

## 一种微纳卫星 UHF 地面接收设备的设计

何林飞, 李晓飞, 韩俊博

(天津讯联科技有限公司, 天津 300000)

**摘要:** 针对常规微纳卫星的地面 UHF(超高频)接收设备复杂、系统庞大问题,提出了一种使用软件无线电芯片 AD9361 简单易行的地面接收方案。设备由射频前端、基带处理和上位机部分组成。通过对射频链路、灵敏度进行分析,从理论上确保方案的可行性。通过对模拟信号源接收实验,结果表明该 UHF 接收设备方案切实可行,并已在微纳卫星信号实收测试中得到应用。

**关键词:** 微纳卫星; UHF 接收设备; AD9361; 灵敏度

**中图分类号:** TN927; V556

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16157/j.issn.0258-7998.191343

**中文引用格式:** 何林飞, 李晓飞, 韩俊博. 一种微纳卫星 UHF 地面接收设备的设计[J]. 电子技术应用, 2020, 46(8): 92-94, 100.

**英文引用格式:** He Linfei, Li Xiaofei, Han Junbo. Design of UHF receiving equipment for micro/nano satellite[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(8): 92-94, 100.

## Design of UHF receiving equipment for micro/nano satellite

He Linfei, Li Xiaofei, Han Junbo

(Tianjin Xunlian Technology Co., Ltd., Tianjin 300000, China)

**Abstract:** In view of the complexity and huge system of UHF(ultra-high frequency) telemetry ground station of conventional micro/nano satellite, a simple ground receiving scheme using AD9361 is designed. The equipment is composed of RF front-end, baseband processing and upper computer. Through the analysis of RF chain and sensitivity, the feasibility of the scheme is ensured theoretically. Through the experiment of the analog signal source receiving, the results show that the scheme of the UHF receiving equipment is feasible and has been applied in the micro/nano satellite signal receiving test.

**Key words:** micro/nano satellite; ultra-high frequency telemetry; AD9361; sensitivity

## 0 引言

微纳卫星设计周期短、成本低,受到商业航天界的青睐<sup>[1]</sup>。USB(S 频段统一测控系统)和 UXB(X 频段统一测控系统)频段均需要向无线电主管部门进行频率申请,成本高且周期长,因而绝大多数微纳卫星均选用 VHF/UHF(甚高频/超高频)业余无线电、无需申请的频段进行测控<sup>[2]</sup>。

本文提出一种 UHF 频段的卫星地面接收设备的设计方案,所针对的星上遥测接口为:

- (1)载波频率: 410 MHz $\pm$ 4 MHz;
- (2)调制方式: BPSK;
- (3)码速率: 4 096 b/s;
- (4)星上发射功率:  $\geq$  26 dBm;
- (5)星上天线增益:  $\geq$  -3 dBi;
- (6)帧长: 128 B(1 024 bit), 每秒 4 帧;
- (7)同步头: EB90。

## 1 星地链路分析

卫星轨道高度约为 520 km, 星地最远距离约 2 000 km,

下行链路计算如表 1 所示<sup>[3]</sup>。

表 1 下行链路分析表(卫星发送, 地面接收)

| 项目                  | 计算结果    |
|---------------------|---------|
| 工作频率/MHz            | 410     |
| 星上发射机输出功率/dBW       | -4.00   |
| 空间距离/km             | 2 000   |
| 线缆损耗/dB             | 1.00    |
| 空间损失/dB             | 150.72  |
| 大气损失/dB             | 1.50    |
| 星上天线增益/dB           | -3.00   |
| 地面接收天线信号功率/dBW      | -160.22 |
| 地面接收天线 G/T 值/(dB/k) | -14.00  |
| 波尔兹曼常数/(dBW/HzK)    | -228.60 |
| 卫星接收的 C/N0/dBHz     | 54.38   |
| 数据速率/(b/s)          | 4 096   |
| 接收的 Eb/N0/dB        | 18.25   |
| Eb/N0 理论值/dB        | 10.60   |
| 解调损失/dB             | 3.00    |
| 链路余量/dB             | 4.65    |

# 测控技术与仪器仪表

Measurement Control Technology and Instruments

从表 1 可知, 星上 UHF 发射机发射功率 26 dBm 情况下, 下行链路具有 4.65 dB 的余量。

## 2 总体方案

地面 UHF 接收设备由射频前端、基带处理部分和上位机部分组成。射频前端对天线接收到的射频信号进行滤波、低噪声放大、下变频、自动增益控制等工作。基带部分完成 ADC 采样、数字混频、数字滤波和 UDP (User Datagram Protocol) 协议等工作。上位机对数据进行存储, 并交由 MATLAB 进行处理。总体设计图如图 1 所示。

