

doi: 10.7690/bgzd.2019.02.002

## 某小型无人机超低空飞行潜能的挖掘

陶德桂, 刘学业, 刘关心

(中国人民解放军 92419 部队, 辽宁 兴城 125106)

**摘要:** 为在不修改飞行控制规律且保持原有飞行品质的前提下, 使某小型无人机实现超低空飞行功能, 对其潜能进行挖掘。利用无线电高度表获取无人机相对海平面的实际高度值; 设计数据采集转发盒, 截获原气压高度值, 与无线电高度表值相融合后参与无人机超低空飞行控制; 截获遥测信息, 将无线电高度表值替换掉非重要数据, 利用原测控信道下传给地面站, 由地面指挥操作人员下达指令, 并通过实际飞行检验。结果表明, 通过这些措施实现了该小型无人机超低空飞行的目的。由此得出结论: 该方法可行, 措施有效, 可适用于对外购无人机进行部分性能提升和功能拓展的应用场合。

**关键词:** 无人机; 气压高度; 相对高度; 超低空; 单片机; RS-485 总线

**中图分类号:** TP368 **文献标志码:** A

## Exploit Potential of Super Low Altitude Flight of Certain Type Small UAV

Tao Degui, Liu Xueye, Liu Guanxin

(No. 92419 Unit of PLA, Xingcheng 125106, China)

**Abstract:** Without modifying the flight control law and maintaining its quality under the premise of the original flight quality, realize UAV super low altitude flight of certain type small UAV by exploiting its potential. Use radio altimeter to acquire actual height of UAV relative sea level. Design data collection switch box, intercept the original air pressure height, and combine it with the radio altimeter data and apply combination in UAV super low altitude flight control. Intercept telemetry information, radio altimeter value will replace non critical data, and use the original control channel sent to the ground station, the ground command operator issues instructions and verify it by actual flight. The results show that the UAV super low altitude flight was realized by these measures. It is concluded that the method is feasible and effective, and suitable for applications part of performance improvement and function expansion for the purchased UAV.

**Keywords:** UAV; air pressure altitude; relative altitude; super low altitude; microcontrollers; RS-485 bus

### 0 引言

国产某小型无人机在国内军、民用领域中得到了广泛应用, 并且还出口周边邻国。该型无人机采用单枚火箭助推起飞发射方式, 最大平飞速度可达 150 m/s, 续航时间可达 35 min, 基本型无人机的飞行高度指标为 100(相对)~7 000 m(海拔)。为了降低成本, 基本型无人机中未加装无线电高度表设备, 致使这些无人机在海上环境实际使用过程中最低飞行高度也只能在 100 m 以上, 不能满足舰炮/舰空导弹武器系统对海上超低空飞行目标的需求<sup>[1]</sup>。

为了使这些无人机能实现超低空飞行功能, 在无法获取生产厂家高度机密的飞控系统源程序的情况下, 本着物尽其用、降低成本、挖掘无人机潜能的原则, 笔者将一批从报废设备上拆卸下来的无线电高度表加装在这些小型无人机上, 并参与飞控系统工作实现超低空飞行目的。

### 1 可行性分析

未加装无线电高度表的基本型无人机采用硅压阻式气压敏感元件作为无人机定高控制高度传感器。它是通过测量大气静压  $p_s$ 、依据大气静压与高度的对应关系计算得到高度值的, 其计算公式<sup>[2]</sup>为:

当高度  $H$  小于 11 km 时,

$$H = 44.3308 - 4.94654 \times p_s^{0.190263} \text{ (km)} ;$$

当高度  $H$  大于 11 km 时,

$$H = 16.1727 - 6.3371 \times \ln p_s \text{ (km)} .$$

气压高度表输出的高度值实际上是代表无人机与起飞点间的气压高度差, 且没有进行海平面气压值和温度修正, 此外气压高度表还存在高度漂移现象。尽管在地面站显示软件中对气压高度值进行了修正处理, 但地面站所显示的高度值仍然不能真实反映无人机离海平面的相对高度, 而舰炮/舰空导弹武器系统试验使用的飞行目标相对于海平面的高度

收稿日期: 2018-12-19; 修回日期: 2019-01-04

作者简介: 陶德桂(1969—), 男, 湖北人, 硕士, 高级工程师, 从事无人机电气系统、自动控制专业等方面的使用和研究。

(无人机高度定义如图 1)<sup>[2-5]</sup>, 故指挥人员在无法得知无人机离海平面的相对高度情况下, 不敢随意控制无人机下降到较低高度飞行, 否则极易发生入水坠海事故。

