

基于 SoC 的无人机航测视频信息 叠加设计与实现

江志东, 霍立平, 贾绍文, 于 浩

(海军航空大学青岛校区 航空电子工程与指挥系, 山东 青岛 266041)

摘要: 采用无人机航测平台标校光学助降系统光学下滑道指示角度时, 需要确定无人机航拍穿越光学下滑道时刻航测相机镜头成像中心位置; 首先需要获取无人机标校平台航测相机视频帧成像瞬时的精确时间, 然后根据成像时刻 GPS 天线相位中心的坐标, 结合无人机平台的姿态信息通过坐标转换得到拍照时刻航测相机镜头几何中心的坐标; 文章设计并实现了一种基于 SoC 的无人机航测视频信息叠加方法, 时间同步精度优于 30 ms, 充分利用 SoC 内的嵌入式 ARM 核和媒体处理平台资源, ARM 核心处理器的主要功能是完成与外设的通信及控制, 专用的媒体处理平台完成音视频解码, 采用 SoC 专用解码芯片的方案具有开发灵活和集成度高等优点。

关键词: 片上系统; 无人机; 视频叠加; 时间同步

Design and Implementation of Superposition for UAV Video Based on SoC

Jiang Zhidong, Huo Liping, Jia Shaowen, Yu Lu

(Department of aviation Electrics, Qingdao Branch, Navy Aviation University, Qingdao 266041, China)

Abstract: When using the UAV aerial survey platform to calibrate the optical glide path indicating angle of the optical assist system, it is necessary to determine the imaging center position of the aerial camera lens when the drone aerial photography passes through the optical glide path. Firstly, it is necessary to obtain the precise imaging time of the video frame of the aerial camera of the UAV calibration platform. Then, according to the coordinates of the phase center of the GPS antenna at the imaging time, combined with the attitude information of the UAV platform, the coordinate of the geometric center of the camera lens is obtained by coordinate transformation. In this paper, a video information superposition method based on SoC has been designed and implemented, which making full use of embedded ARM core and media processing platform resources in SoC. The time synchronization accuracy of video frames is better than 30 ms. The main function of the ARM core processor is to complete communication, and control with peripherals, and the audio and video decoding are completed by the dedicated media processing platform. The scheme using SoC special decoder chip has the advantages of flexible development and high integration.

Keywords: system on chip; unmanned aerial vehicle; superposition video; timing synchronization

0 引言

菲涅尔透镜光学助降系统 (FLOLS) 是基本的目视助降设备, 是目前国际通用的着舰引导基本手段, 其性能是决定航母编队战斗力的关键^[1]。为定量评估助降系统性能的关键指标参数, 提高着舰的安全性, 降低事故率, 需对光学助降装置进行定期标校。文献 [2] 通过有人直升机加装差分 GPS、高清摄像头及视频记录器等, 实现光学助降装置的动态标校。通过有人飞机进行相关作业时, 存在空域协调难度大、周期长, 加装专业设备过程繁琐且存在安全隐患等不足, 难以满足日益增长及多样化的航测需求。随着科学技术的发展, 无人机以其机动性好、生存能力强、

费用低廉、安全系数高、可重复利用等优势成为各类标校任务的专用平台^[3-4], 可为光学助降装置的日常定期校飞提供了一种全新的技术途径和专用装备。

在上述基于有人直升机或无人机的标校系统中, 标校平台沿下滑道按预定航线飞行时, 确定航测相机成像画面中光学助降装置的瞄准灯组和基准灯在同一直线的精确时刻, 进而确定标校平台自身的瞬时空间位置是非常关键的工作。为获取无人机航测平台拍照瞬时的空间位置, 首先需要获取航测相机曝光成像瞬间的精确时间。通常有以下 3 种方法:

一是利用航测相机 (一般为单反数码相机) 闪光灯输出的热靴信号实现与机载 GPS 定位模块输出信息的同步; 二是从航测相机内 CMOS 或者 CCD 图像传感器芯片处直接获取相机曝光瞬间的脉冲同步信号, 由专用微处理器接收帧同步脉冲信号和解析 GPS 信息, 由曝光脉冲同步信号触

收稿日期: 2019-03-28; 修回日期: 2019-05-01。

作者简介: 江志东(1985-), 男, 江苏泰州人, 博士生, 讲师, 主要从事航空电子装备保障, 航空电子综合技术方向的研究。

发微处理器外部中断, 在中断程序中接收并处理 GPS 模块输出的 PPS 秒同步信号及 NMEA0183GPRMC 语句中的时间信息, 利用内部定时器功能进一步提取得到曝光时刻的精确时间; 三是利用 OSD (On Screen Display) 芯片完成视频帧和 GPS 信息的叠加, 包括专用 OSD 芯片和嵌入在 SoC 芯片中的 OSD IP 核两种形式。上述 3 种方法中, 第一种方法的时间精度仅受相机快门曝光时间的影响, 有较高的时间精度, 且相机可选择货架产品进行二次开发, 可靠性高, 成本低, 通常需要定制专业的稳定云台和相机控制电路, 主要用于大地测绘领域, 一般工作在连拍模式下, 无法进行长时间摄录, 且照片和时间戳信息通常分别存储在相机和相应的时间记录装置中, 事后匹配工作量大, 不利于数据的实时处理; 第二种方法精度较高, 在剔除系统级误差后可达到微秒级同步, 但是涉及专用相机的定制, 涉及前端图像传感器的时序驱动及高速数据缓存, 对设计者的要求较高, 技术复杂且成本高。第三种方法采用专用 OSD 芯片可实现视频流和 GPS 时间、位置和姿态等信息的直接叠加, 但是需要专门的硬件和软件设计, 系统集成度较低, 尤其是视频码流在输入到 OSD 芯片之前已经经过编码压缩, 编码耗时与主控芯片性能有关, 在几毫秒到几十毫秒之间不等。如采用带有 OSD 功能的 SoC 芯片, 则不需要额外的硬件设计, 集成度较高, 只需要调用 OSD 功能的相关 API 接口, 且可以在视频帧编码压缩之前进行信息叠加, 大大提高了时间同步的精度。

为获取光学助降系统无人机标校平台航测相机瞬时成像的精确时间, 实现视频帧和机载 GPS 模块输出信息的同步, 进而确定曝光时刻航测相机镜头投影中心的精确位置和姿态信息。根据无人机标校系统的工作流程和整体需求, 本文设计了一种基于 SoC 的无人机航测视频信息叠加方法, 充分利用 SoC 内的嵌入式 ARM 核和媒体处理平台资源, 实现无人机航测视频流的实时采集、预处理、信息叠加和编码压缩, 具有集成度高、功耗低和开发灵活等优点。

1 无人机标校系统组成及标校方法

菲涅尔透镜光学助降系统设在航空母舰中部左弦的一个平台, 以尽可能使透镜发射的光束不受航空母舰摇摆的影响, 其指示灯组件如图 1 所示。该助降系统发出的相对海平面保持一定倾斜角的 5 层光波束, 每层下滑光波束都对应对应着一条光学下滑道^[5]。

图 2 中, 阴影部分表示下滑基准光波束, 也称理想下滑道, 理想下滑道基准角为 4°。符号 H、H、OK、L、L 表示飞机相对于理想下滑道的位置, 分别表示高、稍高、正好、稍低、低。

基于无人机平台的校飞系统包括机载系统和地面显控端两部分, 如图 3 所示。其中无人机机载端包括无人机平台, 高清航测相机 (含云台)、视频记录及处理模块、GPS/IMU 模块和图传电台及天线等设备; 地面显控端包括无人机地面站、差分 GPS 基准站, 图传电台及天线等。无人机

