

# 多模双频段车载遥感地面站的设计及应用

王 怀<sup>1</sup>, 王 强<sup>2</sup>

(1. 航天恒星科技有限公司, 北京 100086; 2. 中国科学院 遥感与数字地球研究所, 北京 100094)

**摘要:** 随着对地观测技术的快速发展, 遥感卫星资源也越来越丰富, 为充分发挥地面接收系统的效能, 需要满足一站多能, 天线既能接收低轨遥感卫星的数据, 又能接收高轨遥感卫星的数据, 满足多个频段的接收需求; 信道配置需要满足不同频段、不同解调方式、不同编译码的卫星数据接收需求; 针对不同模式的卫星接收进行了星地链路的分析和计算, 在此基础上, 对系统组成及工作原理进行了介绍, 并且对卫星的数据接收流程进行了设计; 同时对系统的关键点高码速率解调译码器和光传输进行了详细的设计, 最后经实际工程应用验证了设计情况, 满足了工程的使用要求。

**关键词:** 多模; 双频; 遥感; 接收

## Design and Application for Multi-mode and Dual-band Vehicle-borne Remote Sensing Ground Station

Wang Huai<sup>1</sup>, Wang Qiang<sup>2</sup>

(1. Space Star Technology Co., Ltd., Beijing 100086, China;

2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

**Abstract:** With the rapid development of earth observation technology, remote sensing satellite resources are becoming more and more abundant. In order to full play to the effectiveness of the ground receiving system, it is necessary to meet the multi-function of one station. The antenna can receive data from both low-orbit remote sensing satellites and high-orbit remote sensing satellites, and meet the receive needs of multiple bands. Channel configuration needs to meet the satellite data receiving requirements of different frequency bands, different demodulation modes and different coding and decoding. The satellite-to-ground link analysis and calculation are carried out for different modes of satellite. On this basis, the system composition and working principle are introduced, and the data receiving process of satellite is designed. At the same time, the key points of the system, single-high code rate demodulation decoder and optical transmission are analyzed in detail. Finally, the design has been verified by practical engineering application, which meets the application requirements of the project.

**Keywords:** multimode-mode; dual frequency; remote sensing; receiving

## 0 引言

随着对地观测技术的发展, 遥感卫星资源越来越丰富。为了充分发挥地面接收系统的效能, 往往要求地面系统支持多种模式卫星的数据接收。例如支持低轨遥感卫星的数据接收、支持静止轨道遥感卫星的数据接收、支持 X 频段的数传、支持 Ka 频段的数传、支持多种解调方式的解调, 真正实现地面接收站的一站多用, 同时为了提高系统的机动性能, 采用可拆卸、可搬移的方式。对于上述多种模式的使用需求, 对系统的设计和工作流程, 都提出了新的要求。

针对上述需求, 依据星地链路计算的结果, 对多模双频段车载地面站的组成、工作原理和数据接收工作流程进行了设计, 满足多种卫星的自动化数据接收, 记录传输需求。同时对车载地面站的关键点, 高码速率解调译码器和光传输进行了重点设计, 满足不同卫星的多种解调译码方

式及车载系统快速拆卸的使用需求<sup>[1]</sup>。

系统设计采用成熟技术和通用设备, 具有一定的先进性, 保证系统具有高可靠性、良好的可维护性及可扩充性; 目前已经交付中国遥感卫星地面站, 进入业务运行阶段, 执行以资源三号卫星为代表的低轨遥感卫星和以高分四号为代表的高轨卫星的接收、记录和传输任务。

## 1 车载遥感接收系统设计

### 1.1 星地链路计算

在确定地面站设备选型之前需对星地链路进行预算, 确定地面站设备的性能指标。星地链路的预算主要包括 3 个方面的内容: 卫星发射功率、空间损耗、地面站接收天线 G/T 值, 解调门限。针对资源三号为代表的低轨卫星和以高分四号为代表的高轨卫星, 系统链路预算如表 1 所示。

当考虑雨雪天气接收时(降雨量为中雨), 有 3 dB 以上的链路余量, 满足星地链路需求; 同时, 系统拟采用 7.3 米 X/Ka 双频段环焦天线, 对 X 频段设计接收 G/T 值优于 32 dB/K, Ka 频段设计接收 G/T 值优于 36 dB/K, 系统有更大的余量。

收稿日期: 2019-11-05; 修回日期: 2019-11-29。

作者简介: 王 怀(1984-), 男, 河南南阳人, 工学硕士, 高级工程师, 主要从事遥感卫星地面接收系统总体设计方向的研究。

表 1 卫星链路计算表格

参数	单位	ZY-3	GF-1	GF-2	GF-4
发射载波频率	GHz	8.21	8.20	8.20	19.200
传输数据率	Mbps	450.00	450.00	450.00	300
EIRP	dBW	27.00	28.00	28.00	54.00
卫星轨道高度	km	500	645.00	631.00	38 000
空间传输距离	km	2 077.94	2 435.20	2 402.21	39 854.65
空间传输损耗	dB	177.10	178.44	178.32	210.12
指向损耗	dB	0.5	0.5	0.5	0.5
极化损耗	dB	0.5	0.5	0.5	0.5
接收 G/T 值	dB/K	32.00	32.00	32.00	36.00
大气吸收	dB	0.50	0.50	0.50	0.50
降雨损耗	dB	4.00	4.00	4.00	10.00
C/N <sub>0</sub>	dBHz	104.99	104.65	104.77	96.98
链路 E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub>	dB	18.46	18.12	18.23	12.21
要求 E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub>	dB	11.50	11.50	11.50	11.50
解调损耗	dB	2.00	2.00	2.00	2.00
编码增益	dB	0	0	0	6.00
余量	dB	4.96	4.62	4.73	4.71