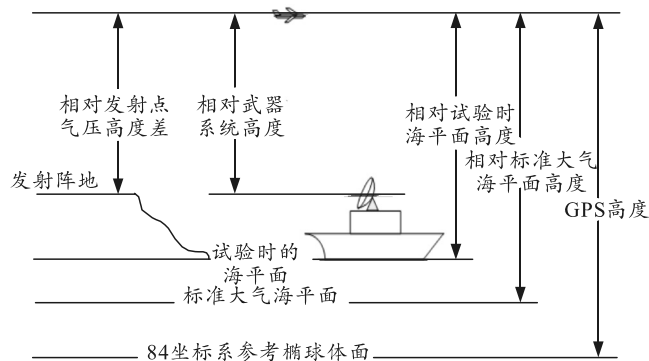


图 1 无人机高度定义

通过对 20 多架次的基本型无人机实际飞行数据进行统计和分析得知, 其定高飞行控制精度可达  $\pm 10$  m。图 2 为某次任务飞行定高平飞时的高度变化曲线。由图可见: 无人机自身的高度控制精度比较高, 如果能充分挖掘无人机的这个潜能, 完全有可能进一步降低飞行高度。通过增加无线电高度表设备并实时将其测量值传输到地面站, 指挥人员能实时得知无人机离海平面的真实高度, 可以控制无人机下降到更低的高度飞行。但无人机在低高度飞行时, 由于海平面的气压受海浪的影响不够稳定, 如果还是直接使用气压高度表控制高度, 则势必会影响无人机的控制精度, 此时需要利用无线电高度表测量值或者与气压高度表输出值进行融合处理后的数据值。

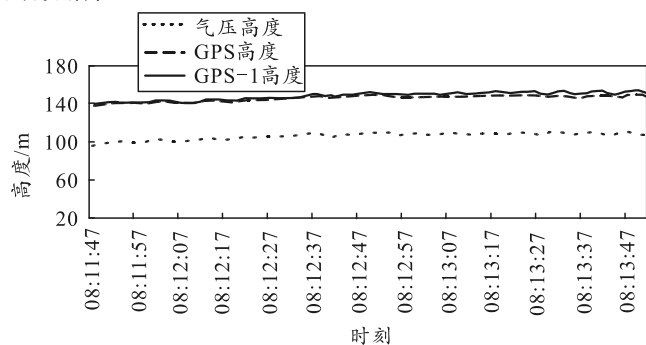


图 2 无人机高度时间变化曲线

通过分析无人机的遥控遥测信号传输通道, 可以只增加很少的设备, 在不改变无人机飞控系统和地面站显示软件的前提下达到上述目的。

## 2 具体实现方法

在该小型无人机上加装无线电高度表, 实时获取无人机相对于海平面的高度值<sup>[6]</sup>; 研制一个数据

采集转发盒, 截获飞控器送给测控信道的遥测数据, 将无线电高度表的高度值替换掉遥测数据中不重要的数据字节, 重新组帧送给测控信道下传; 数据采集转发盒实时与空速高度表通信获取气压高度值, 当无线电高度表低于某一高度值时, 将气压高度值与无线电高度值进行数据融合后再送给飞控器参与高度控制; 地面指挥人员依据地面显示软件上无线电高度表的高度值下达“降 10 m”指令, 使无人机下降到某一低高度飞行, 实现超低空飞行目的。

加装部分相关连接如图 3 所示。其中飞控器与空速高度表和测控信道之间的箭头虚线是无人机自身原来连线情况, 现被实线所取代。

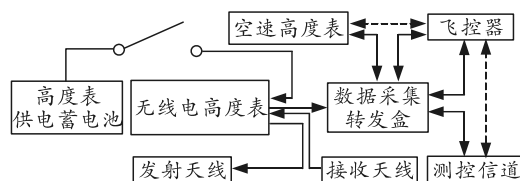


图 3 加装部分与原无人机设备连接

### 2.1 数据采集转发盒硬件设计

数据采集转发盒需要实现的功能有: 1) 接收无线电高度表输出的高度数据; 2) 与空速高度表通信获取气压高度数据; 3) 接收飞控器输出的下传遥测数据; 4) 将无线电高度表输出数据替换遥测数据中的相关字节, 转发给测控信道; 5) 判断无线电高度表输出数据低于某一阈值时, 将空速高度表和无线电高度表输出的高度数据进行融合后转发给飞控器, 否则直接转发空速高度表数据; 6) 全航程实时存储无线电高度表数据, 事后可对存储数据进行读、写、擦除操作。