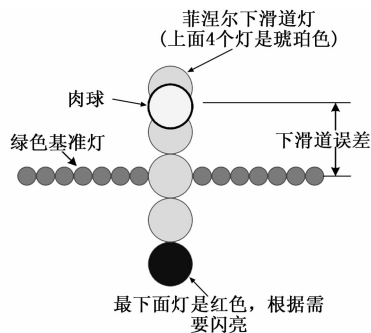


图 1 菲涅尔光学助降系统指示灯组件示意图

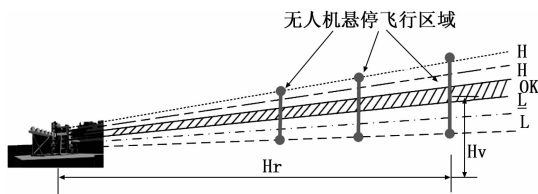


图 2 菲涅尔光学助降系统下滑光波束示意图

携带任务载荷按规划的航路沿光学下滑道飞行, 通过稳定云台实现航测相机的稳定拍摄, 避免出现图像晃动、抖动问题。基于 SoC 芯片的视频记录与处理模块通过 HDMI 接口实时接收、处理前端航测相机的视频流, 同步接收 GPS/IMU 模块输出的 PPS 秒脉冲和时间、位置、姿态等信息, 利用 SoC 内的 OSD 功能模块完成上述信息与单帧视频的叠加, 完成信息叠加后进一步进行视频码流的编码压缩, 一路视频本地存储, 另一路视频通过图传实时传输至地面站, 便于地面飞手操控无人机调整其高度及姿态。地面显控端实时显示视频以及无人机的位置、姿态和飞控信息, 地面无人机操控飞手根据目标在画面中的情况, 及时调整无人机的高度和姿态。

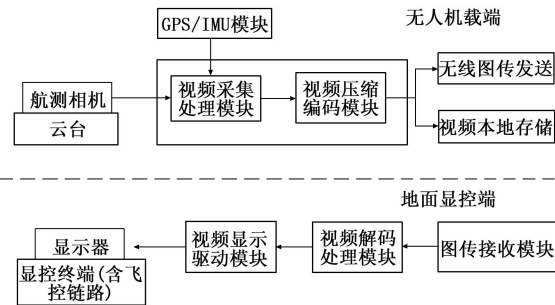


图 3 无人机标校平台组成示意图

以陆基光学助降系统标校为例, 标校流程如下: 无人机搭载任务载荷在跑道的中心延长线上起飞, 根据无人机平台距离菲涅尔灯组的水平距离 H_r 确定理想飞行高度 H_v , 如水平距离 H_r 为 1 000 m 时, 高度约为 70 m。在地面显控端根据图传实时传输的高清摄录系统传输画面, 调整无人机的位置高度和姿态。在不同水平距离处对应的理想高度悬停连续摄录。菲涅尔光学助降系统指示灯组件示意图如图 1 所示, 若图中“肉球”在绿色基准灯的上方, 表明此

刻飞机飞高了,需要降低无人机的高度。无人机平台在光学下滑道上下往返连续拍摄,事后选择“肉球”与基准灯在一条线上的视频帧,提取单帧视频对应的时间、位置和姿态信息,进而确定视频帧成像时刻航测相机投影中心的精确空间位置。最后,通过坐标转换,将无人机航测相机投影中心处的 GPS 坐标变换到以菲涅尔灯焦点为原点的站心坐标系,计算当前时刻的下滑角,根据各灯光分层张角计算灯组的总张角。