1.2 系统组成及工作原理

为实现包括资源三号和高分四号在内的多种卫星数据接收的能力, 形成全天候、全天时、多种分辨率卫星的接收能力; 独立完成卫星信号的捕获跟踪、数据接收, 记录和传输工作, 具备远程和本地双重任务管理和设备监控等能力, 实现无人值守, 具有自动化监控管理能力; 为保障业务的长期稳定运行, 可自动实现中频、射频环路自检, 并可自动完成 G/T 值、误码率等指标测试; 系统具备故障诊断功能, 并向上级系统上报系统工作状态, 同时具备机动性、可拆卸搬移能力。车载地面站主要由天伺馈分系统、信道分系统、记录分系统、数传分系统、测试分系统、技术支持分系统和监控管理分系统组成。系统组成如图 1 所示。

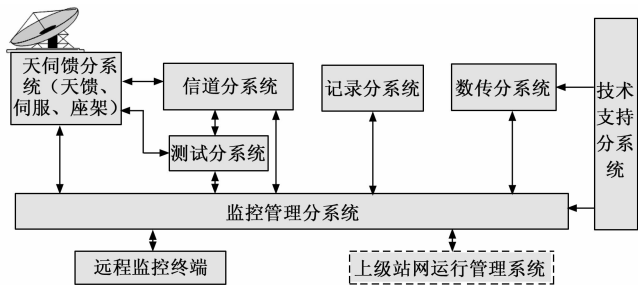


图 1 系统组成框图

天伺馈分系统采用 7.3 m 双频段环焦天线, 主要由天馈、座架和伺服 3 部分组成。其中天馈包括天线、馈源、馈线网络等, 主要任务是完成卫星下行数据信号的采集输出; 座架包括俯仰+方位+倾斜组合三轴座架, 具有全半球跟踪接收能力, 保证过顶跟踪不丢失目标, 能够跟踪接收中低高轨遥感卫星; 伺服包括 ACU、驱动设备、电机等, 主要任务是根据指令采取各种控制策略控制天线的运动, 快速、准确地对目标进行搜索、捕获及跟踪。

信道分系统包括 X 频段信道和 Ka 频段信道。具体包括低噪声放大器、数字移相器、变频器、光传输设备、跟踪接收机、中频均衡矩阵及高码速率解调器等。天线馈源网络输出的左右旋数据信号经低噪声放大器、光纤传输、下变频产生中频信号, 送入解调器, 解调器对中频信号实施数据解调。

测试分系统包括功率计和频谱仪等。实现系统性能指标测试, 包括: 误码率、G/T 值和伺服性能测试等。

记录分系统包括原始记录软件和记录服务器。完成原始数据的记录和原始数据的质量检测, 并对解调器输出码流格式进行调整, 将数据送给数传分系统。

数传分系统包括传输软件、交换机和传输服务器等。完成卫星原始数据到用户数据中心的网络传输以及系统与站网运行管理系统之间的指令信息流网络传输。

技术支持分系统: 包括天线拖车、设备方舱、标校设备、时统单元等。时统单元为系统提供高稳定的标准频率信号和标准时间信号; 标校设备为系统维护、故障定位提供检测; 设备方舱为整站的电子设备提供运行环境, 天线拖车替代天线基座, 实现设备的拆卸搬移。

监控管理分系统包括监控管理服务器、网络设备以及应用软件等。主要任务是根据站网运行管理系统下发的任务计划形成数据接收计划; 控制系统参数配置, 完成跟踪、接收和记录任务; 对各分系统设备进行统一监控管理; 对数据接收系统故障信息进行分析, 结果上报站网运行管理系统。

系统的典型设备组成如图 2 所示。

设备分别部署与天线车和和设备方舱内部, 天线车和和设备方舱通过光缆进行连接, 方便系统的快速展收。在天线中心体内, 通过使用 X 频段开关矩阵的方法, 可以使 Ka 频段和 X 频段分时共享数据接收链路, 降低了系统的复杂度和系统的成本, 卫星接收工作流程如图 3 所示。

1.2.1 任务计划执行阶段

在卫星过境前, 监控管理分系统下发点位预报数据给天伺馈分系统, 同时给站内其它各分系统下发参数控制命令; 按照接收计划捕获并跟踪卫星, 接收卫星下传的遥感数据。由天伺馈分系统及信道分系统进行卫星遥感数据的接收、解调, 由记录分系统进行解调后原始数据的记录、质量检测; 数据接收完成后, 记录分系统根据监控管理分系统下发的传输计划将原始数据传输至数据传输分系统; 在任务执行期间, 监控管理分系统对各分系统上报的设备运行状态信息、正在执行任务的设备组态和工作链路进行监控, 进行信息汇总后形成全站运行状态信息并上报站网运行管理系统。