为实现上述功能, 采用南通国芯微电子有限公司生产的 STC15W4K16S4 单片机<sup>[7]</sup>配合 MAX208 和 MAX485 电平转换芯片进行硬件电路设计。该单片机工作电压为 2.5~5.5 V, 具有 16 KB 的 FLASH 程序存储器、4 KB 的片内 SRAM 数据存储器、4 路完全独立的高速串行通信端口(分时切换可当 9 路串行口使用)、5 路定时/计数器、42 KB 的 EEPROM 存储器、38 个通用 I/O 口、硬件看门狗以及其他丰富的硬件资源, 外部晶振频率最高可达 28 MHz。

笔者主要采用单片机的 4 路串口, 按照功能需要用到 5 个串口。其中: 2 个串口要扩展成的 RS485 接口, 分别与空速高度表和飞控器通信, 获取气压高度值并与无线电高度值融合后回复给飞控器; 另外 3 个串口扩展成 RS232 接口分别与飞控器和测控

信道通信完成接收/转发遥测数据工作、与无线电高度表通信完成接收无线电高度数据工作、与地面测试设备通信完成对 EEPROM 存储器中数据的操作指令(包括读、写、擦除指令)/发送 EEPROM 数据内容的工作。因此需要将 1 路串口分时切换使用。笔者将串口 S1 分时切换使用:在上电之初将串口 S1 切换到 P3.0/P3.1 引脚等待接收地面测试设备对 EEPROM 存储器的数据操作指令,如果在规定时间内没有接收到指令,则将串口 S1 切换到 P3.6/P3.7,用于接收/转发无人机飞控器发送出来的遥测数据。串口 S2 用于接收无线电高度表的高度输出数据。串口 S3 扩展成 RS485 接口用于与空速高度表通信<sup>[8-9]</sup>。串口 S4 扩展成 RS485 接口用于与飞控器

通信。

该单片机带有 42 KB 的 EEPROM 数据存储器,可用于保存无线电高度表的输出数据。无线电高度表输出数据频率为 20 Hz,每帧数据中的高度值占用 2 个字节。为了在无人机飞行全程中保存高度数据,采用每间隔 1 帧数据保存 1 个高度值,这样大约能保存  $42 \times 1024 / (2 \times 10) / 60 = 35.84 \text{ min}$  飞行时间的数据,大于该型无人机续航时间。

文中使用到的 STC15W4K16S4 单片机资源较少,功耗也较低,经试验测试数据采集转发盒消耗的总电流小于 60 mA@12 V,故其供电可直接由飞控器输出给靶载测控信道的 12 V 直流电源提供。

