用和科学研究日趋复杂, 所需人力和投资也越来越大, 各国在航天器测控通信的设施方面大量重复建设, 耗时、费力也很不经济。为此, 1982年1月许多国家的空间组织在美国华盛顿聚集在一起讨论空间数据系统有关问题。预见到空间数据的传输与获取必将突破各国地理界限, 突破财力、智力的局限性, 而走相互合作的发展道路, 利用不同国家的空间和地面设备, 使用一个共同的数据系统标准进行国际合作, 必将给每个国家都带来更多的经济效益。一致同意组建“空间数据系统咨询委员会”(Consulataive Committee for Space Data System 简称 CCSDS), 以发展处理空间数据的标准, 加强未来数据系统的相互操作性, 支持空间研究、空间科学、空间和平利用。

CCSDS 现有三种会员: 会员、观察员、非正式会员。中国空间技术研究院作为观察员参加 CCSDS 的活动。

CCSDS 的主要产品是空间数据建议书和报告。建议书实质上作为会员空间局现在的标准, 也反映会员空间局未来的标准。CCSDS 是想在功能上通用标准化, 以解决当空间任务复杂化后, 测控通信需要交互支持时的接口问题, 虽然它不是强制性的标准, 但在国际合作时就必须遵守。报告是辅助性文件, 提供一般性技术的指导准则, 描述某个建议书的工作概念, 给出空间数据系统设计的工程分析和结果, 它是一种很方便的参考资料。

CCSDS 的文件封面以颜色分类:

1. 白皮书 (WB)

白皮书是技术建议书或报告的原始草稿, 开发中的所有文稿都用白色表明其原始状态。

2. 红皮书 (RB)

红皮书是技术建议书的草稿, 表明在技术上已经该委员会同意, 将要由各空间局评审。

3. 兰皮书 (BB)

兰皮书是经过批准的技术建议书, 各国可根据它发展未来的数据系统标准。兰皮书经五年试行后, 由委员会重新评估, 可能修改、停用或留用。

4. 绿皮书 (GB)

绿皮书是委员会的技术报告, 用以帮助各空间局评审红皮书时了解其背景。书中给出空间数据系统设计的分析与结果, 是实施兰皮书的技术指导。

5. 黄皮书 (YB)

黄皮书是内部用的文件, 这是一种非技术性的管理文件或报告。

6. 粉皮书 (PB)

粉皮书是对 CCSDS 兰皮书的修改建议, 它须要经过各空间局的评审。

本文翻译的是第一委员会射频调制组迄今为止编制的三个绿皮书之一。它主要描述了航天器中射频与调制的关键问题。其中通过大量实验数据和理论推导所阐述的问题, 对工程实践具有一定的指导意义。文中的结论可以在工作实践中直接引用。也可作为工程技术人员的工作参考书。

本书是中国空间技术研究院空间飞行器总体设计部和北京空间科技文献服务中心众多

同志共同协作的成果。陈道明教授、王渊教授、王壮教授、以及吴凤芝同志和刘济生同志对本书的翻译出版给予热情支持和帮助，在此深表谢意。

全书汇集的文章较多，篇幅较大，中译本将按全册出版。全书共有七个会议文件，各会议文件的译者分别为：孙信功，李丹珠、郝修来，李曰能，王浩，盛杰，太萍，赵正才。全书由李安娜、邓丽芳等同志负责校对，北京航空航天大学出版社部郭维烈同志对本书进行了出版审订工作。还有许多同志为本书的翻译出版提供多方面的支持和帮助，在此一并致谢。

本书由多人在短时间内共同翻译而成，成书仓促，错误和不足之外在所难免，敬请不吝赐教。

空间数据系统咨询委员会(CCSDS)

射频与调制分组(1E 分组) 会议报告汇编

会议日期: 1989 年 4 月 11~20 日

会议地点: AMES 研究中心

文件编辑: TIENM、NGUYEN

文件阶段: 绿皮书

文件号: CCSDSL21.0-G-1

出版日期: 1989 年 9 月

序 言

CCSDS 是一个由 9 个空间局和 8 个观察员空间局创办的正式组织。9 个核心空间局是：法国的 CNES、西德的 DLR、欧洲的 ESA、印度的 ISRO、巴西的 INPE、美国的 NASA、日本的 NASDA、英国的 BNSC 和加拿大空间局。8 个观察员空间局（他们通常同意 9 个核心成员空间局所做出的技术建议）是：中华人民共和国的 CAST、加拿大的 DOC-CRC、巴西的 CTA、日本的 ISAS、美国的 NOAA、加拿大的 NRCC/CCSS、日本的 CRL 和瑞典的 SSC。

