

# 应用于纳型无人机视觉场景数据集构建的图像采集系统

凤雷, 付洪硕, 吴瑞东, 陈浩林, 刘冰

(哈尔滨工业大学 电子与信息工程学院, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 纳型无人机具有体积小、功耗低的优势, 在物联网、智能感知等领域中有重要的应用前景; 对于纳型无人机的机载目标检测和目标跟踪等任务, 视觉场景数据集对于机载算法的训练具有重要作用; 由于受到体积和功耗等因素的限制, 使用无人机机载的视觉系统进行场景数据的采集存在传输帧率慢、传输中需要进行数据压缩等问题, 进而导致构建的数据集与机载算法处理的实际图像不匹配; 因此, 为了构建一个高质量的数据集, 该图像采集系统以匹配纳型无人机视觉场景数据为目的进行设计, 系统通过低功耗图像传感器 HM01B0 制作的模组获取图像数据, 通过 ZYNQ 的 PL 单元完成图像数据的处理和图像传感器的控制, PS 单元完成图像数据存储和各任务间的调度; 实验结果表明, 该图像采集系统最高可以达到  $320 \times 320$  分辨率下 45 帧/s 的采集速率, 与纳型无人机机载视觉系统图像获取速率相匹配, 同时采集的图像质量清晰, 能够满足纳型无人机视觉场景数据集构建的需求。

**关键词:** 无人机; 图像采集系统; ZYNQ; 视觉场景数据集; FreeRTOS

## Image Acquisition System Applied to the Construction of Visual Scene Datasets of Nano UAV

FENG Lei, FU Hongshuo, WU Ruidong, CHEN Haolin, LIU Bing

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** An Nano-UAV has the advantages of small size and low power consumption, and it has important application prospects in the fields of Internet of Things, intelligent perception and so on. Visual scene datasets play an important role in the training airborne algorithms for such tasks as target detection and target tracking of the Nano-UAV. Due to the limitations of volume and power consumption, the scene data collection using the UAV on-board visual system has some problems, such as slow frame rate, data compression required in the transmission, etc., which results in the constructed dataset does not match the actual image processed by the airborne algorithm. Therefore, in order to build a high-quality dataset, the image acquisition system is designed to match the visual scene data of the Nano-UAV. The system obtains image data through the module made by low-power image sensor HM01B0, completes the image data processing and image sensor control through the PL unit of ZYNQ, and completes the image data storage and scheduling between tasks by the PS unit. The experimental results show that the image acquisition system can reach a maximum acquisition rate of 45 frames/s at  $320 \times 320$  pixels resolution, which matches the acquisition rate of the image of the Nano-UAV on-board visual system, and the image quality collected at the same time is clear, which can meet the requirements of the Nano-UAV visual scene dataset construction.

**Keywords:** UAV; image acquisition system; ZYNQ; visual scene dataset; FreeRTOS

## 0 引言

无人机具有无人员伤亡、成本低、尺寸小、机动性高等优点<sup>[1-2]</sup>, 现如今在地理测绘<sup>[3]</sup>、灾害救援<sup>[4]</sup>、遥感监测<sup>[5]</sup>、农业辅助<sup>[6]</sup>等多方面有着广泛应用, 而无人机的小型化是近年来重要的发展方向之一<sup>[7-10]</sup>。纳型无人机是一种 10 厘米尺寸级别的无人机<sup>[11]</sup>, 其具有尺寸更小、功耗更低的特点。纳型无人机可以到达管道内部、狭小室内、建筑

缝隙等人类或标准尺寸的无人机难以到达的地方, 具有更高的隐蔽性。多个无人机之间可以组合成为无人机集群使用<sup>[12]</sup>, 与人工智能算法相结合可以增强其自主能力<sup>[13]</sup>, 在物联网等领域有广泛应用。

对于具有自主能力的纳型无人机而言, 在全板载行人跟踪或目标检测的应用场景下, 由于纳型无人机对功耗重量的严格限制, 一般需要采用轻量化的深度学习算法, 该类算法的性能常常依赖训练数据集与应用场景的匹配度。

收稿日期: 2022-07-09; 修回日期: 2022-07-30。

基金项目: 国家自然科学基金(62171156)。

作者简介: 凤雷(1978-), 男, 黑龙江兰西县人, 博士, 副教授, 主要从事自动测试系统方向的研究。

通讯作者: 刘冰(1982-), 男, 黑龙江哈尔滨市人, 博士, 副教授, 主要从事自动测试系统、图像处理和 FPGA 加速方向的研究。

引用格式: 凤雷, 付洪硕, 吴瑞东, 等. 应用于纳型无人机视觉场景数据集构建的图像采集系统[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(2): 230-236.