### 2.1 硬件电路设计

UHF 接收机的工作频率范围为  $410\text{ MHz} \pm 4\text{ MHz}$ , 由于低噪声放大器 (Low Noise Amplifier, LNA) 的工作范围很宽, 从  $400\text{ MHz} \sim 4\,000\text{ MHz}$  均有超过 10 dB 的增益, 为了防止 LNA 饱和或者无用的干扰信号引入 UHF 接收机, 射频第一级需要增加滤波器。第一级滤波器需要选用插损小的器件, 以保证这个链路的噪声系数满足要求。第一级滤波器选用 LFCN-400, 其 400 MHz 附近插损小于 0.8 dB, 对灵敏度的影响极小。

射频下变频芯片选用 ADI 公司 AD9361<sup>[4-5]</sup>, 该器件最大增益为 76 dB, 动态范围约 74 dB, 噪声系数 2 dB (800 MHz), 可接收频率范围为  $70\text{ MHz} \sim 6.0\text{ GHz}$ , 信号带宽为  $200\text{ kHz} \sim 56\text{ MHz}$ 。

考虑到 AD9361 芯片最大增益为 76 dB, AD 对输入信号功率要求为 0 dBm 左右。输入端带宽内的噪声功率为 -100 dBm 左右, 因而射频前端链路增益要大于 100 dB, 需要在射频前端链路中的不同位置安排多级放大 LNA。LNA 选用了 RFMD 公司的 SPF-5043Z, 其工作频率范围为  $50 \sim 4\,000\text{ MHz}$ , 增益为 21.6 dB@400 MHz, 噪声系数为 0.61 dB@400 MHz。

后端链路需要进一步抑制带外噪声信号, 使得混频后的信号底噪不出现叠加情况。后端滤波器选用了 Mini-Circuit 公司 LC 滤波器 RBP-415+, 该滤波器的通带频率范围为  $404 \sim 426\text{ MHz}$ , 带外抑制大于 20 dB。

基带部分 FPGA 芯片选用 Xilinx 公司 XC7A100T, PHY 芯片选用 MARVELL 公司 88E1111。FPGA 与 PHY 芯片之间采用 GMII 接口连接, 基带部分与上位机通过网口互联。

### 2.2 灵敏度分析

由表 1 可知, 到达地面接收天线信号功率为 -130.22 dBm。地面天线增益为 14 dB, 线损按 1 dB 计算, 可知到达接

收设备入口功率  $= -130.22 + 14 - 1 = -117.22\text{ dBm}$ 。可知地面接收设备的灵敏度需要优于 -117.22 dBm, 才能对卫星信号进行有效接收。

$$\text{接收灵敏度} = N + E_b/N_0 + 10\lg(R_b) + L - 174$$

$$= N + 10.6 + 36.1 + 3 - 174$$

$$= N - 124.3 \quad (1)$$

式中,  $N$  为噪声系数,  $E_b/N_0$  取 BPSK 解调门限 10.6,  $R_b$  为码速率<sup>[6]</sup>,  $L$  为解调损失 (取 3 dB)。可知要保证灵敏度达到 -117.22 dBm, 就得保证噪声系数小于 7.03 dB。

使用 ADISimRF Rev.1.7 软件对当前链路就行仿真, 可知链路最大增益为 112.4 dB, 链路总噪声系数为 1.39 dB。考虑设计与实际差别, 实际接收通道噪声为 2 dB 左右, 完全可以满足灵敏度和链路增益要求。

## 3 软件处理方案

地面 UHF 接收设备软件分为 FPGA 软件和 MATLAB 处理软件两部分。

### 3.1 FPGA 软件

FPGA 完成对硬件电路配置和接口控制等功能。包括通过 SPI 实现 AD9361 的配置、实现与 AD9361 之间 LVDS 接口、实现与 PHY 芯片之间 GMII 接口等功能。

由于 AD9361 本振只能进行整数 MHz 下变频, 小数部分 MHz 下变频需要由 FPGA 完成。数字 ADC 信号在 FPGA 内部进行数字混频, 并对混频后的信号进行 CIC 滤波再进行抽取<sup>[7]</sup>, 降采样后的频率为 327.68 kHz。之后通过网口使用 UDP 协议将数据通过网线传输到上位机上存储, 得到数据原包, UDP 协议由 FPGA 内部实现<sup>[8]</sup>。