电路原理如图 4 所示。

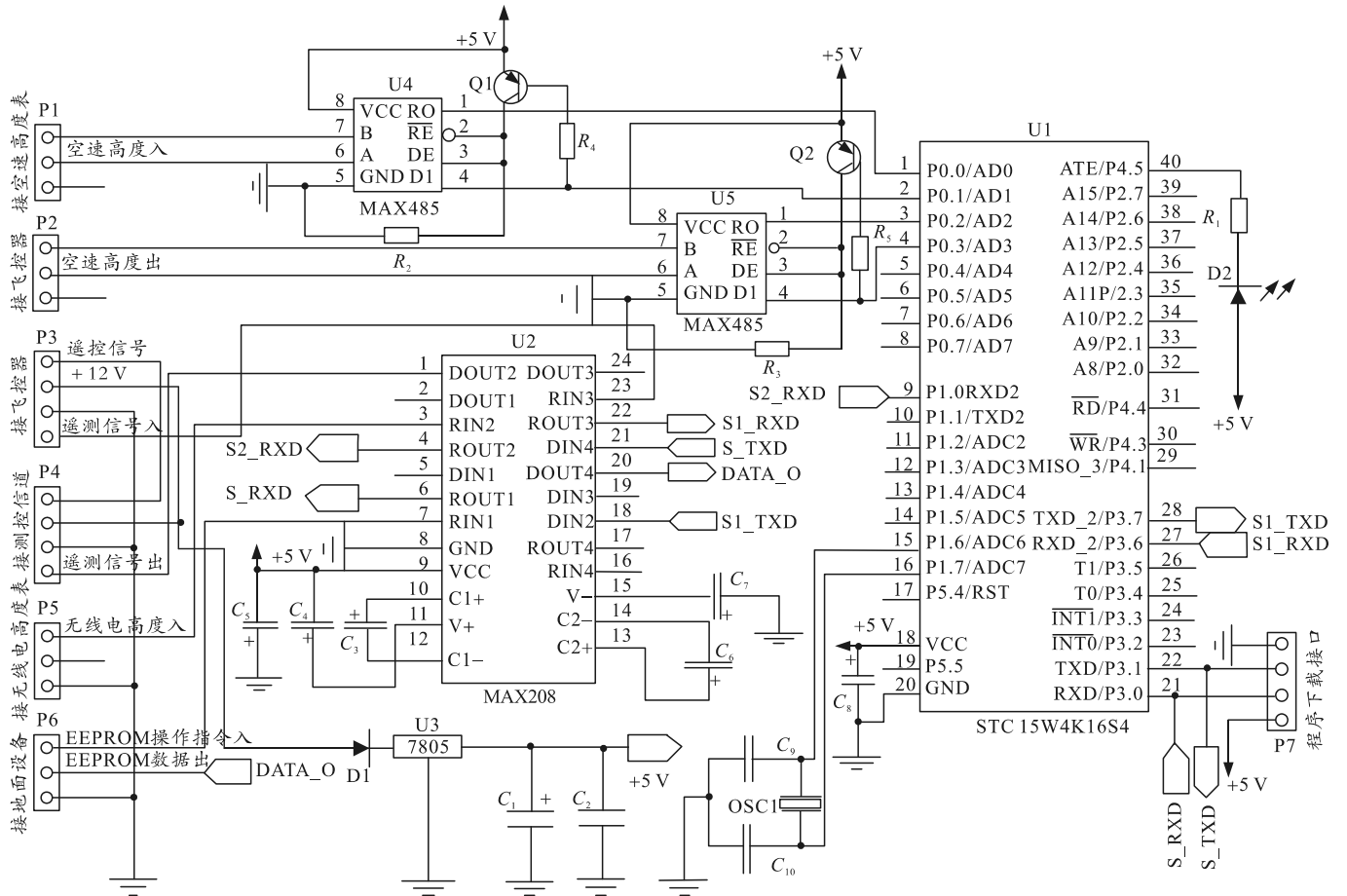


图 4 硬件电路原理

## 2.2 软件设计

该小型无人机飞控器发送给靶载测控信道的遥测数据分为 A 帧、B 帧和 C 帧,每帧 40 个字节,3 帧数据帧头与校验方式完全相同,依靠第 22 字节区分。其中 A 帧与 B 帧在整个开机状态下持续发送,而 C 帧只在收到航点注入以及航点申请后发送,作为对申请或者注入的应答。

为了实时获取无线电高度表的高度值,只能选择 A 帧或 B 帧作为高度值的下传载体帧。通过分析 A 帧和 B 帧各字节的含义及预留字节情况,认为选取 B 帧中第 34 字节作为无线电高度表高度值的存放单元比较理想。该字节原本用于存放 GPS 接收机正在接收处理的卫星数目,鉴于该参数对于无人机的飞行和控制不太重要,用无线电高度表的数值进

行替换，其值范围为 0~255，满足对高度值的显示要求。该方法的好处是完全不用修改地面显示软件，但需要注意地面显示软件中“卫星数”处所显示的数字不再代表卫星数而是表示无线电高度值。

无人机飞控器发送遥测数据帧波特率为 9 600 bit/s，每帧数据为 40 字节，最大帧频率为 20 Hz；无线电高度表的高度数据输出波特率为 38 400 bit/s，每帧数据为 12 字节，数据输出更新率为 20 Hz；空速高度表输出波特率为 9 600 bit/s，通过 RS485 接口与飞控器半双工通信，飞控器以 20 Hz 的频率向空速高度表发送 4 字节询问信号，空速高度表收到后回复 7 字节的帧数据；地面测试设备的波特率为 115 200 bit/s，指令字节为 6 字节。

无线电高度与气压高度进行融合处理的算法<sup>[10]</sup>：设定一个初值为零的变量 following，融合高度的数值等于气压高度+following，如果程序计算发现融合高度不等于无线电高度，则融合高度通过改变 following 数值来跟随无线电高度，改变的速率为每个