1.2.2 任务执行情况上报阶段

任务执行完成后, 天伺馈分系统生成天线的接收质量报告 (ACU 锁定、失锁时工作状态参数信息)、信道分系统生成信道的接收质量报告 (跟踪接收机、解调器的锁定、失锁时的状态参数信息和解调器误码信息) 及记录分系统生成的数据质量报告 (原始数据载荷、模式、文件大小等

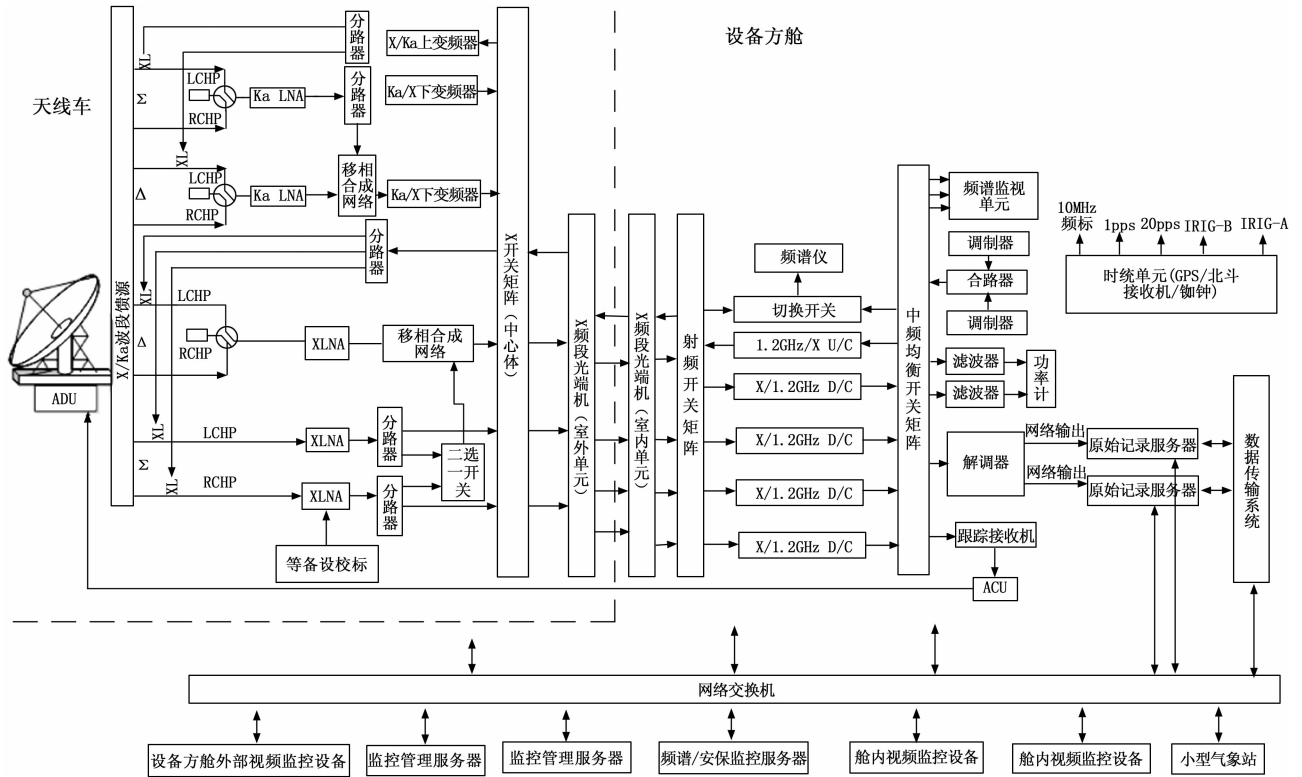


图 2 系统设备组成图

参数信息) 并上报至监控管理分系统, 监控管理分系统综合各分系统的质量报告形成接收质量分析报告上报给站网运行管理系统; 数据传输完成后, 记录分系统生成传输完成报告并上报至监控管理分系统; 监控管理分系统收集汇总各分系上报的执行情况及传输完成报告, 形成本次接收任务的完成报告, 并上报给站网运行管理系统, 完成接收任务的闭环。

## 2 关键点设计实现

### 2.1 高码速率解调器的设计实现

高速解调译码器作为车载地面站的核心设备, 完成卫星遥感数据的解调、译码等, 具备 BPSK、QPSK、UQPSK、OQPSK、16APSK、8PSK、16QAM 等多种解调方式<sup>[8-9]</sup>; 解调器码速率支持 2 Gbps, 支持符合 CCSDC 标准的 VITERBI 译码、R-S 译码及 LDPC 译码。高速数字解调器采用 3U VPX 系统架构, 分为结构子系统、硬件电路子系统、固件子系统和上位机应用软件子系统 4 个子系统。其中核心的固件子系统是完成高速解调、译码、数据存储等核心功能。主处理板采用标准的 3U VPX 架构实现, 其核心是一片 Xilinx 公司高性能、大容量 FPGA 芯片。

目前主流卫星为了提高频谱利用率, 普遍采用极化复用的传输模式, 例如资源三号卫星、高分系列卫星等。虽然采用交叉极化复用技术可大幅提高传输系统的频谱效率, 但由于极化复用信道的非理想特性, 两路极化信道的交叉极化鉴别率 (XPD) 受天线性能和电磁波在空间的传播因素影响, 会导致两路信道之间的相互干扰影响传输系统的