但对于目标检测领域常用的诸如 VOC 和 COCO 等数据集而言, 虽然这些数据集的目标类型较多、场景丰富、图像质量高<sup>[14-16]</sup>, 但是这些数据集中的图像与纳型无人机视觉系统感知到的应用场景图像并不匹配。由于受到功耗约束, 纳型无人机上的视觉传感系统采集到的应用场景图像数据类型通常为低分辨率的灰度图像数据 (例如 Crazyfile 2.0 上的视觉传感系统采集的图像是  $320 \times 320$  分辨率灰度图像<sup>[9]</sup>), 相比于 VOC 和 COCO 等数据集中的图像数据, 这些灰度图像能够提供的信息较少, 同时还会受到应用场景的光照等条件影响。因此, 纳型无人机处理的图像与现有目标检测数据集中的图像并不匹配, 不能使用常见的目标检测数据集进行机载目标检测算法的训练。所以, 构建一个与纳型无人机视觉系统相匹配, 图像内容和图像参数可以适用于纳型无人机视觉场景的数据集是有必要的。在上述需求下, 本文目的是设计一个基于嵌入式处理器的, 能够应用于纳型无人机视觉场景数据集构建的图像采集系统。

当前对于基于嵌入式处理器的图像采集系统的研究主要聚焦于低功耗和通用性上, 例如付东等人基于 stm32 设计了低功耗图像采集系统<sup>[17]</sup>, 系统主要注重于低功耗的无线传输, 单次采集只能传输一帧图片; 甄国涌等人基于国产 Hi3516D 芯片设计了低功耗采集系统, 系统功耗为 2.1~2.3 W, 但系统帧率固定为 25 帧<sup>[18]</sup>。这些研究工作中图像采集的帧率较低, 不适用于在行人跟踪等对图像帧率需求较高的任务中使用。陈锐基基于 FPGA 实现了 MIPI 接口的高帧率图像数据采集<sup>[19]</sup>。唐宇枫等使用 ZYNQ UltraScale+ 完成了 LVDS 接口的 80 帧/s 的图像数据传输<sup>[20]</sup>。上述研究主要适配高速视频传输接口的图像传感器, 这类图像传感器功耗较高, 无法应用在纳型无人机视觉场景的图像采集中。综上所述, 这些研究工作与纳型无人机应用场景不匹配, 不适用于纳型无人机应用场景数据集的构建。而纳型无人机自身携带的视觉系统由于其设备的功耗限制以及使用场景, 只能通过无线的方式传输帧率有限且经过压缩的图像, 不满足构建数据集的要求。因此本文针对没有适配于纳型无人机视觉场景下的高帧率图像数据采集系统的问题, 设计了一个能够应用于构建纳型无人机视觉场景数据集的高帧率图像数据集采集系统。系统采用 ZYNQ 作为主控芯片, 将 ARM 的控制功能与 FPGA 的并行处理的优势相结合<sup>[21]</sup>, 实现图像的采集、存储、实时显示以及图像传感器的控制功能。文章从系统的硬件设计和软件设计两方面进行介绍, 最后对系统的帧率和功耗等各项指标进行测试, 验证了方案的有效性。

## 1 系统硬件设计

### 1.1 硬件总体设计

图像采集系统的设计需要满足以下几个要求: 1) 以 QVGA 分辨率下最高 60 帧的帧率及  $320 \times 320$  分辨率下最高 45 帧的帧率取图像数据; 2) 单次连续存储超过 20 S 以上的图像数据; 3) 具有图像实时显示功能, 用于调整采集系统的拍摄角度、拍摄内容和图像传感器的曝光度等参数;

4) 摄像头参数可调 (如曝光度, 分辨率, 输出帧率等)。

系统设计如图 1 所示, 其中圆角矩形代表 ZYNQ 的 PL 端使用的模块。系统以 ZYNQ 为主控芯片, 通过 Himax HM01B0 摄像头模组完成图像获取, DDR 完成图像缓存; 通过 VGA 接口在屏幕上完成实时显示; 通过按键来调整摄像头参数; 通过理论传输速度 98 MB/S 的高速 SD 卡实现高速图像存储。

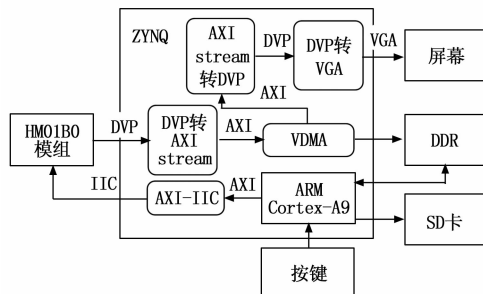


图 1 系统设计框图

### 1.2 图像采集

#### 1.2.1 图像传感器

图像传感器作为图像获取的重要一环, 决定了采集到的图像的分辨率、传输格式等重要参数。为了保证机载目标检测、目标追踪等算法的效果, 在图像传感器选取上要求采集到的图像数据与纳型无人机平台上获取到的实际图像一致, 因此我们选取了 Himax 公司的 HM01B0 作为图像传感器获取图像数据。

