

# 基于 SI4463 的无人机窄带数据链设计

梁丽媛<sup>1</sup> 周志刚<sup>2</sup> 许晨昊<sup>1</sup>

(1. 上海大学通信与信息工程学院 上海 200040; 2. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所 上海 200050)

**摘要:** 当前,小型商用无人机数据链正处在飞速发展的阶段,世界上多个国家都在开展这个领域的工作,并且很多西方大国已经取得了技术性的成果。然而国内的相关研究水平还比较落后,没有建立起配套完善的通用商用数据链体系,因此开展小型商用无人机数据链的研究意义重大。本论文采用 STM32 单片机和 SI4463 芯片,设计了一款无线实时数据收发系统。它是一款基于 UHF 波段的、工作距离在 10km 范围内的、数据链传输速率在 10 Kbps 的无人机窄带数据链系统,该系统具有传输速率高、数据收发稳定可靠的优点。

**关键词:** SI4463;无线数据传输;窄带数据链

**中图分类号:** TN929 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

## SI4463 based on narrowband data link design of UAV

Liang Liyuan<sup>1</sup> Zhou Zhigang<sup>2</sup> Xu Chenhao<sup>1</sup>

(1. Shanghai University, Shanghai 200040, China;

2. Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

**Abstract:** At present, the small commercial unmanned aerial vehicle data link is in the stage of rapid development, the world's major countries are carrying out this area of work, and many Western powers have achieved technical results. However, the level of relevant research in China is still relatively backward, and no comprehensive commercial data link system has been established. Therefore, it is of great significance to carry out research on data link of small commercial unmanned aerial vehicles. In this paper, STM32 single chip and SI4463 chip, designed a wireless real-time data transceiver system. It is a UHF band based on the work distance of 10km, the data transmission rate of 10 Kbps UAV narrowband data link system, the system has a high transmission rate, data transceiver stable and reliable advantages

**Keywords:** SI4463; wireless data transmission; narrow band data link

## 0 引言

无人机数据链是无人机系统的关键组成部分之一。传统的无人机采用 WiFi 来进行数据传输。WiFi 机制下,每个数据包都必须完整无误地进行传输,一旦出现数据错误或丢失的情况,数据包就需要重新发送。而这样的传输机制,使得数据传输会有严重的延时,这将对飞行安全产生非常大的隐患。本文设计的无人机数据收发系统由 STM32 单片机和 SI4463 芯片组成,SI4463 具有抗干扰能力强、灵敏度高、功耗低、传输距离远的优点,可以满足无人机短距离内准确、可靠地进行数据传输的要求。同时,为了解决多架无人机与多地面站通信,本文设计的数据链路通信协议参考了 HDLC 协议的结构,加入了目的地址和源地址,使得一个控制中心可以控制多个无人机平台,改变了过去传统的、单一的点对点低空数据链模式,而发展成为更加复杂多样化的数据链网络。本文设计的无人机数据链系统相比

于传统的无人机数据链系统,提高了数据传输的有效性和可靠性,同时也解决了传统无人机数据链无法形成复杂数据链网络的问题,为今后商用通用小型无人机窄带数据链设计提供了新的思路。

## 1 数据链硬件结构

### 1.1 硬件总体结构

无人机数据链硬件系统包括以下 6 个子系统<sup>[5]</sup>: 机载控制计算机系统、无线通信系统、传感器子系统、位置传感器系统、姿态传感器系统、伺服控制系统:

1) 机载控制计算机: 选用了基于 Cortex-M3 内核的 STM32F103VE 微控制器作为飞控计算机。

2) 无线通信系统: 由 SI4463 芯片完成无人机数据链系统中无线数据的收发。

3) 传感器子系统: 由温度传感器、绝压传感器和差压传感器组成。

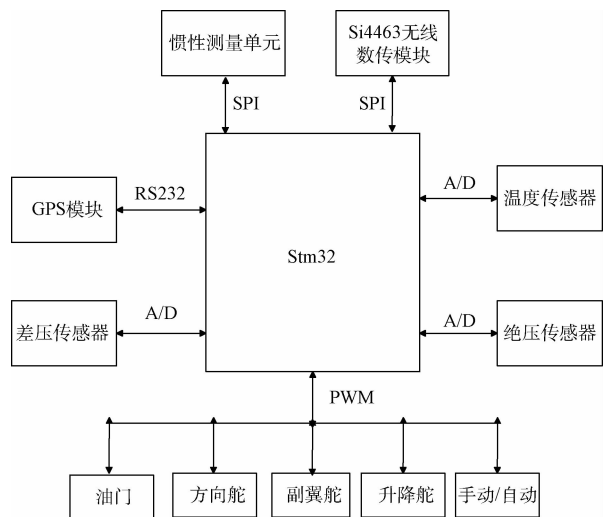


图 1 硬件总体结构

- 4)位置传感器系统:由全球定位系统 GPS 组成。
- 5)姿态传感器系统:由惯性测量元件组成。
- 6)伺服控制系统:由 RC 遥控器、伺服舵机和接收机组成。

### 1.2 无线数据收发模块

无人机无线数据收发系统如图 2 所示。

系统由 STM32 单片机和 SI4463 芯片组成。发送数据时,单片机通过 4 线 SPI 将数据送入 SI4463 芯片,信息经过编码和调制后按照一定的格式经过天线发送出去;接收数据时,通过接收天线接收到数据包,然后送入 SI4463 芯片,经过解调处理后再通过 4 线 SPI 传入单片机,从而数据得以实时传输。

本文采用的 SI4463 芯片是一款低电流收发芯片,它的频谱范围非常广(119~1 050 MHz),收发灵敏度高达 -126 dBm,输出功率高达 +20 dBm,它符合世界范围内

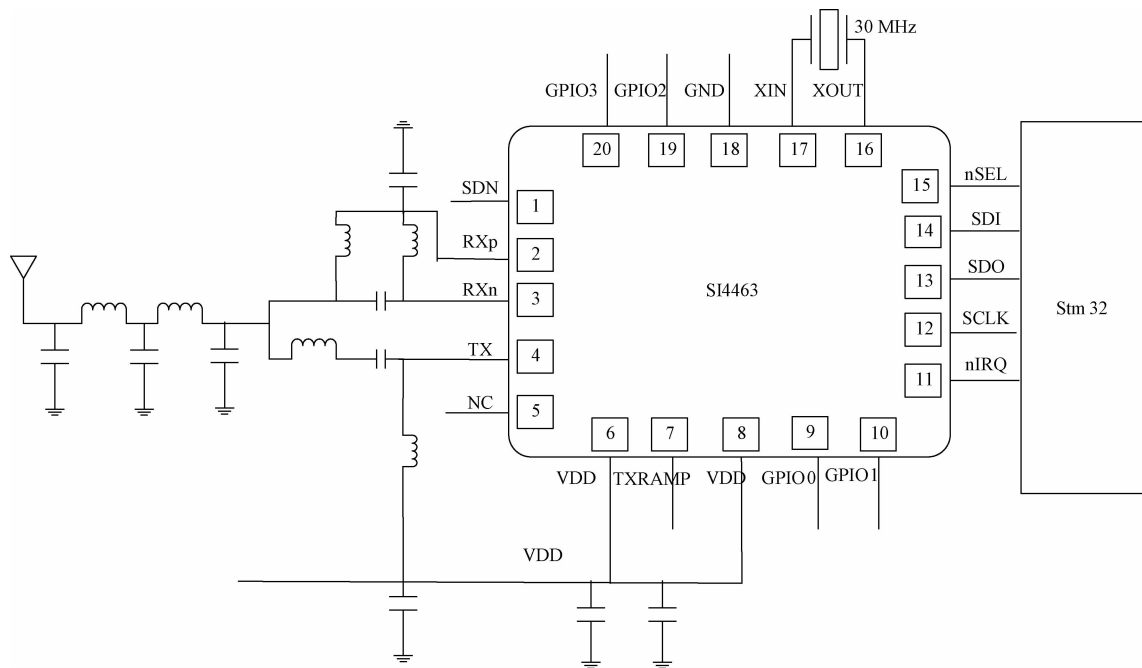


图 2 无线数据收发系统结构

的监管标准,且高达 146 dB 的链路预算使得扩展频谱和更高质量的通信连接成为可能。因此,采用 SI4463 芯片来进行数据传输具有可靠性高、稳定性好,传输距离远的特点。

