



中华人民共和国国家标准

GB/T 43941.2—2024

星地数据传输中高速调制解调器 技术要求和测试方法 第2部分：解调器

Technical requirements and test methods for intermediate/high-speed
modulator/demodulator in satellite-to-earth data transmission—
Part 2: Demodulator

2024-05-28 发布

2024-12-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	1
5 功能组成	2
5.1 地面解调器	2
5.2 星上解调器	2
6 性能	3
6.1 输入频率	3
6.2 输入电平	3
6.3 解调	3
6.4 帧数据处理	4
6.5 译码	5
6.6 可变编码调制(VCM)	5
6.7 调制编码组合、数据操作流程	6
6.8 数据输出	6
7 接口	6
7.1 信号输入接口	6
7.2 频标输入接口	6
7.3 时间码输入接口	7
7.4 数据传输接口	7
8 测试方法	7
8.1 测试条件	7
8.2 测试框图	8
8.3 测试项目	9
8.4 性能测试	9
附录 A (资料性) IQ 识别参考方法	16
附录 B (资料性) 数据输出格式及方式	17
附录 C (资料性) CCM 常用解调译码理论值	19

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 43941《星地数据传输中高速调制解调器技术要求和测试方法》的第 2 部分，GB/T 43941 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：调制器；
- 第 2 部分：解调器。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 425)提出并归口。

本文件起草单位：中国电子科技集团公司第十研究所、中国航天标准化研究所、中国科学院空天信息创新研究院、北京跟踪与通信技术研究所、北京空间信息中继传输技术研究中心、上海航天测控通信研究所、南京控维通信科技有限公司、成都国恒空间技术工程股份有限公司、凯睿星通信息科技(南京)股份有限公司。

本文件主要起草人：方科、张波、陈颖、唐婷、张国亭、王磊、叶曦、刘洋、张雨濛、兰霞、许冬彦、杜瑜、刘景元、罗强、谢玲、钟瑜、赖海光、莫然、李江华、史焱。

引 言

星地数据传输中高速调制器和解调器是卫星、空间站、探测器等航天器与地面间实现无线数据传输的关键设备,广泛用于对地观测、载人航天、中继卫星、商业航天等星地数据传输系统。其中,中高速调制器可实时产生不同类型的中高速数传信号,中高速解调器可实时接收不同类型的中高速数传信号。

GB/T 43941《星地数据传输中高速调制解调器技术要求和测试方法》拟由两个部分构成。

- 第1部分:调制器。目的在于规定星地数据传输中高速调制器的功能组成、性能要求、接口要求和测试方法。
- 第2部分:解调器。目的在于规定星地数据传输中高速解调器的功能组成、性能要求、接口要求和测试方法。

上述两部分共同构成了星地数据传输中高速调制解调器技术要求和测试方法标准体系。

星地数据传输中高速调制解调器

技术要求和测试方法

第 2 部分:解调器

1 范围

本文件规定了星地数据传输中高速解调器的功能组成、性能要求、接口要求和测试方法。

本文件适用于卫星、空间站、探测器等航天器与地面间数据传输速率在 5 Mb/s~4 800 Mb/s 之间的中高速解调器(以下简称“解调器”)的设计和测试。

2 规范性引用文件



下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 39348—2020 空间数据与信息传输系统 遥测同步与信道编码

GB/T 42041 航天术语 空间数据与信息传输

GB/T 43941.1—2024 星地数据传输中高速调制解调器技术要求和测试方法 第 1 部分:调制器

GY/T 338—2020 数字电视卫星传输信道编码和调制规范

3 术语和定义

GB/T 42041 和 GB/T 43941.1—2024 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

比特合路 bit merging

数据输出时,I 路数据和 Q 路数据以比特为单位进行合路。

3.2

帧合路 frame merging

数据输出时,I 路数据和 Q 路数据以帧为单位进行合路。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AGC:自动增益控制(Automatic Gain Control)

APSK:幅度相移键控(Amplitude Phase Shift Keying)

BER:误比特率(Bit Error Rate)

BPSK:二相相移键控(Binary Phase Shift Keying)

CCM:固定编码调制(Constant Coding and Modulation)

CRC:循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check)

- DNRZ:差分不归零码(Differential Non Return to Zero)
- LDPC:低密度极奇偶校验(Low Density Parity Check)
- NRZ-L:非归零电平码(Non Return to Zero Level)
- NRZ-M:非归零传号码(Non Return to Zero Mark)
- NRZ-S:非归零空号码(Non Return to Zero Space)
- OQPSK:偏置四相相移键控(Offset Quadrature Phase Shift Keying)
- PCM:脉冲编码调制(Pulse Code Modulation)
- PSK:相移键控(Phase Shift Keying)
- QAM:正交幅度调制(Quadrature Amplitude Modulation)
- QPSK:四相相移键控(Quadrature Phase Shift Keying)
- RS:里德-所罗门(Reed-Solomon)
- VCM:可变编码调制(Variable Coding and Modulation)

5 功能组成

5.1 地面解调器

地面解调器主要包含模拟信号接收、信号解调、帧数据处理及译码、数据组包、监视控制等功能,各功能组成如图 1 所示。具体说明如下:

- a) 模拟信号接收:实现模拟信号 AGC、模拟信号滤波等处理;
- b) 信号解调:实现载波同步、符号同步、均衡、解映射等处理;
- c) 帧数据处理及译码:实现帧同步、解扰、译码、添加时间码等处理,位流模式下此功能可旁路;
- d) 数据组包:实现输出数据格式转换、数据发送等处理;
- e) 监视控制:实现参数设置、状态显示、日志记录等处理。

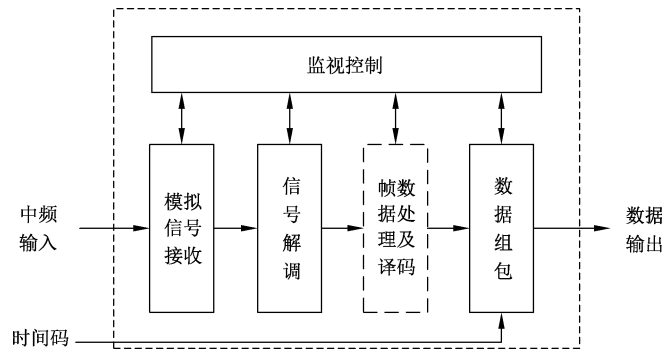


图 1 地面解调器功能组成图

5.2 星上解调器

星上解调器主要包含下变频、信号解调、帧数据处理及译码、数据组包等功能,各功能组成如图 2 所示。具体说明如下:

- a) 下变频:对射频信号进行下变频,输出中频或基带信号;
- b) 信号解调:实现载波同步、符号同步、均衡、解映射等处理;
- c) 帧数据处理及译码:实现帧同步、解扰、译码、添加时间码等处理,位流模式下此功能可旁路;
- d) 数据组包:实现输出数据格式转换、数据发送等处理。

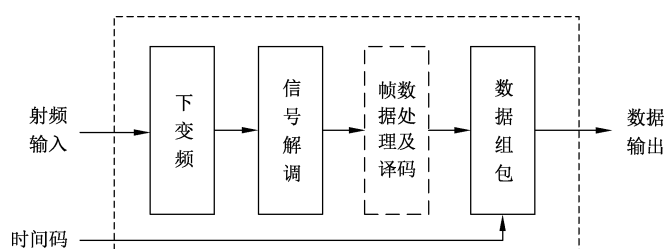


图2 星上解调器功能组成图

6 性能

6.1 输入频率

6.1.1 地面解调器输入信号频率可选用 720 MHz、1.2 GHz、1.5 GHz、1.8 GHz 或 2.4 GHz。

6.1.2 星上解调器输入信号频段可选用 S 频段、X 频段或 Ka 频段。

6.2 输入电平

6.2.1 地面解调器输入信号电平范围为 -50 dBm \sim 0 dBm。

6.2.2 星上解调器输入信号电平范围遵循专用技术文件的规定。

6.3 解调

6.3.1 解调方式

CCM 模式下,解调方式及星座映射应从下列要求中选取:

- 解调方式: BPSK、QPSK、OQPSK、8PSK、16QAM、16APSK、32APSK、64APSK、64QAM;
- 星座映射: 不同解调方式下的星座映射符合 GB/T 43941.1—2024 中附录 A 的规定。

6.3.2 符号速率与比特速率

CCM 模式下符号速率应从 5 Msps \sim 800 Msps 范围内选取。

注: sps——每秒符号数(symbol per second)。

对于 M 进制调制,比特速率应满足公式(1):

$$R_b = R_s \times \log_2 M \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

R_b —— 比特速率;

R_s —— 符号速率;

M —— 调制进制。

星上解调器比特速率推荐值见 GB/T 43941.1—2024 中 6.4.2 的相关要求。

6.3.3 中心频率与符号速率

地面解调器中心频率与符号速率对应关系如下:

- 符号速率最高为 300 Msps 时,中心频率推荐选用 720 MHz、1.2 GHz 或 1.5 GHz;
- 符号速率最高为 500 Msps 时,中心频率推荐选用 1.2 GHz 或 1.5 GHz;
- 符号速率最高为 800 Msps 时,中心频率推荐选用 1.8 GHz 或 2.4 GHz。

6.3.4 匹配滤波

匹配滤波应满足以下规定：

- a) 匹配滤波类型适应升余弦、平方根升余弦和不成型三种方式；
- b) 匹配滤波滚降系数：0.10~1.00 中选取，步进 0.05。

6.3.5 载波捕获

6.3.5.1 多普勒频率适应性

多普勒频率适应性应满足以下要求：

- a) 多普勒捕获范围：-900 kHz~900 kHz；
- b) 多普勒变化率：-25 kHz/s~25 kHz/s。

6.3.5.2 捕获时间

捕获时间小于或等于 1 s。

6.3.6 符号同步

在数据流连续 128 bit 无码元电平跳变条件下，符号同步捕获范围不小于±0.1%符号速率。

6.3.7 频谱处理

频谱处理可选用倒置、不倒置和自适应三种方式。

6.3.8 PCM 码型

PCM 码型可选择 NRZ-L、NRZ-M 和 NRZ-S 三种类型。

6.3.9 差分译码

差分译码可选用 $\text{DNRZ}(I+Q)$ 、 $\text{DNRZ}(\bar{I}+Q)$ 、 $\text{DNRZ}(I+\bar{Q})$ 、 $\text{DNRZ}(\bar{I}+\bar{Q})$ 、 $\text{DNRZ}(Q+I)$ 、 $\text{DNRZ}(\bar{Q}+I)$ 、 $\text{DNRZ}(Q+\bar{I})$ 和 $\text{DNRZ}(\bar{Q}+\bar{I})$ 八种类型，差分编码具体定义符合 GB/T 43941.1—2024 中附录 B 的规定。