CCSDS 的业务之一是有关物理传输层的标准化，其中一个研究小组——射频和调制分组（1E 分组），就是为处理与此有关的问题而成立的。这个分组的首要目标，是促使各成员空间局在传输系统方面达到充分的兼容，以允许相互间可交叉支持。

1E 分组定期地召集会议，以便讨论各成员空间局所共有的射频和调制问题。1989 年 4 月 10 日至 20 日，1E 分组在加利福尼亚 Mountain View 举行了会议。在这次会议上，各成员空间局的代表们提供了 20 多篇有见解的论文，这些有见解论文的作用是双层的：第一层作用是有助于对提出的课题进行技术上的讨论；第 2 层作用是促进对这些问题的统一解决。这些统一的解决方法，将保证 CCSDS 各空间局的射频和调制体制之间的相互兼容。

本文件从会议的介绍开始。第一次会议由分组主席——NASA/JPL 的 M.L.Martin 先生作前言和有关 1E 分组的介绍。接着共组织了 6 次技术会议。每次会议都由各成员空间局的专家管理。这 6 次会议分别是：（1）各种先进的调制技术，（2）数据中继卫星（DRS），（3）无线电测量，（4）杂散辐射和无用信号，（5）同时的测距和数据操作，（6）无线电远程通信信道设计控制表。ESA/ESTEC 的 W.Kriedte 先生主持了数据中继卫星会议，其它的会议都由 W.L.Martin 先生主持。

第 2 次会议的内容是各种先进的调制技术，讨论了对于未来各种跟踪、遥测、遥控（TT&C）系统特殊调制技术的选择。在这次会议上共有 7 篇有见解的论文。这些论文讨论了用于直接序列扩展频谱系统的各种 PN 码序列，QPSK、OQPSK 和 GMSK 调制技术。这次会议也讨论了解决 OQPSK 调制系统相位模糊的特殊方法。

第 3 次会议（DRS 会议）上共有 4 篇有见解的论文，讨论了涉及欧洲 DRS 系统的功率通量密度问题，以及 DRS 所使用的最佳调制体制的选择，还介绍了一篇有关欧洲 DRS 的报告。

在无线电测量会议（第 4 次会议）上，对测距数据的最佳带电粒子标定技术的选择进行了讨论。

杂散辐射和无用信号会议（第 5 次会议）上，对各种深空飞行任务的防护规范进行了探讨，这次会议上也讨论了由于不平衡调制器而引起的杂散辐射等其它问题。这次会议共有 5 篇有见解的论文。

科学上的空间飞行任务的增加，导致了接收站接收任务需求的增加。这种需求的增加可以通过使用同时进行测控操作的办法来减少。然而，这种操作方法会增加指令和遥测数据通道之间的干扰。同时测距和数据操作会议（第 6 次会议），致力于解决这些干扰问

题。这次会议所作的 3 篇有见解的论文，探讨了指令和遥测的比特差错率的下降，以及最佳调制指数的选择问题。

1984 年 11 月，1E 分组的专家们确定，要各成员空间局对远程通信信道资料进行交流。1E 分组的各成员已经对标准化信道计算方法的几个建议进行过评审。这些建议的修改本已在远程信道设计控制表会议（第 7 次会议）上介绍过。这次会议上讨论了用于表达通信信道计算的形式和类型。

本文件在整理期间送到 CCSDS 1E 分组主席 W.L.Martin 先生审校，对于他此比文件纲领性的支持和鼓励表示衷心的感谢。

最后，对 P.South 在准备本文集的过程中所给予的协助表示最诚挚的谢意

Tien Mawh Nguyen
于加利福尼亚 Pasadena

前 言

在过去的一年里，射频与调制分组-CCSDS1E 分组处于转折阶段。以前，我们一直忙于鉴别和商定地球站和航天器性能方面通用的设备。在今后的几年期间，我们想要继续这方面的工作。一些空间局已经提供了许多有关地球站和航天器性能通用设备能力方面的建议，其中大部分已被 CCSDS 采纳，并收集在关于射频与调制方面的兰皮书 (CCSD401.1-B-1) 里。

