

野外无人远程业余卫星信号接收装置设计

姓 名： 杨昊峥、高伟程

学 校： 辽宁省实验中学

班 级： 25 届 9 班

日 期： 2023 年 7 月 6 日

摘要

针对当前业余无线电卫星野外测控较为复杂的问题,研究了当前业内几种半自动化测控系统,并针对其无法做到无人化的缺点,提出了一种使用北斗短报文进行指令传达和信息反馈的野外无人自动测控装置设计方案。该装置具有无人化、远程化、可扩展化等优点。具有一定的实用价值。

关键词: 业余卫星通信、北斗短报文、无人测控

目录

1. 问题背景及研究现状	1
1.1 问题背景	1
1.2 研究现状	1
1.2.1 OpenATS	1
1.2.2 Mini Satellite-Antenna Rotator Mk1	2
2. 方案设计	2
2.1 设计目的与预期功能	2
2.2 系统总体设计	3
2.3 通信协议设计	4
2.3.1 系统控制协议	4
2.3.2 旋转器控制协议	5
2.4 信息收发端设计	6
2.5 主控制器	6
2.5.1 主要任务	6
2.5.2 软件	6
2.6 其他周边设备	8
2.6.1 天线旋转器	8
2.6.2 无线电	9
3. 结语	9
参考文献	11
致谢	10

1. 问题背景及研究现状

1.1 问题背景

随着我国航空航天事业的高速发展，以及业余无线电事业的进一步普及，业余卫星通信逐渐走进大众视野。希望系列卫星、FUNCube、ISS……我国的天宫空间站也或在未来搭载业余无线电载荷。然而，对于很大一部分的业余无线电爱好者，进行业余卫星通信依然停留在“手动时代”。住在城市内的爱好者，很难有条件设立固定的天线，同时为了躲避电磁干扰，甚至有时需要前往野外，这对爱好者的时间精力有很大要求，无法做到全时段测控。

1.2 研究现状

针对这一问题，研究了业内及网络上的一些半自动化测控系统方案。

1.2.1 OpenATS

OpenATS（Open Auto Tracking System）是在 Github 开源社区开源的一款自动天线追踪器项目。

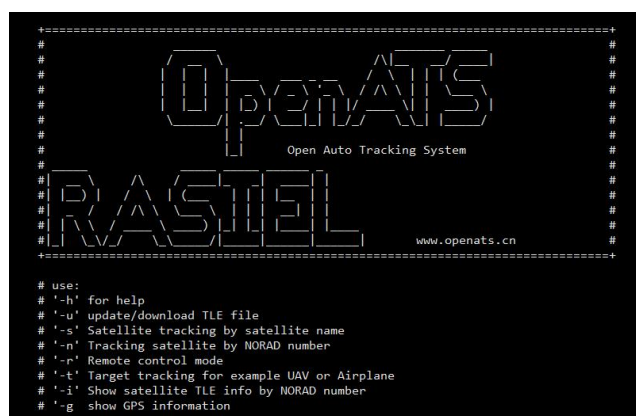


图 1-1 OpenATS

这一项目由 Rasiel 设计，可以通过客户端程序控制天线旋转器自动追踪卫星及其他天体，并可通过 web 端进行远程操控，功能强大，目前国内已经有不少无线电爱好者以及在校学生通过此系统来进行业余卫星通信。

但这一系统需要使用电脑运行 WXTrack 程序来计算天线仰角方位角，且远程操控需要通过 web 网络，这些需求都使得本系统不适合在野外无人布设。

1. 2. 2 Mini Satellite-Antenna Rotator Mk1

这一项目由澳大利亚 School Amateur Radio Club Network 设计，使用一个树莓派作为主控，使用 GPredict 软件通过 Easycomm2 协议向下位机发送天线角度数据，由下位机控制电机旋转。这一项目简单方便，成本低廉，且使用树莓派嵌入式开发板，避免了使用电脑。但仍然离不开人的操控，无法真正做到野外远程控制。



图 1-2 Mini Satellite-Antenna Rotator Mk1

2. 方案设计

2.1 设计目的与预期功能

本方案旨在设计一套可以远程无人使用的小型业余卫星接收系统，其有以下预期功能：

- 可在野外无人布设
- 可进行远程操控
- 可按命令自动追踪卫星
- 可通过无线电设备接收卫星信号
- 可在本地进行信号处理、解码
- 可将解码后的数据进行反馈