6.4 帧数据处理

6.4.1 帧同步

帧同步满足以下规定：

- a) 帧同步字长度可选取 8 bit、16 bit、24 bit、32 bit、40 bit、48 bit、56 bit、64 bit 或 128 bit；
- b) 帧长选择应从 128 Byte~16 384 Byte 范围内选取，帧长与译码方式的关系应符合 GB/T 39348—2020 中第 12 章的要求；
- c) 帧同步搜索容错位数：0 bit~15 bit；
- d) 帧同步校核容错位数：0 bit~15 bit；
- e) 帧同步锁定容错位数：0 bit~15 bit；
- f) 帧同步校核帧数：1 帧~16 帧；
- g) 帧同步锁定帧数：1 帧~16 帧。

6.4.2 CRC 校验

CRC 校验不包含帧同步字,具体格式应满足 GB/T 39348—2020 中 G.2.1 的要求。

6.4.3 解扰

解扰满足以下规定:

- a) 扰码生成多项式和初相可设置,最大长度 32 bit;
- b) 扰码结构应满足移位寄存器输出和反馈输出两种方式,扰码结构按 GB/T 43941.1—2024 中的附录 C 执行。

6.4.4 IQ 识别

帧同步分路条件下应具备 IQ 识别,具体方式如下:

- a) 通过帧同步字识别 IQ;
- b) 通过频谱倒置或不倒置识别 IQ;
- c) 通过版本号、航天器标识符等特征字识别 IQ。

注: IQ 识别相关示例见附录 A。

6.5 译码

6.5.1 卷积译码

卷积译码应满足 GB/T 39348—2020 中 5.3 和 5.4 的要求,卷积编码码率推荐采用 1/2、3/4。

6.5.2 RS 译码

RS 译码应满足 GB/T 39348—2020 中 6.3 和 6.4 的要求。

6.5.3 级联译码

级联译码由卷积译码与 RS 译码组合而成,应满足 GB/T 39348—2020 中 7.3 的要求。

6.5.4 LDPC 译码

LDPC 译码方式应满足 GB/T 39348—2020 中 9.3 和 9.4 的要求,推荐采用 LDPC(8160,7136)。

6.5.5 解调译码损耗

解调译码损耗指标应满足以下要求:

- a) E_b/N_0 偏离理论值 ≤ 2.0 dB(码速率 ≤ 600 Mb/s);
- b) E_b/N_0 偏离理论值 ≤ 3.0 dB(600 Mb/s $<$ 码速率 $\leq 2\ 000$ Mb/s);
- c) E_b/N_0 偏离理论值 ≤ 4.0 dB(码速率 $> 2\ 000$ Mb/s)。

6.6 可变编码调制(VCM)

6.6.1 VCM 信号格式

VCM 信号格式应满足以下要求:

- a) 解调方式适应范围:QPSK、8PSK、16APSK、32APSK;
- b) 符号速率从 100 Msps~800 Msps 范围内选取;
- c) 信号格式符合 GY/T 338—2020 中 5.2 的要求。

6.6.2 VCM 解调译码损耗

VCM 解调译码损耗应满足下列要求：

- a) E_s/N_0 偏离理论值 ≤ 3.0 dB(符号速率 ≤ 300 Msps)；
- b) E_s/N_0 偏离理论值 ≤ 4.0 dB(300 Msps $<$ 符号速率 ≤ 500 Msps)；
- c) E_s/N_0 偏离理论值 ≤ 5.0 dB(符号速率 > 500 Msps)。

6.7 调制编码组合、数据操作流程

推荐调制编码组合按 GB/T 43941.1—2024 中附录 D 的规定选择，推荐数据操作流程按 GB/T 43941.1—2024 中附录 E 的规定执行。

6.8 数据输出

6.8.1 数据输出格式和方式

数据输出格式应符合专用技术文件相关规定，通常应包含数据、时间码、传输帧质量标识等，相关示例见附录 B。

数据输出方式可选用位流模式或帧同步数据，具体输出方式见表 1，相关示例见附录 B。

表 1 数据输出方式

序号	数据输出方式	
1	位流模式	
2	帧同步数据	帧同步合路数据
3		帧同步分路, IQ 数据分路
4		帧同步分路, IQ 数据比特合路
5		帧同步分路, IQ 数据帧合路

6.8.2 数据传输

数据传输方式可选用实时发送和事后转发两种方式。

7 接口

7.1 信号输入接口

信号输入接口满足以下规定：

- a) 阻抗： 50Ω ；
- b) 驻波比： < 1.4 ；
- c) 物理接口可选用：SMA、TNC、N 型或 2.92 mm(K 型)。

7.2 频标输入接口

频标输入接口满足以下规定：

- a) 频率可选取 10 MHz 或 100 MHz；
- b) 幅度不低于 3 dBm；
- c) 阻抗为 50Ω ；

d) 物理接口可选用 SMA、BNC、TNC 或 N 型。

7.3 时间码输入接口

时间码信号输入接口满足以下规定。

- a) 时间码类型可选用 IRIG-B(DC)或 IRIG-B(AC)。
- b) 阻抗:IRIG-B(DC)符合 RS-422 接口,IRIG-B(AC)为 600 Ω 。
- c) 物理接口:
 - 1) IRIG-B(DC)可选用 DB-9 或 Y50XⅢ-1207ZJ10;
 - 2) IRIG-B(AC)可选用 SMA 或 BNC。