2 无人机视频信息叠加模块硬件组成

无人机标校平台机载端视频记录及处理模块以海思 SoC 芯片 Hi3520D 为核心,完成航测相机输出视频流的采集、预处理、OSD 叠加、编码压缩、与 GPS/IMU 模块的数据通信以及系统控制等功能。Hi3520D 是一款基于 ARM Cortex A9 处理器内核以及视频硬件加速引擎的高性能通信媒体处理器,是针对多路 NVR 产品开发的专业 SoC 芯片,可实现 HDMI+VGA 1080P@60fps 同源输出+2 路 CVBS 输出,集成了 OSD 和 H.264 编解码 IP 核且提供了丰富的外围接口,主频可以达到 660 MHz,可满足 HDMI+VGA1080P@60fps 实时编码同源输出^[6]。

机载端视频处理平台组成示意图如图 3 所示。基于 Hi3520D 的视频信息叠加硬件平台包括电源模块、存储器模块、视频模块和其他接口模块。电源模块从底部引入 DC12V 和 DC5V,通过电源转换芯片后给不同功能供电。存储器模块包括 4 片 16bit 的 DDR 内存,每片 512 MB,共计 2 GB。Flash 部分为一片 32MB 的 SPI NOR Flash。视频处理模块接口包括一个输入 HDMI 接口,用于从航测相机接收原始视频流数据,一个输出的 RJ45 以太网接口,速率支持 10Mbit/s 或 100Mbit/s,用于连接无线图传模块。其他接口包括两个标准的 RS232 串口,红外 IR、RS485 接口等,其中 RS232 串口可支持 1200~115200 bit/s 波特率的收发,分别用于控制云台和接收 GPS/IMU 模块的时间、姿态和位置等信息。GPS/IMU 模块选用诺瓦泰 SPAN-IGM-A1 一体式 MEMS 组合导航系统,该模块具有体积小、重量轻和性能高等优点,通过特有的紧耦合技术,融合各传感器原始测量数据,可以输出包括位置、姿态、速度、高程、角速度和加速度等导航状态信息,其中 IMU 和 INS 定位数据更新率高达 200 Hz,支持 USB、RS232 和 CAN 等多种接口,本方案中选用 RS232 接口和 Hi3520D 连接。

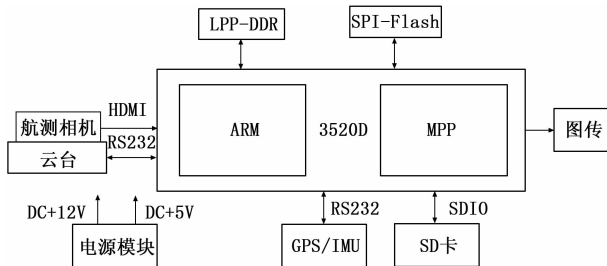


图 4 机载端视频处理平台组成示意图

3 无人机视频信息叠加的实现

由标校方法及流程可知,确定无人机平台航测相机拍照瞬间的精确位置是光学助降装置光学下滑道指示角度测量的关键,实现航测相机曝光时间与 GPS/IMU 的同步是关键工作之一。海思 SOC 芯片内包括 ARM 核和媒体处理平台 (MPP, Media Process Platform) 两部分,其中 ARM 核心处理器的主要功能是完成与外设的通信及控制,ARM 核外围接口丰富,通常支持实时时钟 RTC、串口 UART、IIC 接口、SPI 接口、SDIO 接口、USB 接口和网络接口,媒体处理平台包括音、视频处理相关的驱动,并向应用层提供封装好的 API 接口,可以控制硬件层芯片实现相应功能。MPP 对应用层屏蔽了硬件芯片的底层处理细节,支持应用软件快速开发多种软件功能。

本方案中,基于海思 Hi3520D 芯片的视频信息叠加使用海思提供的媒体处理平台 MPP^[7] 实现视频流的预处理、OSD 叠加、H.264 编码等功能,通过平台提供的 MPI 接口完成相关功能。MPP 内部视频码流处理流程如图 5 所示。