2.2 系统总体设计

整个系统由以下几个部分构成：

- 信息收发端
- 主控制器
- 天线旋转器、无线电以及其他外设
- 供电相关模块

其中，信息收发端负责处理远端发来的控制命令，对一些不需要主控制器参与的低级命令进行预解析操作，并将命令下传至主控制器。同时，其还要负责将主控制器上传的反馈数据、报错信息等发送回远端。

主控制器按照远端发来的指令，控制系统运行。其负责计算卫星轨道参数、多普勒频移，向天线旋转器下位机发布天线角度数据，控制无线电接收卫星信号，对卫星信号进行处理并解码，将解码数据返回信息收发端。

天线旋转器、无线电等外设在主控制器的控制下工作。

部分系统关键组件的工作关系如下图。

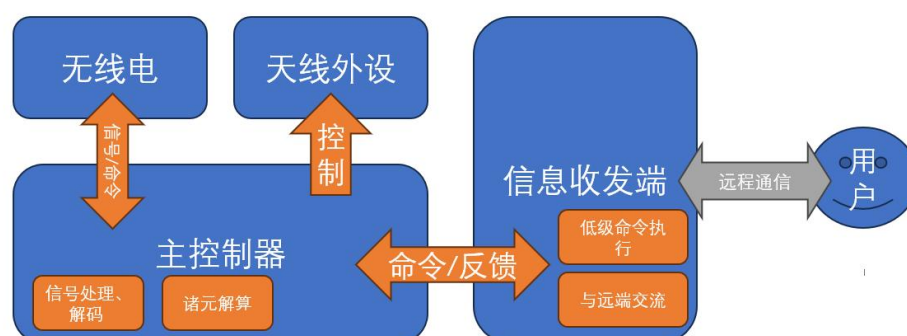


图 2-1 系统工作关系简图

2.3 通信协议设计

2.3.1 系统控制协议

对于客户端与系统，以及系统内各部分的交互，设计了系统控制协议 BD-ATS Protocol。

TLE 指令

TLE:卫星名称,TLE 两行式星历第 1 行,TLE 两行式星历第 2 行<LF>

这一指令用于从客户端发布一个更新星历库的任务。同时，这一协议还会用于从北斗控制单片机向树莓派传达这一任务。树莓派在收到这一指令后会更新 GPredict 的星历。

例如：

TLE,AO-7, 1 07530U 74089B 05248.91610499 -.00000028 00000-0 10000-3 0
4935, 2 07530 101.6179 293.4407 0012187 77.5622 282.6814 12.53570674409766<LF>

TSK 指令

TSK:卫星名称,(NORAD:编号),调制方式,边带,中心频点(kHz),唤醒时间(UTC)<LF>

这一指令用于从客户端发布一个卫星跟踪任务。同时，这一协议还会用于从北斗控制单片机向树莓派传达这一任务。北斗单片机收到这一指令后会解析出这一任务的唤醒时间，在到达这一时间时通过 GPIO 唤醒树莓派。在收到树莓派的 REP 任务请求后将任务传达给树莓派。

例如：

TSK, WAWAROUSat, FM, USB, 114514, 202306232200<LF>

INF 指令

INF:返回指令<LF>

这一指令用于从客户端发布一个信息获取请求。这一指令预想中可以被用来返回电池情况、系统日志等等。

MSG 信息

MSG: 信息内容<LF>

这一指令用于从本地向客户端发送信息。这一指令预想中可以向客户端发送反馈、解码后的数据内容、报错等。

SUP 指令

SUP: 指令内容<LF>

预想中这一指令用来对整个系统直接进行人工控制，例如直接控制单片机开关、旋转器工作、继电器开关、甚至直接向 Linux 终端写入命令等。

2.3.2 旋转器控制协议

受到使用的软件限制，与控制步进电机的下位机进行通信使用 Easycomm II 协议。

关于该协议，本文不做具体介绍，以下是该协议的命令总览：

Overview EasyComm 2 standard commands:	
-	
AZ	Azimuth - numeric data with decimal place (no fixed width)
EL	Elevation - numeric data with decimal place (no fixed width)
UP	Uplink frequency in Hertz
DN	Downlink frequency in Hertz
DM	Downlink mode (ASCII - e.g. SSB, AM or FM)
UM	Uplink mode (ASCII - e.g. SSB, AM or FM)
DR	Downlink Radio (number)
UR	Uplink Radio (number)
ML	Move left
MR	Move right
MU	Move up
MD	Move down
SA	Stop azimuth moving
SE	Stop elevation moving
AO	AOS
LO	LOS
OP	Set output
IP	Read input
AN	Read analogue input
ST	Set time (YY:MM:DD:HH:MM:SS)
VE	Request version