HM01B0 支持 RGB 和灰度格式的 45 帧  $320 \times 320$  分辨率的图像以及 60 帧 QVGA 分辨率图像输出, 其图像输出接口采用常见的 DVP (digital video port) 接口。HM01B0 的主要特点在于其重量轻、功耗低, 正常工作时的平均功率为 2 mW, 与常见的功率为数十至数百毫瓦的摄像头如 OV7670、OV5640 等相比功率降低了数十倍。

#### 1.2.2 摄像头模组设计

图像传感器在工作时一般需要提供多个不同的电压以及一个稳定的时钟源, 因此在将图像传感器接入 ZYNQ 最小系统板或开发板之前, 需要完成电压转换和时钟源的供给工作。例如 HM01B0 在工作时需要为其提供 2.8 V、1.5 V 电压以及一个 3~36 MHz 的时钟。

为了提高系统的通用性, 本文设计了一个 HM01B0 图像传感器模组, 引出必要的数据和同步信号, 并使其无需额外的外围电路和时钟配置, 仅提供 3.3 V 供电即可使 HM01B0 正常工作。该模组内部主要包括供电电压转换、数据线引出以及向图像传感器提供独立稳定时钟的功能。模组如图 2 所示, 图像传感器引脚通过柔性 PCB 接入模组, 模组供电脚及数据引脚通过间距为 2.54 mm 的连接器引出。

#### 1.2.3 初始化及参数配置

在开始传输图像数据之前, 需要对图像传感器进行初始化和参数配置, 具体过程如下。

使用 xilinx 提供的 AXI-IIC 模块, 通过 IIC 接口向模块发送要写入的寄存器值, 完成对图像传感器的初始化以及

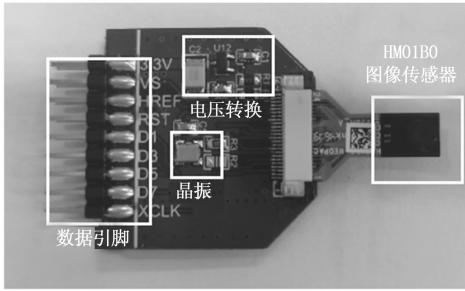


图 2 HM01B0 模组

对分辨率、曝光度等内部参数的配置。HM01B0 关键寄存器配置如表 1 所示。表中为图像传感器以 320 \* 320 分辨率输出最高速率 45 帧的灰度图数据的关键寄存器配置值。

表 1 HM01B0 关键寄存器配置

寄存器地址	功能	设定值
0x3010	QVGA 使能	0x00
0x0390	像素合并设置	0x00
0x0383	像素合并设置	0x01
0x0387	像素合并设置	0x01
0x0340	帧率设置	0x02
0x0341	帧率设置	0x16
0x0342	帧率设置	0x01
0x0343	帧率设置	0x78
0x0360	时钟分频	0x0e

## 2 系统固件设计

根据 1.1 节中的系统设计框图可知，系统在逻辑功能上需要完成格式转换和 HM01B0 模组配置两个任务。格式转换任务的目的是将图像数据分别转换成为 DDR 缓存和屏幕显示相匹配的数据格式。HM01B0 模组配置任务则是通过 IIC 来完成 HM01B0 初始化并改变其配置参数。因此下面主要从图像缓存和屏幕实时显示两部分阐述系统固件设计。

### 2.1 图像缓存

由于图像数据的采集速度与图像处理和储存速度不一致，无法直接将采集到的数据直接存储到 SD 卡中，因此图像缓存机制是十分重要的。图像缓存通过开辟一块缓冲区的方式将图像采集和图像数据使用分离开来，从而解决存取数据的同步问题。下面将具体阐述图像缓存的相关设计。

#### 2.1.1 VDMA 缓存

图像数据在存储进入 SD 卡之前，通过其外置的 DDR 进行缓存，PL 端不经过 ARM，直接通过 VDMA (video direct memory access) 对图像数据进行存取。

VDMA 是专用于图像数据存取的 DMA 模块，DMA 可以实现不经过 CPU 的直接访问存储，从而达到加快存取速度和节约 CPU 计算资源的目的。系统中获取到的图像数据通过 VDMA 缓存进 DDR 中，供后续图像显示和存储使用。

VDMA 的输入为 AXI 总线形式。AXI 总线是一种通用的串行总线协议，在 ZYNQ 中被广泛用于模块间的数据传输以及 PL 端和 PS 端之间的数据传输。因此 DVP 数据在输

入 VDMA 之前，需要通过 DVP 转 AXI stream 模块将其转换为 AXI stream 格式。

#### 2.1.2 多帧缓冲机制

由于 SD 卡存储的速度与图像获取的速度不一致，为了避免在单个存储空间中，图像数据的存入与读出同时进行而导致的图像撕裂问题，不能同时进行读取和写入操作。因此将 VDMA 设置为多个帧缓冲模式，只要保证写入区域与读出区域不一致，读写操作就可以同时进行，这保证了图像数据获取的实时性。