性能, 尤其是宽带、高频段的系统应用中影响尤为明显, 这需要在解调器内部做极化干扰消除的信号处理<sup>[5-7]</sup>。

理想的正交极化波传输如图 4 所示, 在信号传输过程中会遇到不利因素, 造成电波的极化发生偏离, 使 XPD 下降, 这种现象叫做去极化效应, 去极化产生的因素主要包括:

- 1) 天线的端口隔离度、天线的静态 XPD、天线 XPD 在工作频段的平坦度等非理想因素;
- 2) 雨雪大雾天气时, 雨滴和冰晶的散射;
- 3) 晴空时, 大气层的非均匀性、地面的信号反射。

以上因素均可造成传输系统 XPD 的下降, 当采用 X 频段传输时, XPD 最低可达 18 dB 以下, 当采用 Ka 频段传输时, XPD 最低可达 12 dB 以下, 尤其是进行高速信号传输时, 交叉极化干扰带来严重的码间串扰使信号的解调更为困难, 有必要采用极化干扰消除技术降低极化干扰对接收性能的影响。因此在解调器设计时, 需要特别考虑极化抵消的效应。

交叉极化信号在信道中的传输模型如图 5 所示, 发送端发送两路信号极化波: 水平极化信号  $S_H$  和垂直极化信号  $S_V$ , 信号在信道中受到同极化方向的影响记为  $HH$  和  $VV$ , 受到交叉极化方向上的影响记为  $HV$  和  $VH$ 。同极化方向的影响主要包含码间干扰 (ISI)、码元延时等, 交叉极化方向的影响主要包括交叉极化干扰 (XPI), 在接收端采用均衡技术可以消除码间干扰, 而 XPI 的消除则需要引入交叉极化干扰抵消器 (XPIC)。