最近，1E 分组着手研究为解决未来通信所需要的新技术途径。与我们先前的工作不同，目前一些空间局没有使用 1E 分组所考虑的大部分系统，但一些空间局正在积极考虑使用这些系统。

传统上，1E 分组总是使用一种多步程序来研究一些新建议。对于这个过程不太熟悉的一些读者来说，他们很可能需要一个有帮助的简要介绍。一些新技术的能力，常常要通过 1E 分组的工作，对其进行鉴别。如果认为它们有重大的意义，那么就要求在下次会议上发表一些待考虑的有关上述新技术性能方面的有技术见解的论文。通常，涉及到这个课题的一个或几个空间局会以一些分析这个课题的技术报告来响应，阐述他们可以接受的见解。

在以后的会议上介绍每一篇论文，并按照有利于问题解决的改进目标一起进行讨论。如果意见一致，就起草一个反映一致同意的解决办法的建议行动项目。这些建议首先由 1E 分组进行评审，然后由几个空间局按照确立的 CCSDS 程序评审。

最近，1E 分组从 1989 年 4 月 11 日（原定 4 月 10 日）开始，在加利福尼亚 Mountain View 的 AMes 研究中心举行了会议。通过上次会议所发表的有关论文要求，这次会议将对此有很大的反响，要有大量的真知灼见的论文发表，由于这些论文很有深度，1E 分组为此做出如下决定：作为保存成果的一种办法，把这些论文汇编成文件，使其成为 1E 分组成果的历史记录的一部分。

从本文件的规模来看，很明显，预先加工是一项实质性工作，论文内容的挑选、组织和编辑等工作都要付出辛苦的劳动。对喷气推进试验室 (JPL) 的 Tien Nguyen 先生在本文件所做出的贡献，我们致以诚挚的谢意。通过他的努力，使得建立一个 1E 分组持久性的技术研究论文档案成为可能，也特别感谢为这次会议提供论文的所有先生。在我们分组，你们每个人的工作无可非议也可引以自豪。

CCSDS 射频与调制分组 (1E 分组) 主席 Warren.L.Martin

目 次

会议一 会议介绍

会议二 最新调制技术

典型扩展频谱应用中各种 PN 码序列的特性	(7)
QPSK · 调制方式特性	(12)
空间数据传输应用中 QPSK, OQPSK, MSK, GMSK-A 各种调制方式的性能评 价比较	(18)
论高斯滤波最小频移键控 (GMSK)	(33)
相位模糊分辨技术及其对 QPSK 调制系统的影响	(45)
QPSK 调制系统的相位模糊分辨	(57)
QPSK 调制系统的相位模糊分辨	(72)

会议三 数据中继卫星

按照(联合国)国际电信联盟 (ITU) 规则用于数据中继系统 (DRS) 用户飞行器的 功率通量密度	(83)
用于数据中继系统的 S 波段相互可操作性接口的技术规范文件	(98)
用于高数据速率系统的最佳调制与编码	(104)
欧洲数据中继系统 Ka 波段传输设计状态报告 (草案)	(110)

会议四 无线电测量

测距数据信道的最佳带电粒子校正技术	(137)
-------------------------	-------

会议五 杂散辐射和无用信号

论 2.29-2.30GHz 和 8.40-8.45GHz 波段中允许的辐射电平 (A 类飞行任务)	(169)
对 2.29-2.30GHz 和 8.40-8.45GHz 波段中允许的辐射电平 (A 类飞行任务) 的讨论	(175)
对论 2.29-2.30GHz 和 8.40-8.45GHz 波段中允许的辐射电平 (A 类飞行任务)	

的评论 (178)

论 A 类飞行任务中相位不平衡调制器对 PSK 调制方式的性能影响 (186)

相位不平衡乘积调制器对空间遥测系统性能的影响 (194)

会议六 同时测距和数据操作

ESA 多用途跟踪系统测距信号对遥控性能产生的交互调制和干扰的计算 (219)

由 ESA 多目的跟踪系统的测距信号在遥测中产生的交调干扰的计算 (229)

MT 算法：测距、遥控和遥测同时操作选择最佳调制指数 (256)

会议七 远程通信信道设计控制表

标准化信道性能计算的一个推荐方法 (273)

附录 1 推荐的信道设计控制表 (285)

附录 2 标准术语 (293)