如图 3 所示。在存储空间内开辟 3 个帧缓冲区域，配置 VDMA 循环存入 3 个存储空间。每次 VDMA 完成存入后会输出当前存入的存储空间位置信号，供数据读取使用。图中实线表示为当前时刻的图像数据的流向，虚线表示上一次向缓冲区写入和读出数据时图像数据的流向。

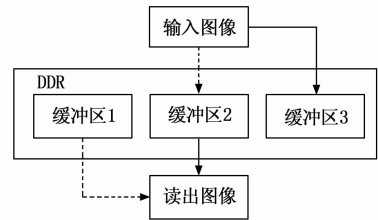


图 3 多帧缓冲机制示意图

若当前存入和读取的缓冲区号相同，则仍然会产生图像撕裂问题，因此在每次循环存入前，会首先获取 VDMA 当前正在读取的缓冲区号，若即将存入的区号与其相同，则跳过当前区域，避免同读同写的问题产生。如图 4 所示，某时刻写入图像数据的区号为 1，读出图像数据的区号为 2，若写入图像数据操作完成后，读出操作仍未结束，则下一帧图像写入将跳过 2 号缓冲区，向 3 号缓冲区写入数据。

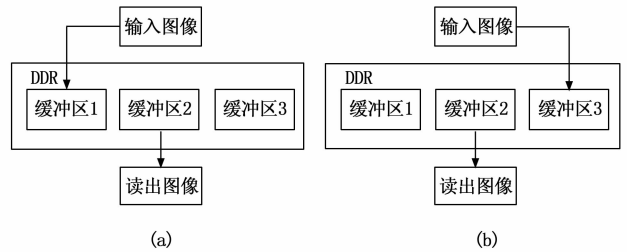


图 4 动态缓冲机制示意图

### 2.2 屏幕实时显示

为了保证实际采集和存储到的图像内容，位置、角度、曝光度等参数符合预期，便于使用者实时观察到采集到的图像的效果和当前系统运行的状态，系统增加了屏幕实时显示功能。

在 VDMA 存储到完整一帧图像后，仍通过 VDMA 读取该帧的图像数据。VDMA 的输出也为 AXI-stream 格式，通过 xilinx 官方提供的 AXI stream 转 DVP 模块，将 AXI stream 转换为 DVP 格式图像数据。图像显示部分通过 VGA 接口输出，在图像数据输出到屏幕显示前，需要进行如下改动。

首先, VGA 接口输出的图像数据应为一组 RGB 值。但是实际图像获取和存储过程均以灰度值的形式进行, 因此在输出为 VGA 之前需要将灰度值转换为 RGB。因此定义一个模块将灰度值的高五位作为 R 和 B 两个通道的值, 高六位作为 G 通道的值完成图像数据转换。

其次, 由于  $320 \times 320$  分辨率不是常见的屏幕分辨率, 输出图像的分辨率大小应与实际屏幕的分辨率相适应。因此设置 VDMA 读取的存储空间大小为实际屏幕分辨率大小, 实际画面大小以外的存储空间的数据应在初始化时清空, 这部分多余空间可以将其加以利用于图像获取的状态显示功能。

### 3 系统软件设计

根据上文对硬件系统设计的介绍可知, 采集系统需要实现的软件功能包括 VDMA 模块初始化配置数据传入、IIC 传输给摄像头模块的数据传入、SD 卡的数据写入以及按键检测和对应功能的执行。因此系统软件设计的主要目的是控制 ARM 与硬件进行交互和信息传递, 共同完成系统的功能。

软件系统设计流程如图 5 所示, 系统中的软件设计部分主要阐述在 PS 端即 ARMcortex-A9 中运行的软件程序, 包含有外设及模块初始化、按键检测和按键后对应功能处理 3 个部分。外设及模块初始化主要包含有 HM01B0 的初始化操作以及 VDMA 的初始化操作, 在 HM01B0 初始化完成后初始化 VDMA 以获得稳定的图像。按键检测方面, 为了便于按键后的事件处理以及按键功能的修改, 本系统采用了 freeRTOS 操作系统实现。对于按键后的功能处理部分, 系统将按键功能分为了录像功能和更改图像传感器参数的其他功能。

行方式, 为了充分利用计算资源, 使得多个任务之间协同工作, 本文采用了 RTOS (real time operating system) 实时操作系统作完成任务和任务之间的调度。

我们根据实际功能需求分析, 将软件划分为以下几类任务: 初始化、按键检测和功能执行任务。将这三类任务分别赋予不同的任务优先级: 初始化任务为最高优先级, 在任务创建结束后即开始执行初始化任务, 且令该任务仅执行一次。按键检测为第二优先, 单次按键检测完成后任务即挂起一段时间供其他任务执行。按键各类功能的执行设为第三优先, 各按键功能之间的任务优先级一致。在按键检测的空闲时间完成功能执行任务, 若按键未被按下则将任务挂起直至有按键按下。