$S_V$  和  $S_H$  为发送信号,  $R_V$  和  $R_H$  为含有 XPI 的接收信

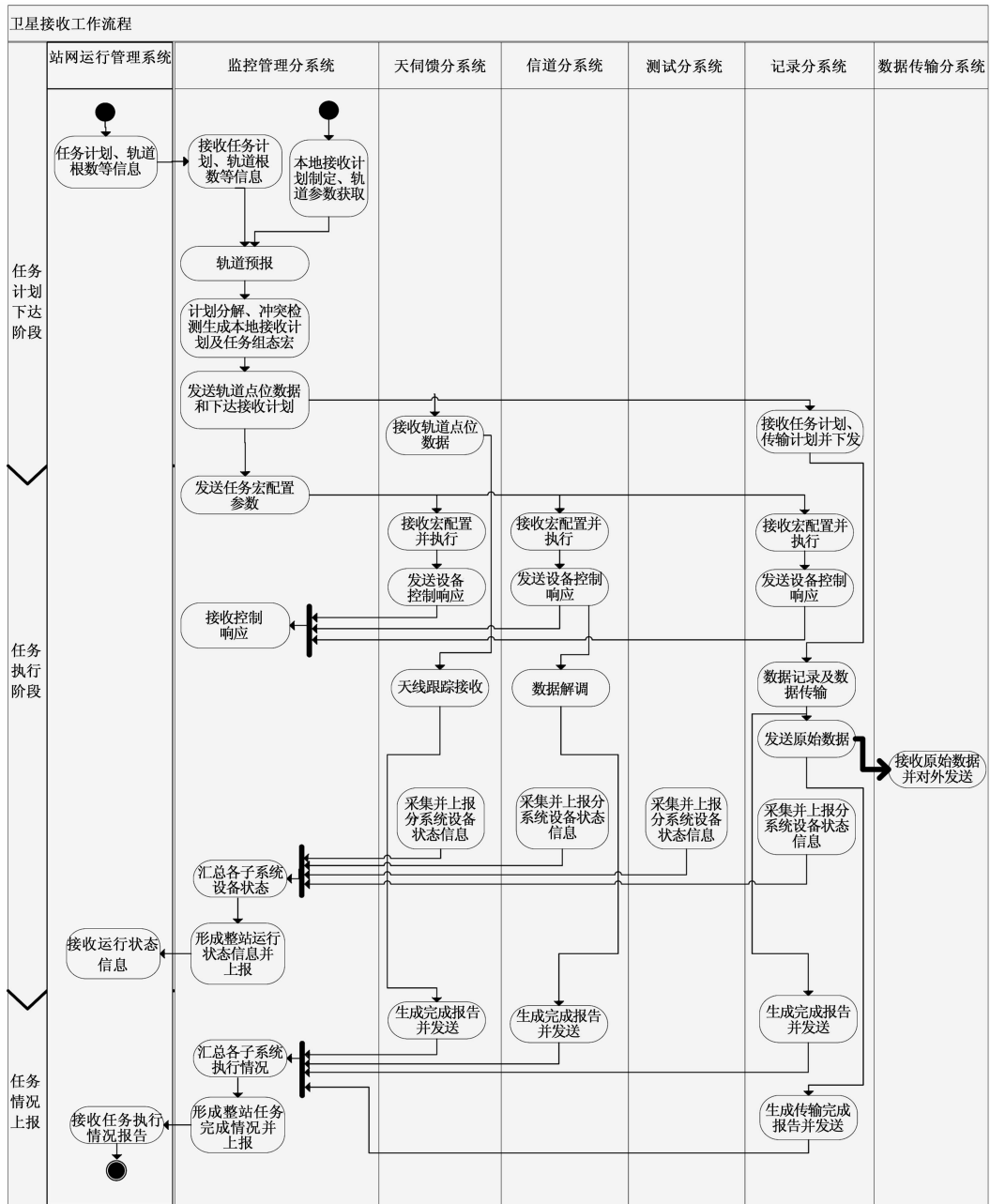


图 3 接收工作流程

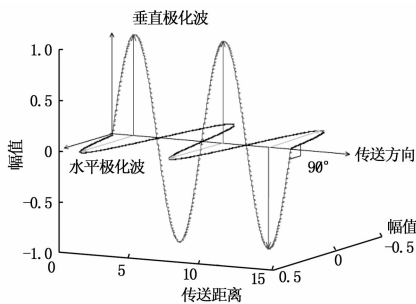


图 4 正交极化波传输示意图

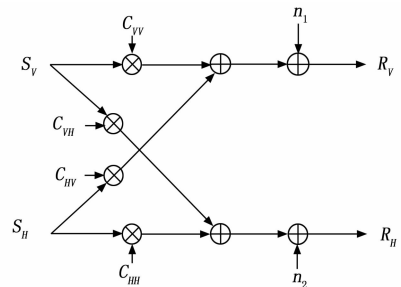


图 5 XPI 产生模型

号。 $C_{VV}$ 和 $C_{HH}$ 表示同极化信号对自身影响的信道传输函数， $C_{VH}$ 和 $C_{HV}$ 表示 XPI 对主极化信号影响的信道传输函数。 $S_V$

和 $S_H$ 经过该信道后会叠加上和加性高斯白噪声 (AWGN)  $n_1$  和  $n_2$ ，所以，接收端所接收的信号  $R_V$  和  $R_H$  可表示为：

$$\begin{bmatrix} R_V \\ R_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{VV}C_{HV} \\ C_{VH}C_{HH} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_V \\ S_H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

经天线分离出的信号  $R_V$  和  $R_H$  均含有 XPI, 此时需要引入 XPIC 来消除, XPIC 的简化模型如图 6 所示。

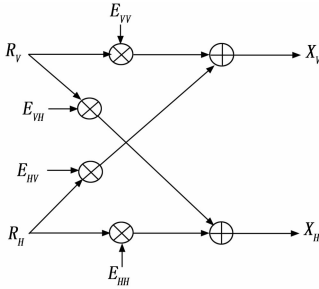


图 6 XPIC 的简化模型

从图 6 中可得出的输出信号为:

$$\begin{bmatrix} X_V \\ X_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{VV}E_{HV} \\ E_{VH}E_{HH} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_V \\ R_H \end{bmatrix} \quad (2)$$

假设对  $\begin{bmatrix} R_V \\ R_H \end{bmatrix}$  中的加性高斯白噪声忽略不计, 则可得:

$$\begin{bmatrix} X_V \\ X_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{VV}E_{HV} \\ E_{VH}E_{HH} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{VV}C_{HV} \\ C_{VH}C_{HH} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_V \\ S_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{VV}C_{VV} + E_{HV}C_{VH} & E_{VV}C_{HV} + E_{HV}C_{HH} \\ E_{VH}C_{VV} + E_{HH}C_{VH} & E_{VH}C_{HV} + E_{HH}C_{HH} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_V \\ S_H \end{bmatrix} \quad (3)$$

从上式中可得出, 如果要消除 XPI, 必须满足:

$$\begin{cases} E_{VV}C_{HV} + E_{HV}C_{HH} = 0 \\ E_{VH}C_{VV} + E_{HH}C_{VH} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

令  $E_{VV} = E_{HH} = 1$ , 可有:

$$\begin{cases} E_{HV} = -\frac{C_{HV}}{C_{HH}} \\ E_{VH} = -\frac{C_{VH}}{C_{VV}} \end{cases} \quad (5)$$

由此可见, 交叉极化干扰的消除与信道的传输函数有着决定性的关系, 而在实际应用中, 由于信道具有时变性, 不能获得  $-\frac{C_{HV}}{C_{HH}}$  和  $-\frac{C_{VH}}{C_{VV}}$ 。通过使用自适应滤波器, 可跟踪信道特性的变化, 可以实时迭代计算得到信道的传输特性, 从而达到消除极化干扰的目的。

通常 XPIC 有 3 种实现方式:

1) 模拟实现方式: 该方式是在 AD 采样前端的模拟信号链路实现, 优点是在数字解调前消除了极化干扰的影响, 提高了解调性能, 并降低了数字器件的资源使用率, 缺点是实现难度大, 性能较差。

2) 符号级实现方式: 符号级实现方式是在完成两个通道的解调、码元同步后, 对两路码元同步输出结果进行极化干扰抵消, 优点是性能优异, 缺点是数字器件的资源耗费巨大, 只能应用于两路信号符号速率完全一致的场景, 且必须在解调成功后才可实现, 使用范围受限。

3) 中频实现方式: 中频实现方式是基于两路信号的中频采样数据进行处理, 优点是数字器件资源耗费适中, 可

应用两路信号符号速率不一致的情况, 适用范围广。

综合权衡以上 3 种实现方式, 在解调器设计采用中频实现方式实现 XPIC。图 7 给出了一种利用中频横向均衡器的自适应交叉极化干扰抵消器的结构, 它利用横向滤波器的频率特性变换作用来进行交叉极化干扰抵消,  $H$  方向极化波的接收信号  $s(t)$  通过中频横向滤波器后, 形成具有与干扰波相同频率特性的补偿信号  $s'(t)$ 。主信号为混有干扰波的主极化 ( $V$  极化) 接收信号, 在减法器, 主信号减去  $s'(t)$ , 从而消除  $H$  方向对  $V$  方向的极化干扰, 由于这种干扰抵消电路位于解调之前, 因此对解调的载波提取有利。