7.4 数据传输接口

地面解调器数据传输接口满足以下规定:

- a) 传输协议:TCP 或 UDP;
- b) 物理接口可选用 RJ-45 或光纤。

星上解调器数据传输接口应符合专用技术文件的规定。

8 测试方法

8.1 测试条件

8.1.1 测试环境

除另有规定外,所有常温测试应在如下环境条件下进行:

- a) 环境温度:15 $^{\circ}\text{C}$ ~ 35 $^{\circ}\text{C}$;
- b) 相对湿度: $\leq 80\%$ 。

8.1.2 测试仪器及陪测设备

所有测试仪器应经过计量部门检定合格并在有效期内,其量程、精度满足测试要求,测试仪器及要求见表 2。所有陪测设备应经相关单位检验鉴定合格,其功能、性能满足测试要求,陪测设备及要求见表 3。

表 2 测试仪器及要求

序号	仪器名称	仪器性能指标要求
1	频谱仪	a) 频率分辨率: ≤ 1 Hz; b) 输入信号电平范围: -110 dBm ~ +20 dBm; c) 显示平均噪声谱密度: ≤ -140 dBm/Hz; d) 支持信号相位噪声测试: ≤ -100 dBc/Hz; e) 绝对功率电平误差: ± 0.2 dB
2	任意波形发生器	a) 调制方式: BPSK、QPSK、OQPSK、8PSK、16QAM、16APSK、32APSK、64APSK、64QAM; b) 符号速率: 5 Msps ~ 800 Msps; c) 中心频率: 720 MHz、1.2 GHz、1.5 GHz、1.8 GHz 或 2.4 GHz

表 2 测试仪器及要求 (续)

序号	仪器名称	仪器性能指标要求
3	噪声源	a) 噪声带宽: >最大信号带宽; b) 噪声谱密度: -135 dBm/Hz~ -90 dBm/Hz; c) 噪声功率步进: ≤0.5 dB

表 3 陪测设备及要求

序号	仪器名称	陪测设备性能指标要求
1	上变频器	a) 输入中心频率、输出中心频率: 满足测试要求; b) 带外谐波: ≥60 dBc; c) 杂散抑制: ≥55 dBc
2	调制器	a) 中心频率: 满足测试要求; b) 调制方式、符号速率、译码方式、解扰方式、码型: 覆盖测试要求; c) 数据格式: 覆盖测试要求; d) 具备 VCM 信号发送能力, VCM 信号模式覆盖测试要求
3	时码发生器	a) 输出 B 码相对于标准时间偏差: 1) B(DC)码: ±(100 ns~20 μs); 2) B(AC)码: ±(1 μs~20 μs)。 b) 时间保持偏差: ±(5 μs~1 s)(保持时间 24 h)
4	存储设备	a) 数据输入接口与解调器的数据输出接口匹配; b) 接收数据速率不小于最大传输速率

8.2 测试框图

解调器测试框图由任意波形发生器/调制器、噪声源、时码发生器、上变频器、频谱仪、解调器和存储设备组成,如图 3 所示:

- a) 解调器为被测设备;
- b) 任意波形发生器/调制器用于输出测试所需的各种调制信号;
- c) 噪声源用于产生解调器功能和性能测试中所需的宽带噪声;
- d) 时码发生器用于产生本地时码;
- e) 上变频器用于把任意波形发生器/调制器输出的中频信号变频至星上解调器支持的射频信号;
- f) 频谱仪用于需要对频率、功率进行测量的项目;
- g) 存储设备用于接收和存储解调器发送的接收数据。

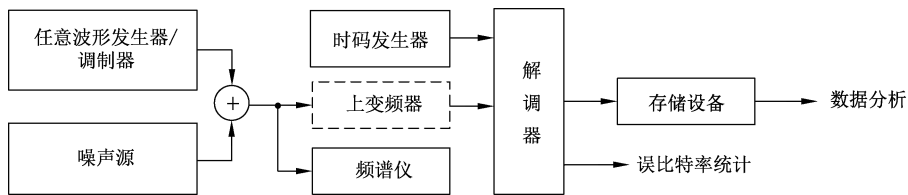


图 3 解调器测试框图

8.3 测试项目

解调器测试项目见表 4。

表 4 测试项目列表

序号	测试项目	要求	测试方法	
1	输入频率	6.1	8.4.1	
2	输入电平	6.2	8.4.2	
3	解调	解调方式	6.3.1	8.4.3.1
4		符号速率与比特速率	6.3.2	8.4.3.2
5		匹配滤波	6.3.4	8.4.3.3
6		载波捕获	6.3.5	8.4.3.4
7		符号同步	6.3.6	8.4.3.5
8		频谱处理	6.3.7	8.4.3.6
9		PCM 码型	6.3.8	8.4.3.7
10		差分译码	6.3.9	8.4.3.8
11	帧数据处理	帧同步	6.4.1	8.4.4.1
12		CRC 校验	6.4.2	8.4.4.2
13		解扰	6.4.3	8.4.4.3
14		IQ 识别	6.4.4	8.4.4.4
15	译码	卷积译码	6.5.1	8.4.5.1
16		RS 译码	6.5.2	8.4.5.2
17		级联译码	6.5.3	8.4.5.3
18		LDPC 译码	6.5.4	8.4.5.4
19		解调译码损耗	6.5.5	8.4.5.5
20	VCM	VCM 信号格式	6.6.1	8.4.6.1
21		VCM 解调译码损耗	6.6.2	8.4.6.2
22	数据输出	数据输出格式和方式	6.8.1	8.4.7.1
23		数据传输	6.8.2	8.4.7.2