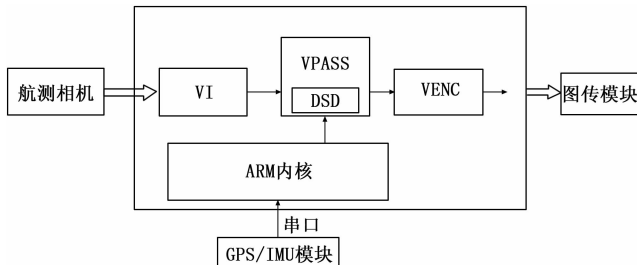


图 5 MPP 内部码流处理流程

MPP 内部功能主要可分为:视频输入 (VI)、视频处理子系统 (VPSS) 和视频编码 (VENC) 等功能子模块。VI 接口模块,作为视频接口 (如 HDMI) 的输出接收端,将原始视频数据导入到媒体处理平台存入到指定的内场区域。视频采集模块 VI 采集的视频首先输入到视频物理通道,然后送入到视频处理子系统 VPSS 对图像进行统一预处理,如去燥、缩放和锐化等,视频数据在 VPSS 处理完成后进入 VENC 子模块,在 VENC 中进行 H.264 压缩编码。

无人机航测视频信息叠加流程如图 6 所示,主要工作包括初始化媒体处理平台、启动视频处理子系统、开启视频编码器,最后打开视频输出通道。

各功能模块工作流程如下:

- 1) 系统初始化,包括系统时钟的初始化、GPIO 口的初始化和主线程的状态设置;
- 2) 视频信息叠加线程初始化,等待采集模块配置完成,主要包括配置视频的高度、宽度、是否隔行、帧率等信息的配置。同时初始化 MPP 系统为后续模块提供开发平台并初始化 MPP 视频缓存池,同时创建视频缓存池;
- 3) 视频流送入到 VI 通道,完成视频物理通道的参数配置和绑定,确保输入视频和通道属性的一致;

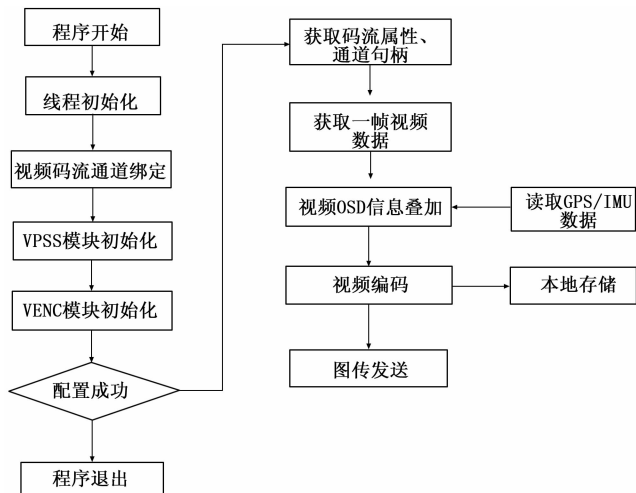


图6 视频信息叠加流程图

4) 完成视频流通道绑定后, 分别进行 VPSS 模块和 VENC 的参数配置, 本平台将编码器码流类型设置为 H. 264, 编码器帧率控制方式设置为 CBR 模式;

5) 若相关子模块均配置成功, 则从公共视频缓存池数据流中按视频帧获取视频码流, 当检测到帧同步头标志时, 调用 OSD 子程序, 同时从串口缓存中读取 GPS/IMU 模块发送的最新时间、位置、姿态等信息, 进行视频信息叠加;

6) 完成 OSD 信息叠加后, VENC 模块调用 API 接口, 根据 H264 协议对叠加信息后的视频流进行编码压缩;

7) VENC 编码模块完成 H264 编码后, 编码模块释放内存, 同时 Linux 系统下的码流接收线程对编码后的视频流分两条路径进行处理, 将主码流保存在机载端存储器中, 次码流送入到网络接口经图传发送至地面显控端。