循环 (20 ms) 变化 0.05，则反映到高度变化值 2.5 m/s。

由于单片机自带的 EEPROM 存储器容量有限，而无人机在地面准备过程中有可能长时间通电测试，为了只记录无人机飞行过程中的无线电高度表数据，需要设置一个启动的记录标志。无人机飞控器下传的遥测数据中有丰富的无人机状态信息，如气压高度、发动机油门、GPS 高度/速度等的信息。笔者采用当发动机油门大于等于 20% 时，开始判断气压高度值，如果连续 5 次比较气压高度大于某一值 (如 58.4 m) 时，设置 EEPROM 开始存储标志。此时首先开始读取 EEPROM 第 1 扇区 512 字节数据，如果有 1 个值不等于 0xFF，则需要执行擦除命令，共计 84 个扇区 42 K 字节，擦除时间大约需要 21 ms×84=1 764 ms，在此期间不能收发飞控器下传的数据，故建议在无人机飞行前手动擦除 EEPROM 数据。

数据采集转发软件采用 Keil C51 语言进行编程<sup>[11]</sup>，软件流程如图 5 所示。

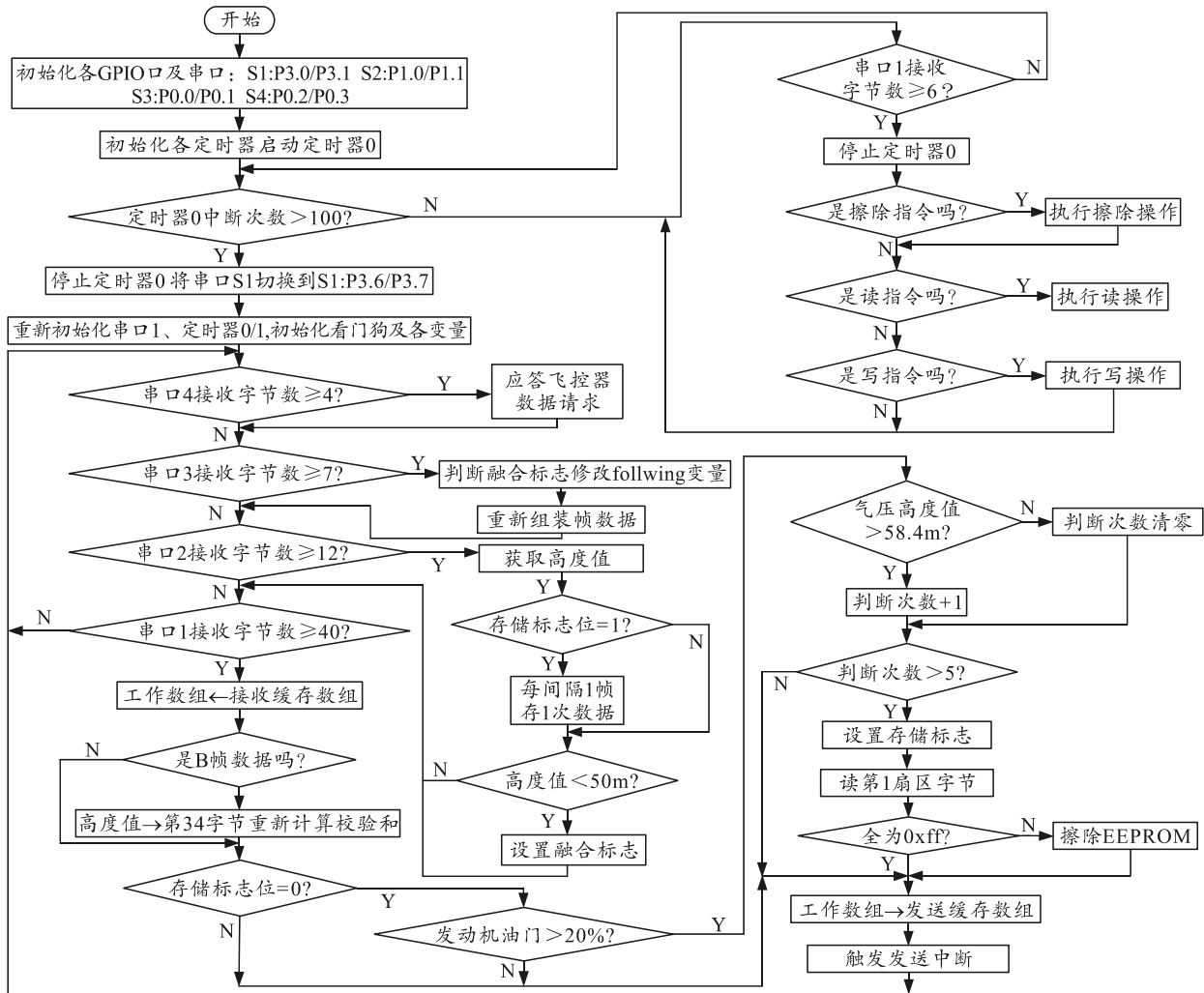


图 5 数据采集转发软件流程

### 3 实际飞行结果

改造后的无人机参加了某次飞行任务,飞行高度设定为 30 m、平直飞段距离为 15 km,无人机程控降高至 65 m,采取降 10 m 遥控指令调整无人机飞行高度至 30 m,平直飞段无人机无线电高度均值为 31.6 m,最小值为 29.9 m,最大值为 33.1 m,偏差最大为 1.7 m,满足任务飞行要求。实际任务飞行曲线如图 6 所示。

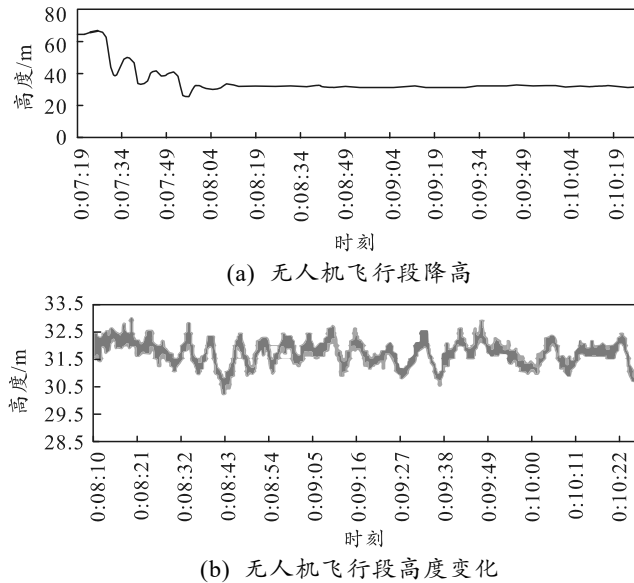


图 6 无人机某次飞行任务高度曲线

### 4 结束语

在不改变无人机原有飞控器控制算法和逻辑、保证其原有飞行品质的前提下,笔者通过增