中频横向滤波器的抽头系数  $c$ 、 $d$  的更新采用 LMS 算法, 由图 7 所示, 中频横向均衡把基带均衡器网络改在中频实现, 但只用了一条延时单元, 相应的抽头系数运算量减少了一半, 占用资源更少。

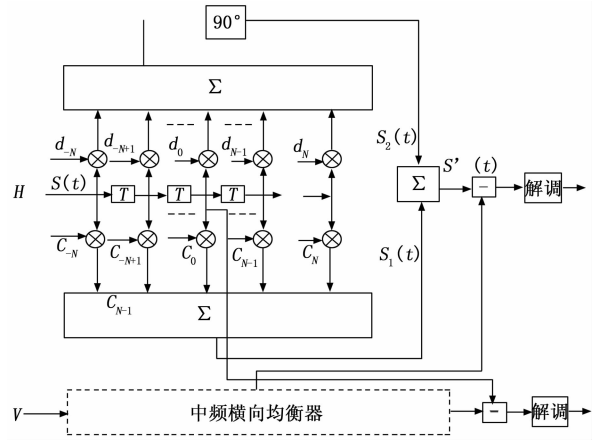


图 7 中频 XPIC 工作原理

令输入的信号为:

$$s(t) = \text{Re}\{u(t)e^{-j\omega_0 t}\} \quad (6)$$

其中:  $u(t)$  为信号的副包络,  $\omega_0$  为载波的角频率。延时单元的抽头信号经  $c_m$  ( $m = -N \sim N$ ) 加权并相加后, 得到图 5 中下方支路的信号:

$$s_1(t) = \sum_{m=-N}^N c_m s(t-mT) = \sum_{m=-N}^N \text{Re}\{c_m u(t-mT)e^{jm\omega_0 T} e^{-j\omega_0 t}\} \quad (7)$$

延时单元的抽头信号经  $d_m$  ( $m = -N \sim N$ ) 加权并相加后, 再经过  $90^\circ$  相移得到上方支路的信号:

$$s_2(t) = \sum_{m=-N}^N \text{Re}\{jd_m u(t-mT)e^{jm\omega_0 T} e^{-j\omega_0 t}\} \quad (8)$$

将  $s_1(t)$  和  $s_2(t)$  相加, 并根据  $\omega_0 T = 2n\pi$ , 有:

$$S(t) = s_1(t) + s_2(t) = \sum_{m=-N}^N \text{Re}\{(c_m + jd_m)u(t-mT)e^{-j\omega_0 t}\} \quad (9)$$

$u(t-mT)$  可以写成:

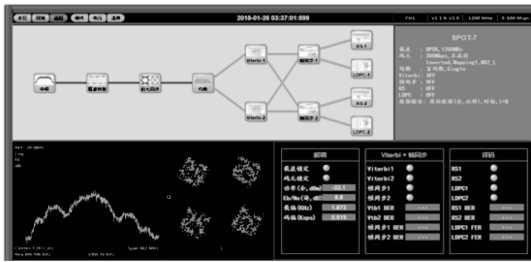
$$u(t-mT) = \delta(t-mT) \otimes u(t) \quad (10)$$

其中:  $\otimes$  表示卷积, 因此可得:

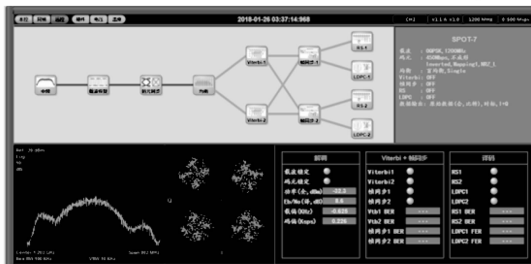
$$S(t) = \text{Re}\left\{\left[\sum_{m=-N}^N (c_m + jd_m)\delta(t-mT)\right] \otimes u(t)e^{-j\omega_0 t}\right\} = \text{Re}\{h(t) \otimes u(t)e^{-j\omega_0 t}\} \quad (11)$$

其中:  $S(t) = \sum_{m=-N}^N (c_m + jd_m)\delta(t - mT)$  即为中频横向往均衡器的等效基带时域相应。

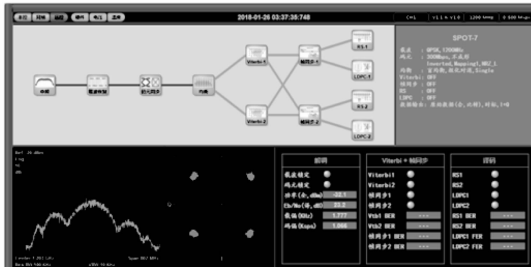
图 8 (a)、(b) 分别为 XPD 为 10 dB 时, 通道 1 为 300 Mbps、QPSK 信号, 通道 2 为 450 Mbps、SQPSK 信号时 XPIC 之前的星座图, 图 8 (c)、(d) 为 XPIC 之后的星座图。