为完成按键检测和功能执行两个任务之间的调度, 系统设置了多个信号量, 每个信号量对应一个任务, 并将信号量获取失败后的等待时间设为无限。此时初始化后由于没有按键按下, 功能执行任务无法获取信号量全部挂起, 直至按键检测任务检测到按键后, 释放对应信号量, 此时相应的功能执行任务开始执行。任务优先级设置如图 6 所示。

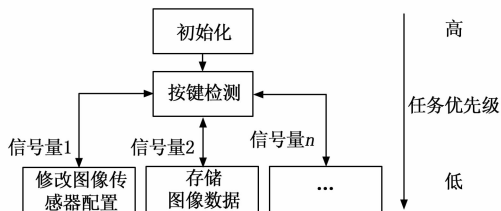


图 6 任务优先级设置

下面根据图 6 中的任务划分分别介绍每个任务的具体实现内容。

#### 3.2 系统初始化设置任务设计

系统初始化任务主要可以分为系统外设初始化和 PL 端的模块初始化两个方面。外设初始化完成对图像传感器 HM01B0 的配置, 模块初始化完成对 VDMA 的配置工作。

在系统外设初始化上, 我们建立了一个图像传感器初始化数组, 存放初始化的寄存器地址和寄存器值。遍历初始化数组, 向 AXI IIC 模块寄存器写入发送数据和发送命令控制其通过 IIC 与图像传感器通信, 启动图像传输。在 PL 端模块初始化上, 我们首先开辟好 VDMA 所需的帧缓冲空间, 之后通过修改 VDMA 寄存器来完成写入缓冲空间地址、读写数据尺寸以及 VDMA 的工作模式的工作。

#### 3.3 按键检测任务设计

按键检测任务主要完成按键的检测以及按键按下后的任务调度功能。该任务的主要流程如图 7 所示。

由于系统通过机械按钮进行输入, 在按键检测任务探测到按键按下后需要进行抖料操作, 即在按下延迟一段时间后再次探测按键是否被按下。在完成抖料仍探测到按键被按下后, 开始信号量指示当前按下的是哪个按键, 引导系统进入正确的任务中。

#### 3.4 图像采集状态显示流程

为了方便使用者操作并直观地观察到当前图像数据获

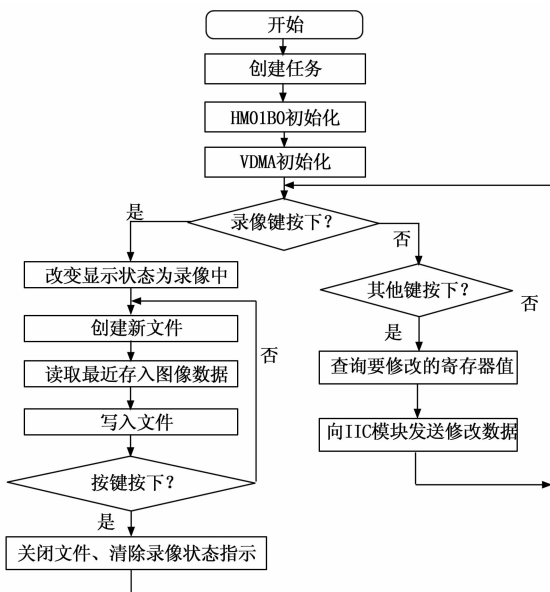


图 5 系统软件流程图

#### 3.1 RTOS 任务调度

ARM Cortex-A9 是单核处理器, 其内部程序执行为串

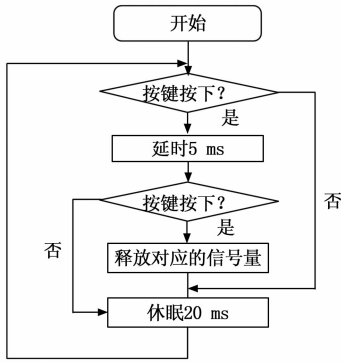


图 7 按键检测任务流程图

取状态，系统添加了状态显示功能。由于显示图像的分辨率为  $320 \times 320$ ，而显示器支持的最相近的分辨率为  $480 \times 640$ ，即显示屏上存在一片空白区域，我们利用了这部分空白区域对图像采集状态进行显示。图像采集状态显示流程如图 8 所示。

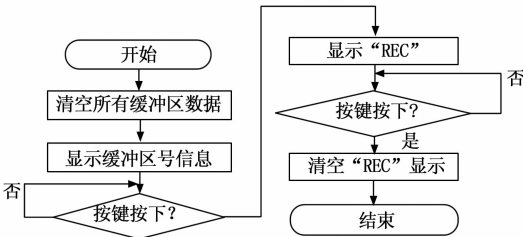


图 8 图像采集状态显示流程图

首先，为了显示当前图像是否正常显示，在  $320 \times 320$  分辨率的画面显示部分以外的存储区域里选取一小块区域，给 3 个不同的缓冲区赋予不同的值，用于区分当前缓冲区号。此时若观察到屏幕在该区域的值循环变化，说明 VD-MA 在循环地将图像数据写入存储空间中，且能够正确地按照顺序将其读出，以此判断图像获取功能正常运行。