加少量部件,充分利用其部分通信协议,深度挖掘无人机的潜能,达到了超低空飞行的目的。该方法可在不掌握飞控器核心程序代码的情况下,为拓展无人机飞行高度范围和其他功能提供参考。

### 参考文献:

- [1] 曲宝忠,孙晓峰,李宇秀,等. 海军战术导弹试验与鉴定[M]. 北京:国防工业出版社,2005:87-90.
- [2] 李本亮. 基于CAN总线的气压高度表研制[D]. 西安:西安电子科技大学,2015:7-8.
- [3] 樊尚春,吕俊芳,张庆荣,等. 航空测试系统[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005:234-252.
- [4] 边少锋,纪兵,李厚朴. 卫星导航系统概论[M]. 北京:测绘出版社,2016:107-112.
- [5] 谭述森. 广义RDSS全球定位报告系统[M]. 北京:国防工业出版社,2011:77-78.
- [6] 姜杨,王雷,米阳. 某超低空型无人机飞控系统设计与实现[J]. 兵工自动化,2013,32(10):69-70.
- [7] 南通国芯微电子有限公司. STC15系列单片机器件手册[S]. 南通:南通国芯微电子有限公司,2015.
- [8] 卢嫚,李彦斌. 基于RS-485总线的多点温度监控系统设计[J]. 微型电脑应用,2014,30(10):16-19.
- [9] Jeff Lies. RS-485收发器教程[J]. 电子技术应用,2015,41(5):16-18.
- [10] 路引,郭昱津,王道波,等. 基于信息融合的某型无人机高度测量系统[J]. 兵工自动化,2016,35(10):46-48.
- [11] 徐爱钧,彭秀华. Keil Cx51 V7.0单片机高级语言编程与uVision2应用实践[M]. 北京:电子工业出版社,2006:16-213.