

基于单片机负载控制的无人机电气设备 监测系统设计

吴 瑕¹, 郎玉庆²

(1. 沈阳工学院 信息与控制学院, 辽宁 抚顺 113122;

2. 沈阳市政集团有限公司, 沈阳 110021)

摘要: 为深入分析无人机电气设备的电子负载性能, 实现对传输电子量的合理性监管与控制, 设计基于单片机负载控制的无人机电气设备监测系统; 利用电气信号发生电路, 构建负载网络控制器与以太网模块运行所需的电气设备负载环境, 借助 PCB 监控板建立 PLC 扩展负载模块与核心监控主机之间的物理连接关系, 实现无人机电气设备监测系统的硬件执行环境搭建; 在此基础上, 通过 STM32 型单片机移植协议, 确定无人机电气设备通信主机的现有组态形式, 联合已设定的监控任务有线级条件, 实现监测系统的软件执行环境搭建, 完成基于单片机负载控制的无人机电气设备监测系统设计; 对比实验结果表明, 基于单片机负载控制的无人机电气设备监测系统的电子负载量等级更高, 阶段性时间内的电子量监控数值也相对更大, 能够准确实现无人机电气设备负载监测。

关键词: 无人机电气设备; 监测系统; 信号发生电路; 网络控制器

Design of UAV Electrical Equipment Monitoring System Based on MCU Load Control

WU Xia¹, LANG Yuqing²

(1. School of Information and Control, Shenyang Institute of Technology, Fushun 113122, China;

2. Shenyang Municipal Group Co., Ltd., Shenyang 110021, China)

Abstract: In order to deeply analyze the electronic load performance of UAV electrical equipment and realize the reasonable supervision and control of the transmission electronic quantity, a UAV electrical equipment monitoring system based on MCU load control is designed. Using the electrical signal generation circuit, the load environment of electrical equipment for the operation of load network controller and Ethernet module is constructed. With the help of PCB monitoring board, the physical connection between PLC extended load module and core monitoring host is established, and the hardware execution environment of UAV electrical equipment monitoring system is built. On this basis, the hardware execution environment is determined by STM32 MCU transplantation protocol. The existing configuration form of UAV electrical equipment communication host, combined with the set monitoring task wire level conditions, realizes the software execution environment of the monitoring system, and completes the design of UAV electrical equipment monitoring system based on MCU load control. The experimental results show that the electronic load level of UAV electrical equipment monitoring system based on single-chip load control is higher, and the electronic monitoring value in periodic time is relatively larger, which can accurately realize the UAV electrical equipment load monitoring.

Keywords: UAV electrical equipment; monitoring system; signal generation circuit; network controller

0 引言

STM32 是一类功耗能力极低的半导体单片机芯片, 以 ARM Cortex-M4 处理器内核作为核心搭建设备, 可在与其它执行元件共用外设、软件与引脚结构的情况下, 大幅提升监控主机设备的应用灵活性。一般情况下, STM32 单片机内部包含可变静态存储器、嵌套矢量中断控制器、外部中断/事件控制器、供电电源等多个连接结构^[1]。其中, 可变静态存储器具有多种数据支持模式, 可在多信息量并存的条件下, 将 NVIC 内核调试至最为紧密的连接状态。

嵌套矢量中断控制器可同时提供多个中断优先级选择条件, 可在中断入口退出连接状态后, 快速切断监控主机与执行设备之间的物理连接关系。外部中断/事件控制器隶属于 STM32 单片机的边缘连接地带, 可直接顺承供电电源中的传输电子, 并将其转化成既定的电气负载输出形式^[2-3]。

在电气化负载环境中, 随无人机飞行距离的增加, 传输电子量会逐渐偏离最初的预设轨道, 从而造成电子负载性能的持续性下降。为避免上述情况的发生, 传统嵌入式电信息监测系统通过配置 I/O 接口地址的方式, 确定与电

收稿日期: 2021-03-01; 修回日期: 2021-03-17。

作者简介: 吴 瑕(1986-), 女, 辽宁葫芦岛人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事物联网系统、软件工程方向的研究。

引用格式: 吴 瑕, 郎玉庆. 基于单片机负载控制的无人机电气设备监测系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(9): 29-32, 77.