其次，在使用者按下录像键后，在 3 个缓冲区赋予相同的“REC”字样，表明当前正在记录连续图像数据，录像结束后将该处的“REC”清空，以此来标识当前是否在进行连续图像采集。同时，对于其他按键我们采用同样的方法来标识当前按下的按键要执行的功能。

### 3.5 图像存储任务设计

系统的图像存储任务通过 FatFs 文件系统完成，FatFs 是为嵌入式系统设计的独立于硬件架构的通用 FAT (file allocation table) 文件系统模块，其具有占用资源少、支持 RTOS 和可以不做任何修改直接应用于 PS 端的 ARM 中的优点。

以一次视频数据存储过程为例，其主要流程如下，首先创建一个 FIL 文件对象，用于后续操作使用，新建文件类型为 .bin 文件，假设第 N 次进入视频存储功能，则将该次视频文件命名为“Nvideo.bin”。之后以帧为单位向该 FIL 对象写入图像数据，写入来源为最近一次完成存储的图像缓冲区位置的数据。在写入之前要校验当前写入数据的缓冲区位置与上一次写入数据的缓冲区位置是否一致，若

一致则认为当前帧图像数据未写入完成，待其位置变化后再进行写入。

由于存储格式为 .bin 文件，因此实际使用时在 PC 端用 python 语言设计了一个文件转换工具，通过该工具将 .bin 文件根据图像分辨率以帧为单位拆分并转换为 jpg 格式的图像，再以特定帧率将图像拼接成为最终的视频数据输出到指定位置。

## 4 实验结果与分析

系统设计的主要目标是完成一个能够应用于构建纳型无人机视觉场景数据集的高帧率图像数据集采集系统，因此本文的实验主要从系统的帧率、图像质量、功耗 3 个方面进行评价。

### 4.1 实验装置

本文设计的图像采集系统实物如图 9 所示。在该系统中，使用 ZYNQ XC7Z020 与 HM01B0 模组相连接，获取图像数据，VGA 接口连接显示屏作为实时图像输出，使用 SanDisk ultra 32 GB 的 SD 卡进行图像存储。



图 9 图像采集系统实物图

### 4.2 实验方法

实验主要分为以下几个部分：

1) 测试获取到的图像数据的帧率。令系统采集并存储 200 帧图像，计算读取全局计时计数器对应的寄存器值的差值，将差值换算得出存储完成这些帧图像时所需的时间，进而换算得出其平均帧率。全局计时计数器转换为时间间隔的公式如式 (1) 所示：

$$t = \frac{(n_{end} - n_{start}) \times 10^6}{N} \quad (1)$$

其中：t 的单位为  $\mu s$ ， $n_{end}$  和  $n_{start}$  分别为结束和起始时间的全局计时计数器值；N 为每秒计数的数量，对于给定型号芯片 N 为定值。

测量传感器硬件可以输出的最大帧率下系统存储的图像帧率，根据纳型无人机视觉场景的应用要求，系统的帧率应达到图像传感器硬件所能够传输的最大帧率。

2) 在纳型无人机视觉场景下无法获得理想的标准图像作为图像质量评价的参考，因此该图像质量评价属于无参考图像质量评价问题，常用方法为主观评价或对图像的统计特性进行分析的方法间接评价图像质量。

在采集到的图像数据集中任选其中一帧图片，对图片进行主观评价，再计算该图片的均值、标准差和梯度来评价图像的平均亮度、灰度值分散程度和细节纹理。其中图像亮度应处于像素值范围的中间位置、标准差应尽可能大、

梯度图应能够较为清晰地分辨每个物体的轮廓信息。实验以  $320 \times 320$  分辨率配置下获取到的某一帧图像为例评价图像质量。

3) 通过 vivado 进行功耗评估, 并根据供电电源提供的电压和电流值得出实际运行时系统的功耗。

4) 以调整图像传感器的曝光参数为例, 测试图像传感器参数调整的功能是否能够正常运行。

### 4.3 实验流程及数据分析

1) 依据上文的实验方法, 将图像传感器初始化配置为  $320 \times 320$  和 QVGA 分辨率下的最高输出帧率, 记录某一时刻起 20 s 内的图像数据。通过串口打印出每存储完成 200 帧图像后全局计时计数器增加的数量, 根据式 (1) 换算得出系统运行的帧率。

帧率测试得到的结果如表 2 所示。可见将 HM01B0 设置为  $320 \times 320$  分辨率最大输出帧率的情况下, 获取到的图像帧率可达 45 帧以上, QVGA 分辨率最大输出帧率时图像帧率可达 60 帧以上, 达到了图像传感器硬件所能够传输的最大帧率。