### 3.2 MATLAB 软件

MATLAB 完成 BPSK 信号滤波、多普勒频率估计及补偿、环路跟踪处理、比特同步和帧同步等工作, 处理流程如下:

- (1) 打开指定文件, 读取输入数据;
- (2) 将运算后的 I/Q 两路数据合并;
- (3) 对接收信号进行滤波处理;
- (4) 对信号进行平方, 使用 FFT 运算对载波频率进行估计, 并对原始信号进行多普勒补偿;
- (5) COSTAS (同相正交环) 环路跟踪处理, 得到同相之路输出  $I_{PLL}$ ;
- (6) 采用积分比特同步算法对  $I_{PLL}$  进行处理, 实现 bit 同步;
- (7) 对 bit 同步后的比特数据按位搜索帧头, 完成帧

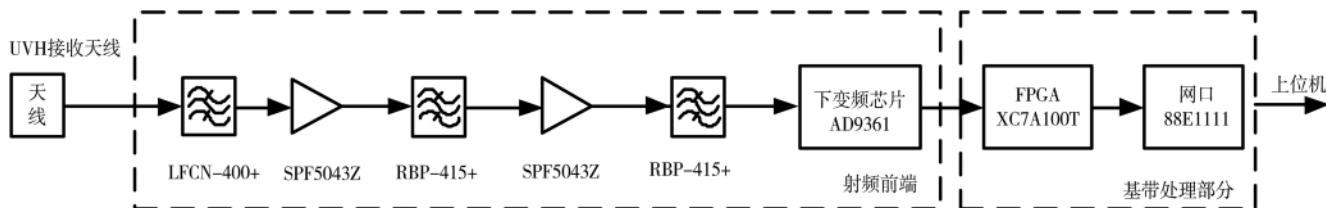


图 1 总体设计图



- 2633–2645.
- [9] BOYD S, VANDENBERGHE L, FAYBUSOVICH L. Convex optimization[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2006, 51(11): 1859–1859.
- [10] LYU X, TIAN H, SENGUL C, et al. Multiuser joint task offloading and resource optimization in proximate clouds[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2017, 66(4): 3435–3447.

### 作者简介：

闫伟(1993-),男,硕士研究生,主要研究方向:移动边缘计算。

申滨(1978-),男,博士,教授,主要研究方向:信号处理、MIMO系统和认知无线电。

刘笑笑(1994-),女,硕士研究生,主要研究方向为:雾  
计算机网络。

(上接第 94 页)

[illegible]

微纳卫星简易地面接收设备,由天线、射频前端、基带部分和 MATLAB 后处理软件组成。卫星数据经由天线接收、射频放大、滤波、射频下变频、ADC 数字量化、FPGA 数字下变频和降采样后通过网卡传输到上位机上,再通过 MATLAB 处理,能够正确解调出卫星的遥测数据。结果表明,该设备可用于微纳卫星地面遥测接收,同时当前工作可为后续解调算法 FPGA 工程化实现打下坚实基础。

[1] 陈利虎, 陈小前, 刘鹏飞. 适用微纳卫星的便携测控站设

- [1] 计[J]. 飞行器测控学报, 2015, 34(1): 16-23.
- [2] 韦明川. 紫丁香 2 号卫星 VHF/UHF 星地测控链路设计与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [3] 户凌志, 张海勇, 贺寅. 卫星通信链路计算方法研究[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(11): 72-75.
- [4] 周星星, 翟继强. 基于 FPGA 配置的 AD9361 处理器应用方法研究[J]. 科技创新与应用, 2017(36): 6-7.
- [5] 沈俊. 基于 Xilinx FPGA+AD9361 的软件无线电平台设计与实现[J]. 电子元件与信息技术, 2018(9): 58-60, 64.
- [6] 张俊辉. 接收机噪声系数对接收灵敏度影响[J]. 电子技术与软件工程, 2014(20): 53.
- [7] 杨芳, 傅伟廷, 秦天凯, 等. 高频数字抽取滤波器的设计[J]. 电子技术应用, 2017, 43(12): 25-28.
- [8] 郑天宇, 尹达一. 千兆 UDP/IP 协议栈 FPGA 实现及其在高速成像系统中的应用[J]. 现代电子技术, 2018, 41(18): 1-5, 11.

### 作者简介:

何林飞(1988-),男,硕士,主要研究方向:卫星测控、通信。

李晓飞(1987-),男,硕士,主要研究方向:卫星测控、通信。

韩俊博(1987-),男,硕士,主要研究方向:卫星测控、通信。



## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所