路采集板匹配的电量传输能力,再借助 STEP7 软件,实现对负载监控程序的编码处理。但此系统在阶段性时间内所能承担的监控电量水平相对有限,很难实现对电子负载量等级的有效促进。基于此引入 STM32 芯片,设计一种新型的无人机电气设备监测系统,在保留芯片结构体原因执行能力的基础上,建立电气信号发生电路、以太网模块等多个必要的硬件执行结构,并借助 USB 驱动程序,实现对监测任务有线级条件的实时设定。

1 基于单片机负载控制的监测系统硬件选型

基于单片机负载控制的监测系统硬件选型包含电气信号发生电路、负载网络控制器、无人机以太网模块等多个硬件设备连接操作流程,具体研究方法如下。

1.1 电气信号发生电路

电气信号发生电路是无人机电气设备监测系统中一个极为重要的电子处理环节,能够实现电子负载在不同输出形式下的准确连接,一般情况下,监测系统需要不定时对被检测的无人机电源、负载电子、负载输入/输出电压(电流)进行总线端的实时采样。由于需要对 STM32 单片机中的电力与电压进行同步的虚化模拟,并在保持良好输出精度的情况下,对其进行归一化处理,整个电气信号发生电路内只存在 LM35S(无人机电信号发生设备)一个核心控制装置^[4]。LM35S 型无人机电信号发生设备采用先进的 iC-MOS 制造工艺,可将无人机主机的高速模拟电路与数字逻辑电路完美集成起来,且在整个处理过程中始终遵循小尺寸封装原则,能够在提供良好电气负载供应量的同时,避免 STM32 单片机对无人机主机造成的电子抑制性影响。但由于集成度水平相对较高,LM35S 元件必须采取低电子采样速率的执行标注,若不考虑电气负载量对核心监控主机带来的电量抑制问题,其采样速率只能达到 250 kS/s,但整个采用过程中的电子负载精度始终保持为 16 位^[5]。

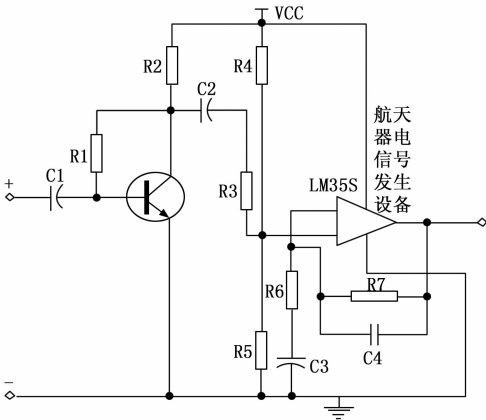


图 1 电气信号发生电路示意图

1.2 负载网络控制器

无人机电气设备监测系统负载网络控制器借助以太网向 PCB 监控板发送 TCP/IP 型电气信息数据包,电气信号发生电路接受到以太网发送过来的 TCP/IP 数据包

后,可直接从中解析出与无人机控制相关的数据指令,再根据文件数据包中应用指令的编写形式,确定后续的控制执行操作,并将监控控制结果以原有 TCP/IP 数据包的形式反馈至无人机应用主机中,以便实现在 STM32 单片机中实时掌握电气负载设备的最新连接状态^[6-7]。在无人机监控体系中,负载网络控制器始终保持嵌入式连接形式,一般情况下,总是与 STM32 单片机芯片包含相同的软硬件执行结构。硬件执行部分能够直接组成负载网络控制器的物理基础,而软件运行部分则由电气信号发生电路与以太网模块同时供应。完整的负载网络控制器由监控主机、以太网、单片机设备、负载服务器等多个结构共同组成,各部分元件彼此协调相互配合,共同实现结构体主机的执行与应用。