表 2 系统连续采集帧率测试结果 帧/秒

分辨率	320 * 320	QVGA
测试 1	46.332	60.646
测试 2	46.504	61.315
测试 3	46.389	61.026
测试 4	46.108	61.340
测试 5	46.427	61.051
测试 6	46.128	60.636
测试 7	46.089	61.332
测试 8	46.238	61.020
测试 9	45.908	61.321
测试 10	46.172	61.645
均值	46.230	61.133
方差	0.030 18	0.092 82

2) 分别选取人、水杯和盒子作为画面主要内容, 根据上文的实验方法, 记录图像采集系统获取到的图像数据。任选其中的某一帧图片对图像质量进行主观评价, 并计算图像的均值、标准差和梯度。

图像采集系统获取到的图像及计算后的梯度如图 10 所示。在图像数据集中分别选取第 244、10、10 帧作为评价对象, 对图像的统计数据进行计算。由梯度图可见图片的边缘部分轮廓较为清晰。图像的像素均值和标准差的计算结果如表 3 所示。

表 3 图像采集系统获取图像的均值、标准差

编号	图像内容	像素均值	标准差
a	人	159.74	54.65
b	水杯	175.47	44.16
c	盒子	184.19	48.20

由计算结果可得, a 图片均值位于灰度图取值  $0 \sim 255$  范围的较中间位置, 图片的亮度适中, b、c 两张图片像素

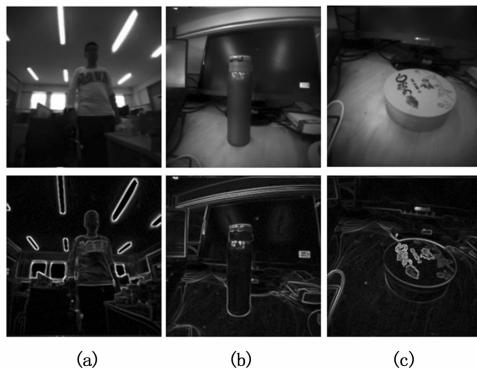


图 10 图像采集系统获取的图像及计算后的梯度图

均值处于中上位置, 主要原因在于其背景颜色较浅; 三张图片的标准差较大, 表明其灰度值较为分散, 综合来看, 系统采集到的图像质量较好。

3) 将系统接入电源, 观察电源供给的电压和电流值, 并计算得出系统实际运行功耗。

将图像传感器设置为 45 帧  $320 \times 320$  分辨率时, 系统实际运行的功耗测量结果如图 11 所示。此时系统运行的供电电压为 5.00 V, 电流为 0.48 A, 系统整体的功耗为 2.40 W。

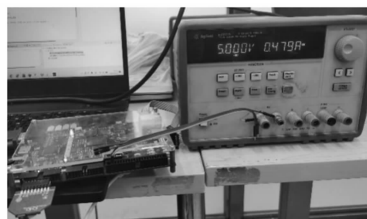


图 11 系统实际运行功耗测试结果

4) 在图像采集系统运行过程中按下曝光度修改按键, 观察屏幕显示的图像前后区别来验证按键功能运行情况。

按键后的结果如图 12 所示, 可见按下按键后不同曝光度下对灯光的拍摄效果有明显差别。

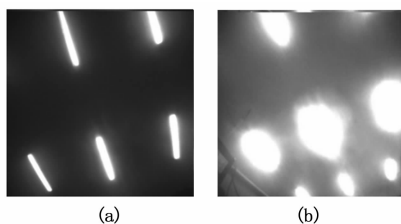


图 12 图像传感器曝光度修改前后对比

综上所述, 图像采集系统的帧率满足设计要求, 采集到的图像质量较好, 图像传感器参数调整功能可以正常运行。

## 5 结束语

本文针对纳型无人机视觉场景下的获取的图像与常用图像数据集不匹配的问题, 设计了一个应用于构建纳型无人机视觉场景数据集的图像采集系统。系统采用了 HM01B0 模组作为图像获取、异构芯片 ZYNQ 作为主控芯片、SD 卡作为存储介质, 软件上通过 FreeRTOS 实现任务

控制。经测试,系统可以完成 45 帧  $320 \times 320$  分辨率和 60 帧 QVGA 分辨率的连续图像数据采集存储,且获取到的图像质量较好,通过显示屏可以进行实时图像和系统状态显示,通过按键完成图像传感器的参数调整。系统采用 DVP 接口作为图像传输接口,具备一定的通用性,可以广泛应用于小型机器人等其他场景下的高帧率灰度图像数据的采集当中。

#### 参考文献:

[1] 牛轶峰,肖湘江,柯冠岩. 无人机集群作战概念及关键技术分析 [J]. 国防科技, 2013, 34 (5): 37-43.

[2] 祁圣君,井立,王亚龙. 无人机系统与发展趋势综述 [J]. 飞航导弹, 2018 (4): 17-21.

[3] IRENE A, FRANCESCO N, MARKUS G, et al. An image-based approach for the co-registration of multi-temporal UAV image datasets [J]. Remote Sensing, 2016, 8 (9): 779.