图 2-2 Easycomm II 协议指令概览

2.4 信息收发端设计

信息收发端包含一个 ESP32 单片机，北斗短报文发送终端，北斗短报文接收终端。发送终端、接收终端通过串口与单片机相连，单片机在收到指令后进行预解析，执行低级指令（如在到达指定时间后唤醒树莓派），并将指令如实传递给下位机。同时，在单片机收到来自下位机的反馈信息后，通过发送机反馈给远端。

系统时间主要由北斗授时，同时挂载一个 RTC 作为备用时间源。在收到 TSK 指令后，会对其进行预解析，在到达预定时间前十分钟通过拉低树莓派 GPIO3 的方式唤醒树莓派。在树莓派准备完成后，会通过 REP 指令请求任务数据或校准时间。

2.5 主控制器

2.5.1 主要任务

主控制器负责控制整个系统，其主要包含以下任务：

- 根据星历计算卫星轨道数据
- 进行多普勒频移修正
- 控制无线电接收卫星信号
- 控制天线旋转器跟踪卫星
- 对接收到的数据进行本地解码

为了满足以上需求，尤其是控制无线电，需要使用运行 Ubuntu 系统的树莓派 4B 作为控制器。

2.5.2 软件

轨道数据与多普勒频移

使用 Predict 软件作为轨道数据与多普勒频移的计算软件，该软件基于命令行，有丰富的命令行工具，方便进行任务自动化操作。

它可以依据 TLE 星历数据计算出卫星的轨道数据，并通过串口以 Easycomm

II 协议输出天线旋转器数据。同时。它可以将多普勒频移等数据通过 TCP 协议在本地传输，为其他软件所用。

无线电控制与本地解码

使用 GNU Radio 软件编写自动化脚本，通过安装 `gr-osmosdr` 模块，可以控制 RTL-SDR，在收到数据后进行信号处理。

本地解码则使用了 `gr-satellite` 模块，它可以通过命令行或 GNU Radio 块对接收到的信号进行解码，并导出解码数据。

控制软件

使用自行编写的 `python` 脚本负责串口的监听、文件操作以及控制各软件间的配合工作。

由于树莓派 4B 内部不具有不掉电 RTC，在树莓派被唤醒并准备完成后，会向信息发送端 ESP32 单片机发送 REP 指令请求时间校准系统时间。系统时间校准完成后，会通过 REP 指令请求任务内容，进行相关任务安排。