## 2 数据链协议设计

### 2.1 时隙划分

本文采用时分多址技术来实现主从机之间可靠的数据传输,从而实现复杂的数据链网络。本文设计的时隙分为广播呼叫(BC)、时隙校验(TC)、数据通信(DT)、通信申请(TR)4 类<sup>[14]</sup>。各时隙用途如下:

广播呼叫(BC):广播和监听信息。

时隙校验(TC):检验主从机之间时隙是否同步。

数据通信(DT1):用于数据的发送。

数据通信(DT2):用于数据的接收。

通信申请(TR1):新的从机申请加入网络。

通信申请(TR2):对从机申请的应答。

本文设计的 TDMA 帧结构如图 3 所示。

每个主机分到一个时隙,并把分到的时隙划分为若干时隙分配给子网内的从机。主从机在进行数据通信之前,必须监听信号,如果主从机的时隙同步,则可以进行数据通信。

### 2.2 数据子帧格式

该协议将每个数据子帧划分为起始段、子帧头、数据

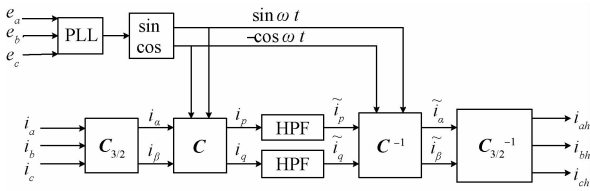


图 3 时隙结构

正文、子帧尾和结束段 5 部分<sup>[14]</sup>。具体结构如图 4 所示。

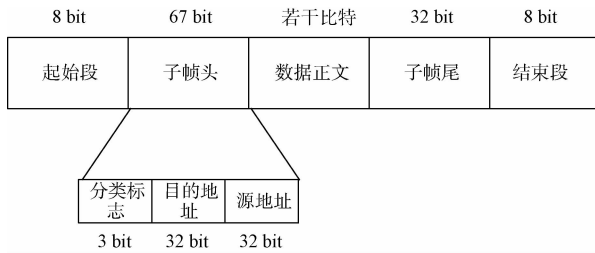


图 4 数据子帧结构

起始段：大小为 8 位，由一组二进制数列组成，内容为“00100100”，ASCII 码显示为“\$”，标志着一个数据包的开始。当接收端接收到数据，首先检测起始段是否为“\$”，如果不是，则说明有信息丢失，需要进行相应处理。

子帧头分为分类标志、目的地址和源地址 3 部分。分类标志是为了区分上行或下行的数据包类型。目的地址表示该信息将要发送的节点地址，源地址表示发送信息的节点地址。当只有两个通信节点双向交换数据时，目的地址和源地址可以省略。

数据正文部分有若干位，存储数据内容。整个正文的长度必须是 8 的整数倍，最后不够的部分补若干个 1 结束。

子帧尾的校验算法采用 CRC16 校验算法，占 32 位。将计算得来的校验码和实际得到的校验码进行比较，如果相等，则信息正确；如果不相等，则丢弃该帧。

结束段大小为 8 位，内容为“00001010”，ASCII 码显示为“\n”，接收端检测到该标志位则表示完成该信息帧的接收。

### 2.3 上下行链路报告

询问控制报告又称上行数据链报告，它包括 12 种查询指令和 31 种控制指令<sup>[13]</sup>。当地面管制员需要查询或控制当前飞机上的某个参数时，可将空地通信模式设定为询问控制模式。ADS 报告又称下行数据链报告，每份报告由 54 Byte 组成，提供机上位机 28 个参数的状态。上下行数据链报告出现在数据子帧的正文部分。通过上下行数据链路报告，可以实现对无人机的数据获取和实时操控。