[4] 本刊编辑部. 防汛救灾实战中的无人机遥感监测 [J]. 中国减灾, 2021 (23): 10-11.

[5] 李德仁,李明. 无人机遥感系统的研究进展与应用前景 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2014, 39 (5): 505-513, 540.

[6] GRENZDÖRFFER G, ENGEL A, TEICHERT B. The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture [J]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008, 31 (B3): 1207-1214.

[7] 邹湘伏,何清华,贺继林. 无人机发展现状及相关技术 [J]. 飞航导弹, 2006 (10): 9-14.

[8] CAI G, DIAS J, SENEVIRATNE L. A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: recent advances and future development trends [J]. Unmanned Systems, 2014, 2 (2): 175-199.

[9] PALOSSI D, SINGH J, MAGNO M, et al. Target following on nano-scale unmanned aerial vehicles [C] // 2017 7<sup>th</sup> IEEE In-

(上接第 177 页)

[11] DERLAGA J M, MORRISON J H. Statistical analysis of the sixth AIAA drag prediction workshop solutions [J]. Journal of Aircraft, 2018, 55 (4): 1-13.

[12] MARINI M, PAOLI R, GRASSO F, et al. Verification and validation in computational fluid dynamics: the FLOWNET database experience [J]. JSME International Journal, 2002, 45 (1): 15-22.

[13] HIRSCH C. The development of a framework for CFD validation and best practice: the QNET-CFD knowledge base [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2006, 19 (2): 105-113.

[14] 陈树生,刘丽媛,阎超,等. CFD 软件自动化验证确认云平台设计与实现 [J]. 航空学报, 2017, 38 (3): 120209.

[15] 周斌,杨福军,张培红,等. 一种 CFD 软件验证与确认数据库平台 [P]. 中国: CN1125599351A, 2021.

[16] 李洪涛. 基于数据库的数据质量检查 [J]. 中国管理信息化, 2021, 24 (23): 3.

[17] 赵文争. 数据质量管控系统的设计与实现 [D]. 北京: 北京

ternational Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASD). IEEE, 2017.

[10] ZHANG X, XIAN B, ZHAO B, et al. Autonomous flight control of a nano quadrotor helicopter in a GPS-denied environment using on-board vision [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62 (10): 6392-6403.

[11] PALOSSI D, ZIMMERMAN N, BURRELLO A, et al. Fully onboard ai-powered human-drone pose estimation on ultra-low power autonomous flying nano-UAVs [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2022, 9 (3): 1913-1929.

[12] 段海滨,李沛. 基于生物群集行为的无人机集群控制 [J]. 科技导报, 2017, 35 (7): 17-25.

[13] 唐强,朱志强,王建元. 国外无人机自主飞行控制研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2004 (3): 418-422.

[14] 赵永强,饶元,董世鹏,等. 深度学习目标检测方法综述 [J]. 中国图象图形学报, 2020, 25 (4): 629-654.

[15] 黄健,张钢. 深度卷积神经网络的目标检测算法综述 [J]. 计算机工程与应用, 2020, 56 (17): 12-23.

[16] LIN Y, MAIRE M, BELONGIE S, et al. Microsoft COCO: common objects in context [C] // European Conference on Computer Vision, Springer International Publishing, 2014.

[17] 付东,张国平,汪馨童,等. 基于 STM32 的低功耗图像采集系统设计 [J]. 电子测量技术, 2020, 43 (19): 138-143.

[18] 甄国涌,曹飞,陈建军,等. 基于 Hi3516D 的低功耗图像采集系统的设计 [J]. 电子技术应用, 2021, 47 (7): 102-105.

[19] 陈锐弦. 基于 FPGA 和 MIPI CSI-2 的双摄像头图像采集系统设计 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2021.

[20] 唐宇枫,刘一清. 基于 ZYNQ UltraScale+ 的高速图像数据采集系统设计 [J]. 电子设计工程, 2022, 30 (11): 173-177.

[21] MIKE S. Zynq-7000 EPP 为创新开启新时代 [J]. 电子技术应用, 2011, 37 (7): 22-24.

邮电大学, 2021.

[18] 叶爱东,陈金林,张鹤. 一种模型驱动空间数据库质量检查平台构建 [J]. 测绘通报, 2020 (3): 113-117.

[19] GREENBERG J. Big metadata, smart metadata, and metadata capital: toward greater synergy between data science and metadata [J]. 数据与情报科学学报: 英文版, 2017, 2 (3): 19-36.

[20] 王敬,王彦兵,樊向伟. 国外科研数据知识库元数据方案的调研与分析 [J]. 大学图书情报学刊, 2021, 39 (1): 127-134.

[21] LI H, PENG Z, YAO Z, et al. Metadata system modeling and testing [C] // International Conference on Electronics Information & Emergency Communication. IEEE, 2016: 224-227.

[22] 郑小鹏,张丽晔,彭健,等. 航天试验数据管理系统的设计与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (12): 4154-4156.