在任务解码工作完成后，会读取解码出的 `txt` 文件，将内容以 MSG 信息的方式发送给信息接收端 ESP32，将解码数据返回远端客户。

整个软件的大体工作流程如下图所示：

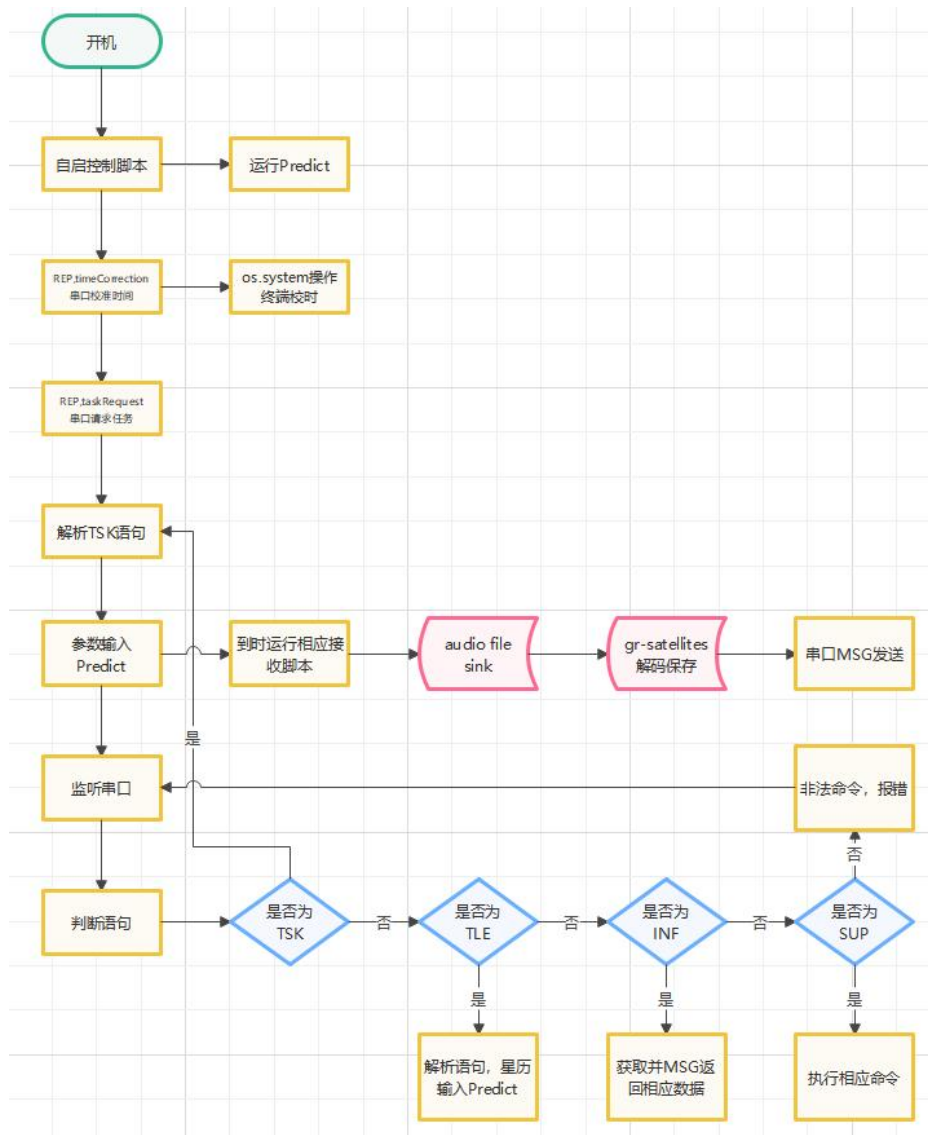


图 2-3 树莓派软件流程简图

2.6 其他周边设备

2.6.1 天线旋转器

天线旋转器由步进电机（包含方位角 AZ，仰角 EL）、步进电机驱动板、控制单片机、UV 双段八木天线等组成。

控制单片机，如 Arduino Uno，负责解析树莓派发来的 Easycomm II 协议，转换成 PWM 脉冲，输出给步进电机驱动板进而驱动步进电机。对步进电机的驱动可以通过 AccelStepper 库完成。

2.6.2 无线电

使用软件定义无线电接收机接收卫星下传的信号，便于系统软件控制，频率覆盖范围广，多参数可调节，模式丰富，适合用来接收卫星的遥测信号。

考虑到成本和易用性，使用了价格低廉而性能足够的 RTL-SDR，它基于瑞昱 RTL2832U 芯片，起源于 DVB-T 电视棒。

通过 GNU Radio 的 gr-osmosdr 模块，树莓派可以控制 RTL-SDR。

3. 结语

本方案使用了软件无线电等技术，尝试对业余卫星通信测控工作进行了更进一步的自动化，同时探索了利用北斗短报文技术与远程设备进行控制交互的可能性，具有高度无人化、无距离限制、全自动处理等优点。虽然不难看出，本方案在不少地方还稍显不成熟，距离实际使用还有一段距离，但希望能起到抛砖引玉的作用。希望在未来，北斗短报文能够在日常生活中得到更广泛的应用，也衷心希望在未来，我国的业余无线电事业能够取得长足的发展。

致谢

本项目设计过程历经了几个月的时间，期间受到了不少人的帮助。在这里，我们要感谢学校科技中心为我们提供了一个在科学的海洋尽情遨游的平台，感谢我校科技辅导员魏冰老师在整个设计过程中对我们的悉心指导与帮助，同时也要感谢一直在后为我们提供支持的家长。本项目的完成，与他们是密不可分的，在这里再一次向所有帮助过本项目的人致以最诚挚的感谢！

参考文献

- [1] Github. OpenATS [DB/OL]. [2023-6-25]. <https://github.com/OpenATS/OpenATS>
- [2] School Amateur Radio Club Network. Mini Satellite-Antenna Rotator Mk1 [DB/OL]. [2023-6-23]. <https://www.sarcnet.org/rotator-mk1.html>
- [3] GNU Radio project. GNU Radio Wiki [DB/OL]. [2023-6-24]. https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=Main_Page
- [4] John Magliacane. Predict [DB/OL]. [2023-6-25]. <https://www.qsl.net/kd2bd/predict.html>
- [5] Daniel Estévez. gr-satellites' s documentation [DB/OL]. [2023-6-24]. <https://gr-satellites.readthedocs.io/en/latest/index.html>
- [6] 乐鑫信息科技（上海）股份有限公司. ESP32 Wi-Fi & 蓝牙 MCU [DB/OL]. [2023-6-23]. <https://www.espressif.com.cn/zh-hans/products/socs/esp32>