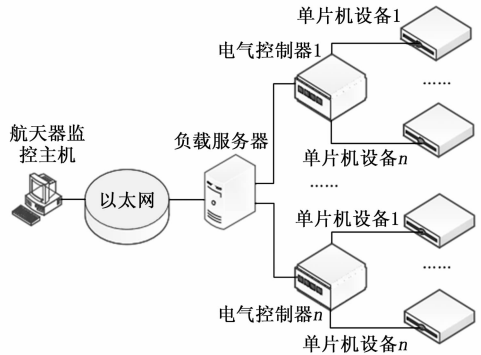


图 2 负载网络控制器结构图

1.3 以太网模块

以太网接口的实现主要通过嵌入式微处理器、外围协议芯片和其它辅助电路结构体来提供负载监控设备所需的接口组织,最终实现模块主机的核心数据通信功能。对于不同搭配协议芯片,以太网模块能够选择不同的接口连接形式,且为使电气信号发生电路的设计结构更加简单,模块内应选择负载多个 MAC 控制器接口的芯片设备,STM32 单片机能够完全满足上述设计需求,且其内部自带了 DMA 控制器、MAC 控制器两种应用结构^[8]。DMA 控制器负责处理无人机电气负载单元中的全路径传输问题,在读取系统中以太网帧队列信息的同时,弹出一个独立的帧状信号传输结构,再直接传递给 MAC 内核设备。当最后一个帧状信号被传输至以太网接口时,无人机主机中的 MAC 核会被负载网络控制器完全移植,并返回至最原始的 DMA 连接形式。DMA 控制器可直接访问系统的 PCB 监控板,并可在监控负载接口的配合下,将无人机电气信号转存至外置 PHY 设备结构体之中^[9]。

1.4 PCB 监控板

STM32 单片机作为无人机电气设备监测系统的核心控制单元,应尽量将其放置在 PCB 监控板件的中央,主控制结构采用 STM32F 107VCT6 芯片与物理层 PHY 设备相连的应用形式,可在以太网模块的作用下,将无人机负载信息数据的传输速率扩大至 50 MHz,在传输过程中,所有数据线都应尽量保持平行的连接形式,因此在 PCB 监控板设

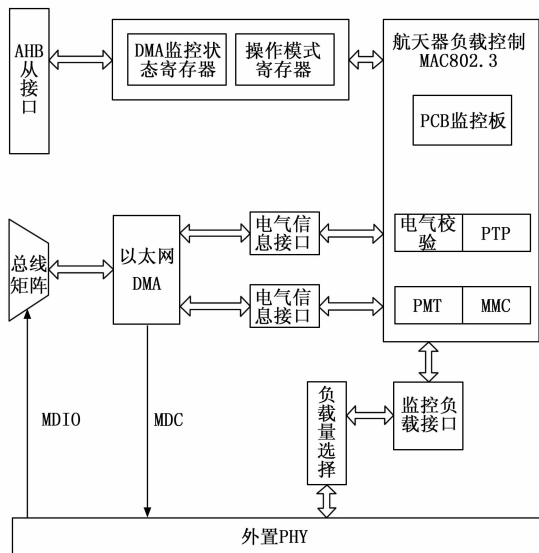


图 3 无人机电网模块结构图

计的过程中, 应将两个原始芯片置于平行放置状态, 并将其摆放在板件的中央位置处^[10-11]。STM32F 107VCT6 芯片被用来存储与 PCB 监控板相关的设置参数信息, 一般位于控制器内侧, 在无人机行进过程中, 电源模块会对电气负载信号产生噪声干扰, 因此电气信号发生电路只能连接在 PCB 监控板的右下端组织单元中^[12]。由于 STM32 单片机执行作用的影响, PCB 监控板在实际应用过程中只能维持原始的工作状态, 在线性稳压电源反应速度极快的情况下, PCB 监控板元件工作产生的噪声值较低、输出波紋量较小。

1.5 PLC 扩展负载模块

无人机监测系统预定设置 70 个控制负载结构。其中, 20 个关键飞行负载、30 个关键任务负载、20 个非关键负载, 每个负载设备都接受 STM32 单片机的集中化控制与调度。本系统 PLC 扩展负载模块的 I/O 信号如表 1 所示。

表 1 无人机电气设备监测系统 I/O 信号表

	输入	输出
模拟量	3 个交流汇流条电压/(9 路)	3 个负载发电机/(3 路)
	5 个直流汇流条电压/(5 路)	
数字量	70 个 SSPC 设备, 共 140 个电气状态信号/(140 路)	70 个 SSPC 电气控制信号/(70 路)
	11 个监控开关、无人机状态信号/(11 路)	11 个负载继电器/(11 路)
	3 个无人机 GCB 设备/(3 路)、2 个电气负载监控二极管/(2 路)	3 个无人机 GCB 设备/(3 路)、3 个无人机指示灯/(3 路)

分析表 1 可知, 无人机负载监控信号数字量输入共 156 路, 输出共 87 路; 无人机负载监控信号模拟量输入共 14 路, 输出共 3 路。因此, 无人机负载信号模块选择需求如下: 32 位电气数字量输入模块共 5 块、32 位电气数字量输出模块共 3 块、8 路电气模拟量输入模块共 2 块、4 路电气模拟量输出模块仅有 1 块。