8.4 性能测试

8.4.1 输入频率测试

测试方法如下：

- 设置任意波形发生器中心频率,使任意波形发生器输出调制信号；
- 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收；
- 观察解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态；
- 更改任意波形发生器中心频率,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的全部输入频率。

8.4.2 输入电平测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器中心频率,使调制器输出调制信号；
- b) 通过频谱仪对信号电平进行测量,调整调制器输出电平为测试所需电平；
- c) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收；
- d) 观察解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态；
- e) 更改调制器输出电平,重复步骤 b)~步骤 d),直至覆盖专用技术文件规定的输入电平边界值和中间值；
- f) 更改调制器中心频率,重复步骤 a)~步骤 e),直至覆盖专用技术文件规定的全部输入频率。

8.4.3 解调测试

8.4.3.1 解调方式测试

测试方法如下：

- a) 设置任意波形发生器调制方式和星座映射,使任意波形发生器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收；
- c) 观察解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态；
- d) 更改调制方式及星座映射,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的全部调制方式及星座映射。

8.4.3.2 符号速率与比特速率测试

测试方法如下：

- a) 设置任意波形发生器符号速率,使任意波形发生器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收；
- c) 观察解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态；
- d) 更改符号速率,重复步骤 a)~步骤 c),对于地面解调器至少应覆盖专用技术文件规定的符号速率边界值和中间值,对于星上解调器应覆盖专用技术文件规定的所有符号速率；
- e) 更改调制方式,重复步骤 a)~步骤 d),直至覆盖专用技术文件规定的全部调制方式。

8.4.3.3 匹配滤波测试

测试方法如下：

- a) 设置任意波形发生器成型滤波类型、滚降系数,使任意波形发生器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收；
- c) 对接收数据进行 BER 统计；
- d) 更改成型滤波类型和滚降系数,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有滤波类型和滚降系数组合。

8.4.3.4 载波捕获测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器多普勒动态范围和多普勒变化率,使调制器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收；
- c) 观察解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态；

- d) 使解调器重新进行载波捕获,读取载波锁定时间,至少测试 5 次并记录最大捕获时间;
- e) 更改多普勒动态范围和多普勒变化率,重复步骤 a)~步骤 d),直至覆盖多普勒动态范围和多普勒变化率的边界值和中间值;
- f) 更改调制方式和符号速率,重复步骤 a)~步骤 e),直至覆盖专用技术文件规定的所有调制方式和符号速率。

8.4.3.5 符号同步测试

测试方法如下:

- a) 设置任意波形发生器加载包含 128 bit 全“0”的数据文件,使任意波形发生器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收;
- c) 更改任意波形发生器符号速率为解调器符号速率的 100.1%,观察解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态;
- d) 更改任意波形发生器符号速率为解调器符号速率的 99.9%,观察解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态;
- e) 同步修改解调器和任意波形发生器符号速率,重复步骤 a)~步骤 d),直至覆盖专用技术文件规定的所有符号速率。

8.4.3.6 频谱处理测试

测试方法如下:

- a) 设置任意波形发生器加载帧同步合路、帧同步字为 0x1ACFFC1D 的数据文件,使任意波形发生器输出 QPSK 调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收;
- c) 依次设置解调器频谱处理方式为倒置、不倒置和自适应,观察解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态;
- d) 使调制信号频谱发生倒置,重复步骤 c)。

8.4.3.7 PCM 码型测试

测试方法如下:

- a) 设置任意波形发生器加载 PCM 编码数据文件,使任意波形发生器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收;
- c) 观察解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态;
- d) 更改数据文件,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有 PCM 码型。

8.4.3.8 差分译码测试

测试方法如下:

- a) 设置任意波形发生器加载差分编码数据文件,使任意波形发生器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号接收;
- c) 观察解调器的载波同步、符号同步和帧同步锁定状态;
- d) 更改数据文件,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有差分译码类型。

8.4.4 帧数据处理测试

8.4.4.1 帧同步测试

测试方法如下:

- a) 设置任意波形发生器加载特定帧同步字长度和帧长的数据文件,使任意波形发生器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收;
- c) 观察解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态;
- d) 更改数据文件,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有帧同步字与帧长。

8.4.4.2 CRC 校验测试

测试方法如下:

- a) 设置任意波形发生器加载 CRC 校验数据文件,使任意波形发生器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收;
- c) 观察解调器 CRC 校验状态。

8.4.4.3 解扰测试

测试方法如下:

- a) 设置任意波形发生器加载特定加扰格式的数据文件,使任意波形发生器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收;
- c) 对接收数据进行 BER 统计;
- d) 更改数据文件,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有解扰组合。

8.4.4.4 IQ 识别测试

测试方法如下:

- a) 设置任意波形发生器加载帧同步分路数据文件,数据文件中 IQ 两路帧同步字和数据内容不同,使任意波形发生器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,频谱处理方式选择自适应,通过解调器对调制信号进行接收;
- c) 对接收 IQ 数据分别进行 BER 统计;
- d) 更改数据文件,数据文件中 IQ 两路帧同步字相同、数据内容不同;
- e) 对应设置解调器,频谱处理方式选择不倒置,对接收 IQ 数据分别进行 BER 统计;
- f) 更改数据文件,数据文件中包含可用于 IQ 识别的特征值;
- g) 对应设置解调器,频谱处理方式选择自适应,对接收 IQ 数据分别进行 BER 统计;
- h) 重复步骤 a)~步骤 g),至少测试 10 次。

8.4.5 译码测试

8.4.5.1 卷积译码测试

测试方法如下:

- a) 设置任意波形发生器加载卷积编码数据文件,使任意波形发生器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收;
- c) 对接收数据进行 BER 统计;
- d) 更改数据文件,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有卷积编码类型和对应的数据操作流程。

8.4.5.2 RS 译码测试

测试方法如下:

- a) 设置任意波形发生器加载 RS 编码数据文件,使任意波形发生器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收;
- c) 对接收数据进行误比特率统计;
- d) 更改数据文件,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有 RS 编码类型和对应的数据操作流程。

8.4.5.3 级联译码测试

测试方法如下:

- a) 设置任意波形发生器加载级联编码数据文件,使任意波形发生器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收;
- c) 对接收数据进行 BER 统计;
- d) 更改数据文件,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有级联编码类型和对应的数据操作流程。

8.4.5.4 LDPC 译码测试

LDPC 译码测试方法如下:

- a) 设置任意波形发生器加载 LDPC 编码数据文件,使任意波形发生器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收;
- c) 对接收数据进行 BER 统计;
- d) 更改数据文件,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有 LDPC 编码类型和对应的数据操作流程。

8.4.5.5 解调译码损耗测试

解调译码损耗测试如下:

- a) 设置任意波形发生器比特速率、调制方式和编码方式等参数,使任意波形发生器输出调制信号;
- b) 通过噪声源对调制信号进行加噪;
- c) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收;
- d) 调节调制信号功率和噪声功率,使解调器的 $BER \leq 1.0 \times 10^{-7}$,测试总比特数不低于 1.0×10^8 ,观察时间不少于 30 s;
- e) 通过频谱仪对当前信号加噪声功率 P_s 、噪声功率 P_n 分别进行测量;
- f) 记录当前信号加噪声功率、噪声功率和 BER;
- g) 根据公式(2)计算 E_b/N_0 ,解调损耗为 E_b/N_0 减去理论值,解调译码理论值见附录 C;
- h) 更改比特速率、调制方式和编码方式等参数,重复步骤 a)~步骤 g),对于地面解调器至少应覆盖专用技术文件规定的所有调制方式、编码方式以及符号速率的边界值和中间值,对于星上解调器应覆盖专用技术文件规定的所有调制方式、编码方式和比特速率组合。

$$E_b/N_0 = 10 \cdot \lg\left(10^{\frac{P_s - P_n}{10}} - 1\right) + 10 \cdot \lg\left(\frac{B_w}{R_b \gamma}\right) \dots\dots\dots (2)$$

式中:

E_b/N_0 ——每比特能量与噪声功率谱密度比,单位为分贝(dB);

P_s ——信号加噪声功率,单位为分贝毫瓦(dBm);

P_n ——噪声功率,单位为分贝毫瓦(dBm);

B_w ——信号带宽;

- R_b —— 比特速率；
- γ —— 编码效率。

8.4.6 VCM 测试

8.4.6.1 VCM 信号格式测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器 VCM 编码调制方式为固定模式,使调制器输出 VCM 调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收；
- c) 观察解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态；
- d) 更改调制器 VCM 编码调制方式,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有编码调制方式；
- e) 设置调制器 VCM 编码调制方式为切换模式,模式切换范围覆盖专用技术文件规定的所有编码调制方式；
- f) 观察调制编码方式切换过程中解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态；
- g) 更改符号速率,重复步骤 a)~步骤 f),对于地面解调器至少应覆盖专用技术文件规定的符号速率的边界值和中间值,对于星上解调器应覆盖专用技术文件规定的所有符号速率。

8.4.6.2 VCM 解调译码损耗测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器 VCM 参数,使调制器输出 VCM 调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收；
- c) 调节调制器信号功率和噪声功率,使解调器的 $BER \leq 1.0 \times 10^{-7}$,测试总比特数不低于 1.0×10^8 ,观察时间不少于 30 s；
- d) 通过频谱仪对当前信号加噪声功率 P_s 、噪声功率 P_n 分别进行测量；
- e) 记录当前信号加噪声功率、噪声功率和 BER；
- f) 根据公式(3)计算 E_s/N_0 ,解调损耗为 E_s/N_0 减去理论值,解调译码理论值按 GY/T 338—2020 中第 7 章规定的内容确定；
- g) 更改符号速率、调制方式和编码方式等参数,重复步骤 a)~步骤 f),对于地面解调器至少应覆盖专用技术文件规定的所有调制编码方式以及符号速率的边界值和中间值,对于星上解调器应覆盖专用技术文件规定的所有调制编码方式及符号速率。

$$E_s/N_0 = 10 \cdot \lg(10^{\frac{P_s - P_n}{10}} - 1) + 10 \cdot \lg\left(\frac{B_w}{R_s}\right) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- E_s/N_0 —— 每符号能量与噪声功率谱密度比,单位为分贝(dB)；
- P_s —— 信号加噪声功率,单位为分贝毫瓦(dBm)；
- P_n —— 噪声功率,单位为分贝毫瓦(dBm)；
- B_w —— 信号带宽；
- R_s —— 符号速率。