## 3 系统软件设计

无人机数据链软件的设计包括初始化、时隙增添、数据收发等部分<sup>[5]</sup>。首先需要 STM32、SI4463、SPI 进行初

始化，初始化完成之后，在发送数据之前需要进行监听，当主从机的时隙同步时才可以发送数据，否则要继续监听。具体软件设计流程如图 5 所示。

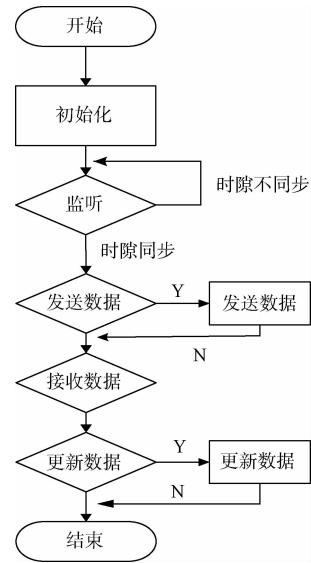


图 5 软件设计流程

### 3.1 初始化

初始化程序包括 STM32、SI4463、SPI 的初始化。本设计通过调用库函数来对 STM32 进行初始化，相较于直接操作寄存器复杂的开发流程，调用库函数开发的方式具有开发流程简单、移植性好的优点；SI4463 的初始化主要是对调制/编码等的参数、发送/接收数据包的格式、发送数据波特率、频率偏移等的配置；SPI 的初始化主要是完成对 SI4463 的读写操作。

### 3.2 SI4463 发送和接收数据

SI4463 传输数据采用 FIFO 方式。在 FIFO 方式下，发送和接收的数据均存放在 FIFO 存储寄存器中，具体发送和接收过程如下：

发送程序首先要对 SPI 进行初始化，然后再通过配置 SI4463 的 3EH 寄存器来设置包长度，并通过 SPI 连续写寄存器 7FH 写入要发送的数据，发送端先清除 FIFO，然后将数据写入 FIFO，使能发送中断，同时使发射指示灯变亮，禁止其他中断，从而数据开始发送。当有数据包发送完时，引脚 nIRQ 会被拉低以产生一个低电平，从而通知单片机数据包已发送完毕。单片机需要等待这个低电平，读取中断状态并拉高 nIRQ，否则继续等待此低电平。当一次数据发送成功后立即进入下一次数据循环发送状态。

接收程序通过程序配置完 SI4463 以后，首先打开“有效包中断”和“同步字检测中断”，将其他中断都禁止，通过引脚 nIRQ 用来检测是否有有效的数据包被检测到。接收端先将接收指示灯变亮，然后通过检测同步字来同步接收数据。等待 nIRQ 引脚因中断产生而使电平拉低，读取中

断标志位复位 nIRQ 引脚,使 nIRQ 恢复至初始的高电平状态以准备下一次中断触发的检测。当一个正确的数据包接收完毕,自动移去字头、地址和校验位。通过 SPI 读取 RX FIFO 中的数据,之后进入下一次数据接收状态。

#### 4 实例验证及分析

本论文根据实验室现有的无人机进行实例测试<sup>[3]</sup>,测试模型如图 6 所示。

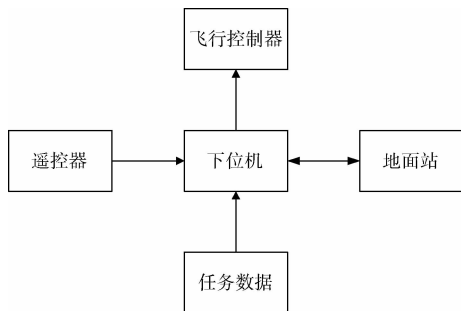


图 6 无人机数据链性能测试实例

测试原理:由于测试信号经过了无人机整个数据链路的传输,因此对于测试信号数据的研究可以反映出整个数据链的性能。实际测试过程中,取地面控制站的时钟为基准时钟,每周期记录时间、发送信号数值和接收信号数值,各取上、下行帧的一个固定的字节的位置放置测试数据,由地面控制站循环发送 1~100 的数值。测试数据经过无人机上行数据链到达无人机,完成上行信号的传输。机载飞控计算机取出上行帧中的测试数据,填入到下行帧中的测试数据位置并发送出去,经过无人机下行数据链到达地面控制站,完成下行信号的传输。丢帧率公式:

$$\eta = \frac{N_c}{N} \times 100\%$$

式中: $N_c$ 为丢失的数据帧数, $N$ 为单位时间内传输数据的总帧数。

将地面站和无人机置于空旷的草坪上,并拉开 5 km 的距离,打开机载电子仓和地面站,经过多次试验后统计数据的丢帧率。地面测试中上行链路和下行链路的丢帧率曲线如图 7 所示。