2 无人机电气设备监测系统软件设计

按照 USB 驱动程序连接、STM32 型移植协议设置、无人机电气通信组态分析、监控任务有线级设定的处理流程, 完成系统的软件执行环境搭建, 再结合相关硬件设备元件, 实现基于 STM32 无人机电气设备监测系统的顺利应用。

2.1 STM32 型移植协议

STM32 型移植协议作为实时多任务内核的监测系统操作对象, 具有免费提供负载数据源代码、电气量可主机设备移植、主机设备裁剪、无人机元件固化等多项应用特点。用 ANSIC 语言描述 STM32 型移植协议代码的原始存在形式, 在该类型服务始终与无人机监控主机保持紧密传输关系的情况下, 以汇编语言定义移植协议的初始编写节点, 不但能够保持 STM32 单片机自身的可移植能力, 也可使 USB 驱动程序在负载扩展方面具备更强的应用适应性^[13-14]。在提供基础执行功能的同时, STM32 型移植协议可根据无人机电子量的实际传输需求, 对电气负载信息进行剪裁处理, 一般情况下, 保持全功能状态负载监控数据的瞬时传输量可在短时间内缩减至 2.7 kB。因为基于 STM32 无人机电气设备监测系统中只包含一个独立的嵌入式内核, 故该类型移植协议只能在以太网通信协议、文件输入与输出管理等方面确保监控主机的实际执行能力。设 f 代表标准传输情况下的无人机电子负载量, f' 代表非标准传输情况下的无人机电子负载量, j 代表最小的 STM32 协议移植条件, \tilde{j} 代表最大的 STM32 协议移植条件。联立公式 (1), 可将无人机电气设备监测系统的 STM32 型移植协议传输行为定义为:

$$L = \frac{\int_j^{\tilde{j}} \bar{A} |f - f'| \cdot |h - h'|}{W |E|} \quad (1)$$

其中: \bar{A} 代表无人机元件的初始的电气负载量系数, H 代表标准传输情况下的负载元件监控行为量, h' 代表非标准传输情况下的负载元件监控行为量, E 代表既定无人机元件中的电气量负载均值。

2.2 无人机电气通信组态

无人机电气通信组态的作用是控制 STM32 单片机中的电流传输形式。当流过无人机电气负载设备的电流量过大时, 通信组态元件可自发向系统监控主机发送跳闸执行信号。依据已连接电气通信组态的状态及来自 STM32 单片机部件的负载应用信息可知, 整个监测系统逻辑部件与控制部件可同时接收与无人机设备相关的 SSPC 状态信息, 并可根据电流感受部件中跳闸信号的连接形式, 判定 STM32 型移植协议连接行为的应用可行性^[15-16]。大多数情况下, 无人机电气通信元件的组态连接行为可用“0”与“1”进行描述, 且不同数字连接形式代表的负载监控状态也会有所不同。表 2 列举了几种常见的无人机电气通信组态连接形式。

2.3 监控任务有线级设定

在基于 STM32 单片机进行负载监控软件设计时, 无人

表 2 无人机电气通信组态连接形式

状态	输入控制	输出控制 1	输出控制 2	通信组态描述
1	1	1	0	正常负载导通
2	1	0	0	状态 2 短路到地
3	0	1	1	状态 2 短路到电源
4	0	0	1	正常负载关断
5	0	1	0	无人机电气负载导通
6	0	0	0	完全短路到地

机负载控制主机功能能否顺利完成,很大程度上取决于能否合理的划分监控任务。在进行电气负载任务划分时,不能只从整个系统的监控功能进行考虑,还需要考虑系统在运行过程中的执行特殊性。若监控任务有线级设定的过于细致,无人机主机需要进行频繁的任务切换,会大大降低电气负载元件的运行效率;若监控任务有线级设定的过大,会造成电气负载 CPU 资源的过度浪费,其它监控人物监控任务的执行也需要较长的等待时间^[17]。因此,在划分监控任务有线级条件时,首先要分析各个无人机电气负载元件之间的连接关系,尽量选用不同的监控任务实现 STM32 单片机的执行需求;其次根据监控任务的功能级条件为其分配不同的优先级权限。设 λ 代表 STM32 型移植协议的实际编码系数, ξ_1 、 ξ_2 代表两个不同的无人机电气负载周期值,联立公式 (2),可将系监控任务的有线级设定条件表示为:

$$B = \frac{\lambda L - \xi_1 (\theta_n - \theta_1)^2}{\xi_2 \|\hat{y}\|^2} \quad (2)$$