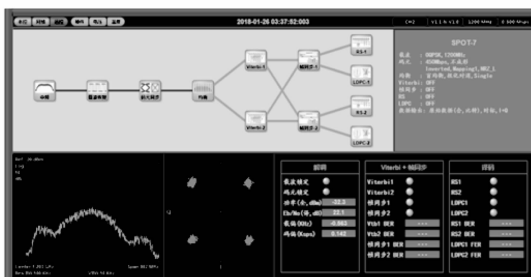
(a) 通道1在XPIC之前的解调星座图 (QPSK、300Mbps)



(b) 通道2在XPIC之前的解调星座图 (SQPSK、450Mbps)



(c) 通道一在XPIC之后的解调星座图 (QPSK、300Mbps)



(d) 通道二在XPIC之后的解调星座图 (SQPSK、450Mbps)

图 8 不同码速率信号的 XPIC 解调前后星座图

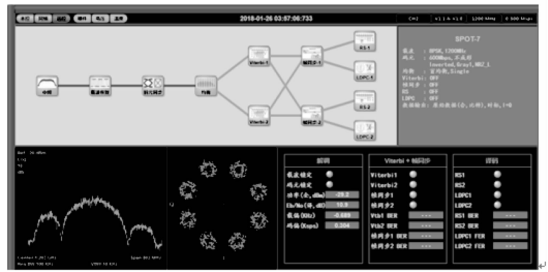
图 9 为 XPD 为 12 dB 时, 两通道为 600 Mbps、8 PSK 信号时, 通道 2 的 XPIC 之前与 XPIC 之后的星座图。

图 10 为 XPD 为 12 dB 时, 两通道为 800 Mbps、16QAM 信号时, 通道 2 的 XPIC 之前与 XPIC 之后的星座图。

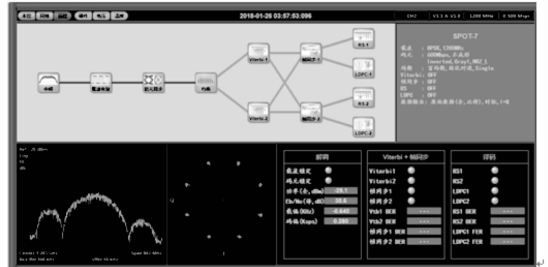
通过以上分析和实际测试表明, 从 300 Mbps 的码速率到 800 Mbps 的码速率解调, 经过 XPIC 之后的解调, 系统解调效能有明显改善, 性能优于 10 dB 以上。

## 2.2 光传输设计

车载地面站有天线车和方舱车组成, 天线车和方舱车

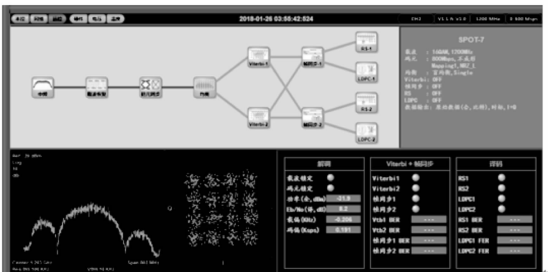


(a) XPIC之前的解调星座图

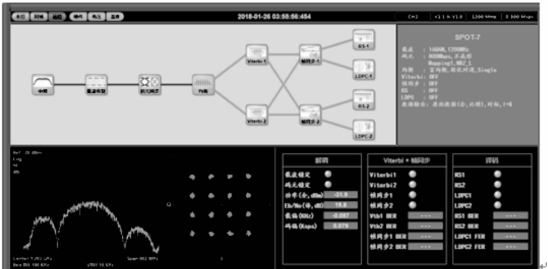


(b) XPIC之后的解调星座

图 9 600 Mbps、8PSK 信号的 XPIC 前后星座图



(a) XPIC之前的解调星座图



(b) XPIC之后的解调星座图

图 10 800 Mbps、16QAM 信号的 XPIC 前后星座图

之间大量的信号交换, 保障信号的稳定传输, 又满足快捷展收的需求, 信号的传输采用光链路进行。高速射频信号采用外部强度调制和强度探测解调方式进行设计, 完全可以满足带宽要求<sup>[11-14]</sup>。天线拖车与设备方舱传输的信号类型如表 2 所示<sup>[15]</sup>。

工程部署时敷设两根光缆用于信号传输, 方便快捷。传输的射频信号 5 路, 移相及监控信号 3 路, 共 8 路, 本方案选用 10 芯野战光纤, 另外 2 路用于备份。天线及极化控制信号共 16 路光纤, 采用 20 芯野战光纤, 四路用于备份。天线及极化控制信号共 16 路光纤, 同样采用 20 芯野战光纤, 四路用于备份。

表 2 光信号列表

序号	信号名称	数量	信号类型	信号流向
1)	X 频段信号	4 路	射频信号	天线车至设备方舱
2)	X 频段信号	1 路	射频信号	设备方舱至天线车
3)	移相调制信号 (X/Ka 频段)	1 路	控制信号	设备方舱至天线车
4)	监控信号(X/Ka 频段中心体设备)	2 路	控制信号	天线车至设备方舱
5)	天线及极化控制信号	16 路	控制信号 控制信号	天线车至设备方舱 设备方舱至天线车