8.4.7 数据输出测试

8.4.7.1 数据输出格式和方式测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收,数据输出方式选择位流模式；
- c) 解调数据实时发送至存储设备,通过存储设备对解调数据进行记录；
- d) 查看记录数据类型、数据格式、时间码格式；
- e) 修改调制器输出信号格式为帧同步合路；
- f) 对应设置解调器,数据输出方式选择帧同步合路数据,重复步骤 c)~步骤 d)；
- g) 修改调制器输出信号格式为帧同步分路；
- h) 对应设置解调器,数据输出方式选择 IQ 数据分路,重复步骤 c)~步骤 d)；
- i) 修改数据输出方式为 IQ 数据比特合路,重复步骤 c)~步骤 d)；
- j) 修改数据输出方式为 IQ 数据帧合路,重复步骤 c)~步骤 d)。

8.4.7.2 数据传输测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器输出调制信号,比特速率设置为专用技术文件规定的最大速率；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行接收；
- c) 解调数据实时发送至存储设备,通过存储设备对数据进行记录,数据记录时间不少于 60 min；
- d) 查看记录数据完整性和正确性；
- e) 修改解调器数据传输方式为事后转发,向存储设备发送本地数据文件；
- f) 通过存储设备对数据进行记录,查看记录数据完整性和正确性。

附 录 A
(资料性)
IQ 识别参考方法

A.1 通过帧同步字进行 IQ 识别

通过帧同步字进行 IQ 识别时,要求 IQ 两路数据的帧同步字不同,此时解调器可通过不同的帧同步字来识别 IQ 支路。

A.2 通过频谱倒置或不倒置进行 IQ 识别

当 IQ 两路数据的帧同步字相同时,若已知信号频谱倒置状态,可通过设置频谱倒置或不倒置来识别 IQ 支路。

A.3 通过特征字进行 IQ 识别

图 A.1 是星地数据传输系统中广泛采用的一种数据操作流程,其中两路数据帧同步字和加扰多项式相同、加扰初相不同。对于此类信号由于加扰前 IQ 支路中版本号和航天器标识符等特征字通常是相同的,经过 IQ 两路加扰处理后特征字会有所不同,因此可通过加扰后特征字的差异识别 IQ 支路。

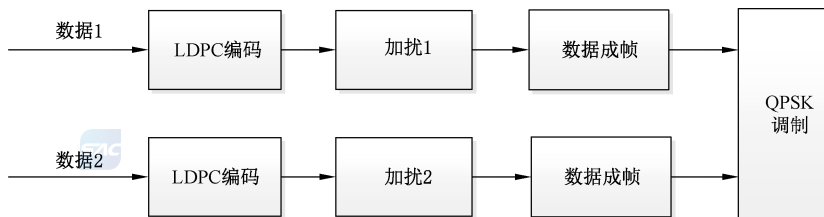


图 A.1 数据操作流程示例

附录 B

(资料性)