式中, θ_1 代表第一个输入的无人机电气负载应用量, θ_n 代表第 n 个输入的无人机电气负载应用量, M 代表与 STM32 单片机相关的电气量输出条件, \hat{y} 代表系统应用环境中的负载监控任务执行需求量^[18]。至此,完成各项软、硬件执行需求的分析与处理,在 STM32 单片机芯片的支持下,完成无人机电气设备监测系统的设计。

3 实验分析

验证基于 STM32 无人机电气设备监测系统的实际应用价值。将无人机主体飞行结构置于距离核心参考系 35km 的飞行轨道之中,在既定实验时间内,不施加任何外力作用,仅依靠无人机主机的负载能力进行飞行任务,为获得准确的电气负载数值,与实验组无人机主机匹配的芯片搭载基于单片机负载控制的无人机电气设备监测系统,与对照组无人机主机匹配的芯片搭载嵌入式监测系统。

控制实验组、对照组无人机飞行时间保持一致,在完成飞行任务后,分别将两组电气负载芯片中的记录数据导入相同监控主机中。UIS 指标能够描述无人机电气设备所能承担的电子负载量等级水平,一般情况下,UIS 指标数值越大,无人机电气设备所能承担的电子负载量等级水平也就越高,反之则越低。图 4 反应了实验组、对照组 UIS 指标数值的具体变化情况。

分析图 4 可知,实验组 UIS 指标在实验前期的数值水

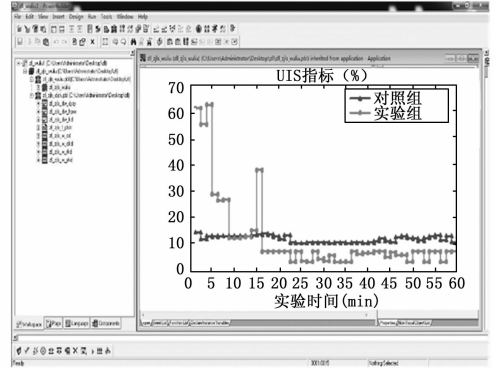


图 4 UIS 指标对比图

平较高、在实验后期的数值水平较低;对照组 UIS 指标在整个实验过程中的数值变化状态则相对较为平均。从极限值的角度来看,实验组最大值达到了 64.1%,与对照组最大值 14.8 相比,上升了 49.3%;实验组最小值达到了 3.6%,与对照组最小值 10.2%相比,下降了 6.6%,由于差值水平相对较低,因此并不能掩盖实验组系统在数据最大值方面的优势。

以 15 min 作为一个监控时长,分别记录在 4 个单位时长内,实验组、对照组电子量监控值的实际变化情况,如表 3 所示。

表 3 电子量监控值对比表

实验组别	实验时间/(min)	电子量监控值/($\times 10^{11}$ T)			
		实验组		对照组	
		1	2	1	2
1	5	6.5	6.7	4.3	4.5
	10	6.7	6.8	4.3	4.5
	15	6.8	7.0	4.3	4.5
2	20	7.0	7.1	4.3	4.6
	20	7.0	7.2	4.3	4.7
	30	7.0	7.3	4.3	4.9
3	35	7.1	7.2	4.4	5.0
	40	7.0	7.3	4.5	5.0
	45	7.1	7.4	4.7	5.1
4	50	7.2	7.2	4.8	5.1
	55	7.1	7.1	4.9	5.1
	60	7.1	7.2	5.0	5.2

分析表 3 可知,随着实验时间的延长,实验组电子量监控值基本保持先上升、再小幅波动的变化状态,全局最大值达到了 7.4×10^{11} T。对照组电子量监控值则在一定时间的稳定状态后,开始持续性上升,全局最大值仅能达到 5.2×10^{11} T,与实验组极值相比,下降了 1.8×10^{11} T。

综上所述,随着所设计系统的应用,单位时间内的电子量监控值出现了明显上升的变化趋势,无人机电气设备所承担的电子负载量等级水平也得到了明显促进,可在深入分析无人机电气应用环境中电子负载性能的同时,实现对传输电子量的合理性监管与控制。

(下转第 77 页)