### 3 工程应用情况

目前该车载遥感数据接收系统已经交付用户执行任务三年多, 长期进行陆地资源卫星数据任务的接收和高分四号卫星数据的接收, 长期稳定运行, 有力保障了遥感卫星数据接收的长期业务运行。实时接收资源三号卫星的解调器界面如图 11 所示, 接收到的卫星原始数据如图 12 所示。通过实际接收卫星, 卫星的链路余量约为 8 dB (晴天无雨), 与星地链路计算基本一致, 验证了设计与实际接收情况的一致性, 并且通过专用软件对原始数据的质量进行了统计, 误码率优于  $10^{-9}$  量级, 也满足系统的使用要求。

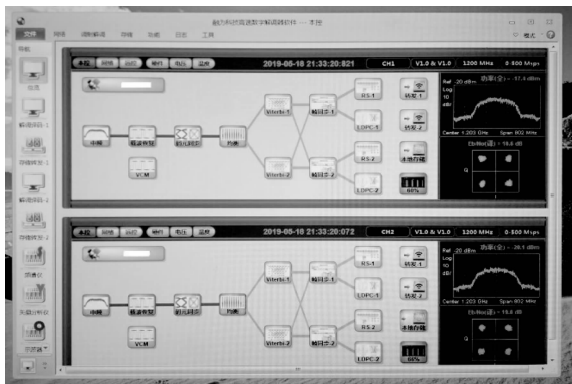


图 11 解调器接收解调实际卫星图示意图

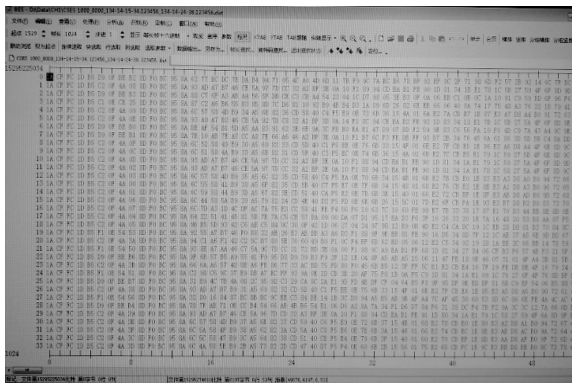


图 12 卫星原始数据

### 4 结束语

本文主要针对低轨遥感卫星和静止轨道遥感卫星的接收需求, 通过分析计算星地链路, 对车载遥感接收系统的

组成、原理、工作流程做了简单的介绍, 同时对高码速率解调器译码器和光传输设计进行了深入的设计分析。实际测试表明, 该系统可满足低轨遥感卫星和静止轨道遥感卫星数据接收的功能需求, 并且满足设计指标, 验证了技术的可行性和工程的可实现性, 可广泛用于多种模式的遥感卫星地面接收系统。

### 参考文献:

- [1] 王 晴. 高码速率遥感卫星地面数据接收系统方案论证与信道特性分析 [D]. 南京: 南京理工大学, 2015.
- [2] 于小康, 张 翔, 莫乾坤, 等. VHF/UHF 立方星地面站系统设计及应用 [J]. 南京理工大学学报, 2016, 40 (2): 178-179.
- [3] 鲁 帆, 郑小松, 田志新, 等. Ka 频段点波束天线指向精度对星地数传链路的影响分析 [J]. 航天器工程, 2016, 25 (6): 62-63.
- [4] 向云武, 章文毅, 田妙苗. 卫星数据传输全流程调度及优化算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40 (6): 1288-1289.
- [5] 王宇舟, 王春蓉, 陈 颖. 基于 LMS 的检后盲自适应 XPIC 算法仿真 [J]. 通信技术, 2018, 51 (7): 1516-1517.
- [6] Peter N, Mikhail P. Design, development and implementation of a cross polarization interference cancellation system for point-to-point digital microwave radio system [A]. IEEE CCECE [C]. 2011: 123-129.
- [7] Roberto C, Enzo B. A simple polarization-recovery algorithm for dual-polarized cellular mobile-Radio systems in time-variant faded environments [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2000, 49 (01): 220-228.
- [8] 黄 英, 雷 菁. 卫星通信中调制识别算法研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31 (6): 1303-1304.
- [9] NandIa K, Azzouze E. Algorithms for automatic modulation recognition of communication signal [J]. IEEE Trans., on Commun., 1998, 46 (4): 431-436.
- [10] 朱理辰, 赵晨宁, 王继超, 等. 基于模数混合的高速激光信号同步算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40 (10): 2157-2158.
- [11] 杜汉平. 空间激光测控系统中数字通信链路的设计与实现 [D]. 北京: 北京理工大学, 2016.
- [12] Kostamovaara J, Huikari J, Hallman L, et al. On laser ranging based on high-speed/energy laser diode pulses and single-photon detection techniques [J]. IEEE Photonics Journal, 2015, 7 (2): 1-15.
- [13] Khalighl M A, Uysal M. Survey on free space optical communication: a communication theory perspective [J]. Communications Surveys& tutorials IEEE, 2014, 16 (4): 2231-2258.
- [14] Kaushal H, Kaddoum G. Optical communication in space: challenges and mitigation techniques [J]. IEEE communications Surveys& tutorials, 2017, 19 (1): 57-96.
- [15] 王 怀, 刘 焱, 艾国志. 光传输技术在遥感机动数据接收站中的应用 [A]. 第二届高分辨率对地观测学术年会论文集 [C]. 2013.