附录 3 概率密度函数 (306)

会 议 一

会 议 介 绍

1E(射频与调制)分组的介绍

空间数据系统咨询委员会 (CCSDS)、包括 9 个成员空间局和 8 个观察员空间局 (他们一般同意由 9 个核心成员局所做出的各种技术建议)。它的成立是为了对空间数据系统各种标准的建议进行审查出版并正式采用。CCSDS 的首要工作是对各种数据结构的标准化, 射频与调制分组 (1E 分组) 只与物理传输层有关, 这个分组的任务是促进各种传输系统达到充分兼容, 以允许某个空间局的航天器可由其它空间局和通信网络来支持。

1E 分组是通过下述几个问题的研究来完成它的任务:

- (1) 地面到空间和空间到地面的射频信道;
- (2) 地面站和航天器数据系统;
- (3) 无线电测量系统。

对这些问题的统一解决, 是为了确保 CCSDS 各空间局的射频与调制体制的兼容性。当 1E 分组和 CCSDS 采纳这些统一解决办法后, 就可通过公布在 CCSDS 射频和调制白皮书 (CCSDS401.0-B) 上的各种建议进行宣传。目前, 1E 分组以白皮书、红皮书和白皮书 3 级文件的形式发表了几份建议书。

一些概念通过有见解的论文进行介绍。当一些建议在 1E 分组范围内达到一致意见时, 这些主意先被收集到白皮书建议书里, 这些白皮书建议书经由 1E 分组的专家们审阅同意后, 再把它们送到我们中的有关空间局的其它人员 (没有出席 CCSDS 会议的人员) 去征求意见。在此阶段, 上述建议就被列为红皮书第 1 版。经非正式和评审后, 通常就把这些建议装订成一本红皮书, 并提交到正式的机构, 依据 CCSDS 秘书处的要求进行评审。如果通过了正式评审, 就把这些建议提交全体出席的 CCSDS 会议, 以批准成为白皮书。

最近, 1E 分组于 1989 年 4 月 10 日到 20 日在美国加利福尼亚 Mounfain View AMes 研究中心举行的会议上, 着重开始研究先进的调制技术, 期望获得未来的动向。共有 8 篇探索这个题目的有见解论文提交到 1E 分组, 这些论文探讨了供直接序列扩展频谱使用的 PN 码序列, 以及有关 QPSK、OQPSK 和 GMSK 调制技术的应用。

2 年前, 1 组要求 1E 分组筹备一个数据中继卫星 (DRS) 分组。这个计划因一个空间局的反对而被放弃了。今年, 1E 分组再一次努力成立了一个分组, 探索数据中继卫星的调制技术和系统最佳化。ESA / ESTE 的 W.Kredte 先生同意主持 DRS 分组的会议。共有 4 篇有见解的论文提交到这次会上以供讨论, 这些论文涉及了用在 DRS 上的功率通量密度问题, 以及调制和编码技术。

除了先进的调制技术和 DRS 会议以外, 在 Ames 会议上还组织了 4 次以上的会议。它们分别是: 无线电测量、杂散辐射和无用信号、同时测距和数据操作, 以及远程通信信道设计控制表。这些会议考虑了出版涉及下述几个方面的标准: (1) 带电粒子标定技术、(2) 平衡调制器、(3) 有关深空波段的防护技术、(4) 对于同时测距操作的调制指数选择 (5) 各自的信道计算方法。这些题目都包含在我们的 6 次会议里。

我对先进的调制技术会议感到格外满意, 因为它用图解说明了两个极为重要的发展方向。第 1、对于把新技术综合进我们的射频和调制系统, 有一个清晰可辨的趋势。第 2、对我们正在进行的各种网络的标准化, 将有助于各个空间飞行任务的相互支持。

我本人认为，对于 1990 年来说，1E 分组的专家们所面临的[•]最大任务，是商定我们各空间局的数据网络，使用刚在 1E 分组讨论过的新技术标准问题。

归根到底，1E 分组将在下述领域扩大它的工作 (1) 各种先进的调制技术，(2) 对于载波跟踪和数据恢复的数字技术，(3) 各种无线电测量系统、(4) 各种精密的导航系统，(5) 各种系统使用新的频段，(6) 新旧频段转发器的各种性能 (7) 数据中继卫星系统。

射频和调制分组(1E 分组)

主席 W.L.Martin

会议 二

最新调制技术