数据输出格式及方式

B.1 数据输出格式

解调器输出数据的每一个传输帧由数据域、时间域和状态域 3 部分组成,如图 B.1 所示。



图 B.1 解调器输出数据组成

数据域中数据内容总长度需为 8 字节的整倍数,当解调数据长度不足 8 字节的整倍数时需通过在数据内容后补零,补齐 8 字节的整倍数。

时间域长度固定为 8 字节,前 4 字节表示秒计数、后 4 字节表示微秒计数,如图 B.2 所示。



图 B.2 时间域组成

数据状态域固定为 8 字节,数据状态域可根据用户需要自行定义,一般需包括传输帧质量标识、数据同步状态等标志。

B.2 数据输出方式

数据输出方式按下列操作执行。

a) 位流模式数据输出方式如图 B.3 所示,传输帧数据域长度根据用户要求确定。

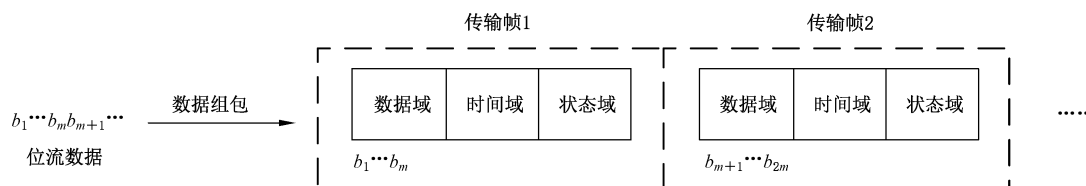


图 B.3 位流模式

b) 帧同步合路数据输出方式如图 B.4 所示。

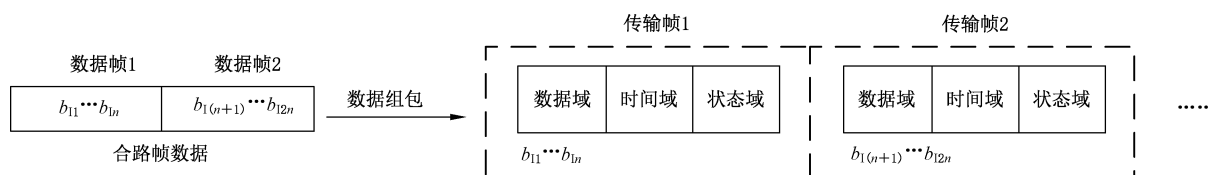


图 B.4 帧同步合路数据

c) 帧同步分路且 IQ 分路数据输出方式如图 B.5 所示。

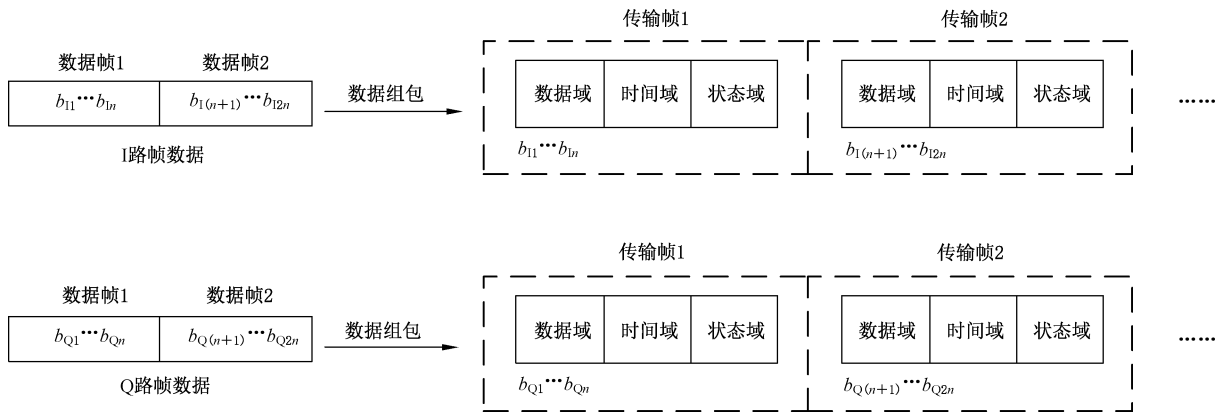


图 B.5 IQ 数据分路

d) 帧同步分路且 IQ 比特合路数据输出方式如图 B.6 所示。

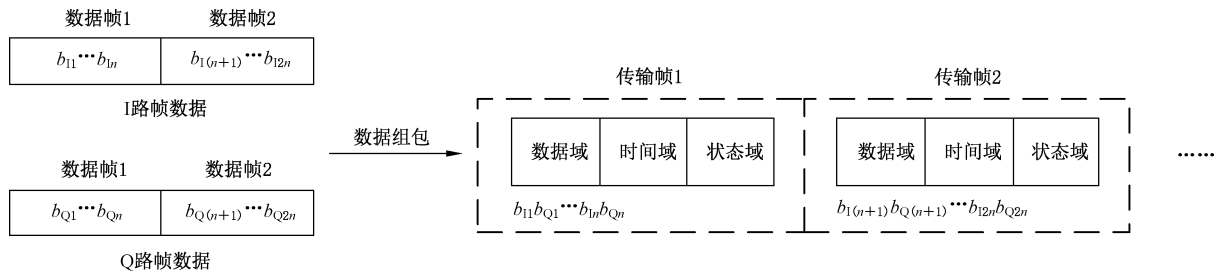


图 B.6 IQ 数据比特合路

e) 帧同步分路且 IQ 帧合路数据输出方式如图 B.7 所示。

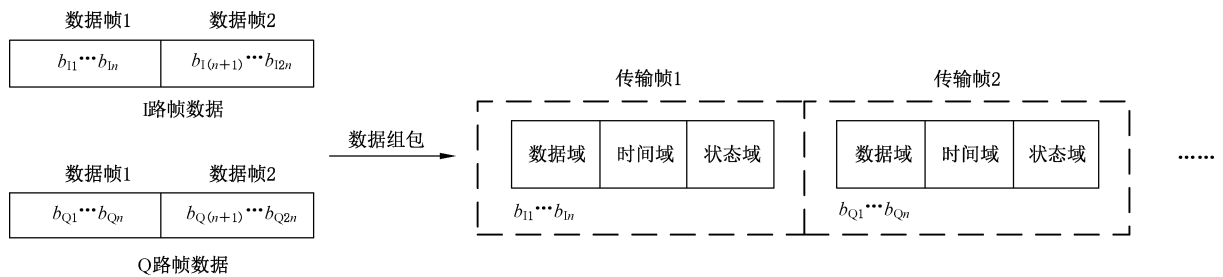


图 B.7 IQ 数据帧合路

附录 C

(资料性)

CCM 常用解调译码理论值

CCM 常用解调译码理论值见表 C.1。

表 C.1 CCM 常用解调译码理论值

单位为分贝

调制模式	编码类型	E_b/N_0 (BER= 10^{-7})
BPSK/QPSK/OQPSK	无编码	11.30
	卷积 1/2	5.30
	卷积 3/4	6.40
	RS(255,223)	6.60
	RS(255,239)	7.40
	卷积 1/2+RS(255,223)	2.80
	卷积 3/4+RS(255,223)	3.90
	卷积 1/2+RS(255,239)	3.10
	卷积 3/4+RS(255,239)	4.20
	LDPC(8160,7136)	4.15
8PSK	无编码	14.75
	LDPC(8160,7136)	7.10
16QAM	无编码	15.19
	LDPC(8160,7136)	7.69
16APSK	无编码	15.70
	LDPC(8160,7136)	7.97
32APSK	无编码	18.10
	LDPC(8160,7136)	9.80