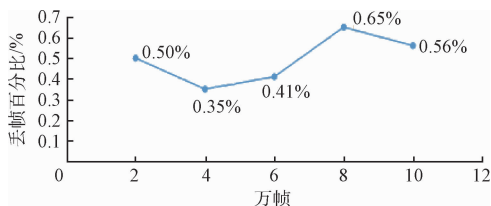


图 7 地面测试上行链路丢帧率曲线

通过实验,可以发现,本文设计的无人机数据链的上行链路的数据丢帧率都明显低于下行链路的数据丢帧率,

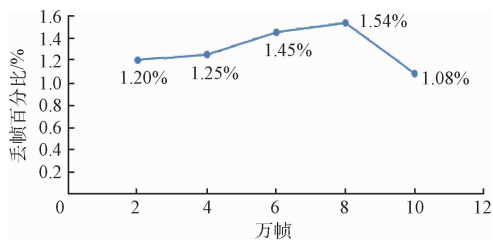


图 8 地面测试下行链路丢帧率曲线

且整个数据链的丢帧率较低,可靠性较好。

#### 5 结 论

本文在对无人机的应用场景和性能需求分析的基础上,完成了基于 SI4463 芯片的商用小型无人机软硬件的设计,构建了无人机窄带数据链的框架。同时,为了解决传统无人机数据链协议只针对单机对地面的通信,无法实现多架无人机与多地面站通信的问题,在数据链协议的设计中参考了 HDLC 协议的结构,加入了目的地址和源地址,改变了传统的、单一的点对点低空数据链模式,而发展成为更加复杂多样化的数据链网络,使得设计出的窄带数据链可以支持 UHF 波段的多频段操作、传输距离可达 10 km、传输速率可达 10 Kbps,具有传输速率较高、数据收发稳定可靠的特点,为今后商用通用小型无人机窄带数据链的开发提供了一些参考。

#### 参考文献

- [1] 胡庆. 基于 STM32 单片机的无人机飞行控制系统设计[D]. 南京:南京航空航天大学,2012.
- [2] 谷新宇. 微小型无人机飞行控制系统的设计与实现[D]. 长沙:国防科学技术大学,2010.
- [3] 余宝意. 小型无人直升机数据链技术的应用研究[D]. 广州:华南理工大学,2013.
- [4] 件敏娟. 无人机数据链的关键技术研究[D]. 西安:西北工业大学,2007.
- [5] 常宇恒. 无人机数据链路的设计[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2015.
- [6] 陈颖,邓洁,许林. 美军战术通用数据链的发展[J]. 电讯技术,2007(1):1-3.
- [7] 乌仁格日乐. 小型无人机自驾仪传感器子系统的研究与设计[D]. 呼和浩特:内蒙古工业大学,2009.
- [8] 方威,王锋,丁团结. 无人机数据链性能研究[J]. 飞行力学,2010(6):68-71.
- [9] DOMINIQUE D. Information processing in the axon. [J]. Nature Reviews: Neuroscience, 2004, 5(4): 304-316.
- [10] 李建军,张军,罗喜伶,等. 空地数据链机载仿真系统设计研究[J]. 航空电子技术,2003(3):24-28.
- [11] 张鹏. 基于 STM32 的有缆多旋翼飞行器控制系统研

- 究[D]. 南昌:南昌航空大学,2016.
- [12] 王洪迪. 小型无人机姿态控制策略研究与实现[D]. 大连:大连交通大学,2015.
- [13] 李芸. 面向小型无人机的空地数据链系统研究[D]. 西安:西北工业大学,2005.
- [14] 谢天立. 小型无人机数据链的研究[D]. 广州:华南理工大学,2012.
- [15] 秦博,王蕾. 无人机发展综述[J]. 飞航导弹,2002(8):4-10.
- [16] 张垚,鲜斌,于琰平等. 四旋翼无人机可视化半实物仿真平台研究[J]. 仪器仪表学报,2012(11):2572-2578.
- [17] 陈庆锋. 通用无人机地面控制站研究与设计[J]. 电子测量技术,2014,37(5):4-8.

## 作者简介

**梁丽媛**,上海大学通信与信息工程学院研究生,主要研究方向为无线通信技术。

E-mail:512670357@qq.com

**周志刚**,中国科学院上海微系统与信息技术研究所宽带无线技术研究室副主任,主要研究方向为宽带无线技术。

E-mail:zhigang.zhou@mail.sim.ac.cn

**许晨昊**,上海大学通信与信息工程学院研究生,主要研究方向为无线通信技术。

E-mail:460810688@qq.com