4 整机调试与性能分析

各功能模块调试成功后, 按照无人机标校系统方案整合, 进行联合调试。视频流分辨率配置 1080P@30fps, GPS/IMU 模块的数据输出率为 100 Hz, 串口速率配置为 115200 bit/s。图 7 为视频信息叠加效果图, 本硬件设计通过样机验证, 可实现对视频流的实时接收、处理和信息叠加。除 GPS/IMU 模块输出的信息外还包括相应的飞控信息, 便于飞手掌控无人机的状态信息。验证效果表明, 图像清晰流畅, 运行稳定无卡顿现象, 单帧视频图像上能叠加毫秒级的时间信息。

由于 GPS/IMU 模块输出信息与视频帧未能完全同步, 在进行信息叠加时会有一定的时间误差, 如图 8 所示。影响视频帧与 GPS/IMU 模块输出信息的同步精度主要有两方面因素: 一是 GPS/IMU 模块的数据输出率为 100 Hz, 叠加时时间不确定度为 20 ms; 二是商用 Linux 系统为非实时系统, 涉及线程切换时会有一定的延时。文献^[8]运用相关工具对切换时间进行统计, 标准 Linux 内核峰值达到 500 μ s, 最高甚至达到 9166 μ s。综合上述两类误差, 其时间同步误差最高可达 30 ms, 均值在 15 ms 左右。考虑到实



图7 视频叠加效果图

际标校时选用多旋翼无人机, 在悬停拍摄时, 无人机悬停速度较低, 通常在 1m/s 内, 由于时间不确定造成的定位误差在 1~2 cm, 满足标校系统精度需求。

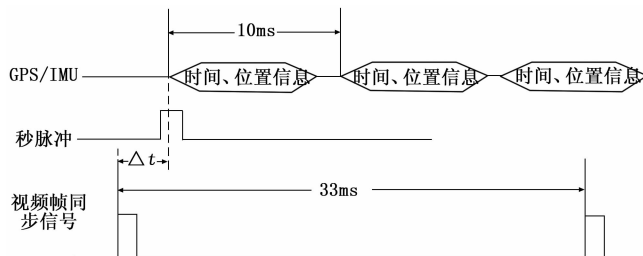


图8 GPS/IMU 模块输出信息与视频同步误差示意图

5 结语

无人机平台应用于光学助降系统光学下滑道标校时, 需要获取无人机标校平台航测相机瞬时成像的精确时间, 进而确定对应时刻的航测相机成像中心位置的精确位置和姿态信息。本文在梳理航测相机视频帧和 GPS 信息同步方法的基础上, 提出了一种基于 SoC 的无人机视频信息叠加方法。充分利用 SoC 内的嵌入式 ARM 核和媒体处理平台资源, 具有开发灵活、功耗低和集成度高等优点。

参考文献:

- [1] 钟兴泉. 航母着舰引导系统标校方法研究 [J]. 现代导航, 2014, 5 (03): 175-178.
- [2] 杨 卿, 王加亮. 舰载机光学助降装置校飞方法研究 [J]. 硅谷, 2014, 7 (05): 61-62.
- [3] 姬新阳, 高山, 陈庆良, 等. 基于无人机 GPS 的测量雷达标校方法研究 [J]. 火控雷达技术, 2017 (1).
- [4] 李知宇, 刘爱东, 王 丰. 基于无人机的嵌入式标校系统 [J]. 兵工自动化, 2018, 37 (02): 6-9.
- [5] 胡恩勇. 光波束着舰引导系统研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
- [6] 海思半导体有限公司. Hi3520D/Hi3515A/Hi3515C H. 264 编解码处理器用户指南 [Z]. 2013.
- [7] 深圳市海思半导体有限公司. HiMPP V3.0 媒体处理软件开发参考 [G/OL] [Z]. 2016.
- [8] 刘宇帅, 苏 宇, 王金波, 等. 航天嵌入式 Linux 实时性能优化研究 [J]. 航天控制, 2018, 36 (03): 57-62.