

健康服务机器人室内导航视觉传感器 研究与开发

孙宝, 扬世恩, 彭章君

(西南科技大学 计算机科学与技术学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 针对健康服务机器人室内导航的应用需求, 设计出一种基于 STM32F429 的嵌入式导航视觉传感器, 内嵌 500 万像素 CMOS 图像传感器和拥有高性能无线 SOC 的 ESP8266, 此次开发的视觉传感器, 不是一般的 CMOS 图像传感器, 而是综合了图像感知、图像处理、无线通信及节电唤醒等等功能于一体的智能化微型装置, 即眼睛加大脑; 测试, 该导航视觉传感器能够以每秒 3 次的速度向服务机器人发送位置, 完全满足室内移动机器人的移动需求。

关键词: 健康服务机器人; 视觉传感器; 导航与定位; 无线通信技术

Research and Development of Vision Sensor for Health Service Robots

Sun Bao, Yang Shien, Peng Zhangjun

(School of Computer and Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: Aimed at the demand of indoor navigation and location for health service robots, the embedded vision sensor was designed which contained image sensor of 5 million pixel CMOS, high performance wireless SOC ESP8266. This vision sensor is not general CMOS image sensor, it is an intelligent micro device, making up of image perception, image processing, wireless communication, power saving, wake up and so on. It can be described as eyes and brain. According to the experiment, this vision sensor can send the information of position to health service robots at the speed of 3 times per second, which can fully achieve the mobile demand of indoor robots.

Keywords: health service robots; vision sensor; navigation and location; wireless communication technology

0 引言

我国将很快进入老龄化社会, 健康养老的需求推动社会经济结构, 产业结构调整与发展, 健康服务技术与该领域的智能制造技术, 也迅猛发展起来。我国重视机器人技术研究开发, 但国内对于健康服务类机器人研究与开发, 还处在起步阶段, 市场上也鲜有这类的机器人出现; 而在国外, 此类机器人虽然有一些产品输出, 但从数据上看出, 销量十分稀少, 也正在大力研究开发。着力健康服务类机器人技术, 与世界各国并跑, 是有意义, 有前景的事业。

根据资料表明, 当今世界约有 25 个国家大力发展服务型机器人, 在国外, 已有 7 种健康服务类型机器人进入半商业化的应用; 世界最大的民用机器人开发团队已经在欧盟启动, 计划到 2020 年, 在研发家政、护理、运输和医疗等领域的机器人项目中投入 28 亿欧元。在服务型智能机器人的应用领域内, 处于领先地位的有德国、日本、韩国以

及美国等。代表性产品有: Care-0-Bot4 机器人, 由德国生产, 是一款能帮助老人独立生活(报警呼救、取拿饮品、安置桌椅、控制空调等)的看护机器人; 日本的一家跨国公司研制的一款机器人, 是可以烹饪煎饼的家政服务类机器人; 韩国研制的 Mahru-Z, 这是一款可以打扫房子、加热食物、辅助洗衣等的女仆机器人。

服务机器人只有准确知道自身的位置、工作空间中障碍物的位置、障碍物的运动情况, 才能安全有效地进行自主移动, 定位是移动的前提。定位、导航技术, 在很多领域都有应用, 技术方法也较多, 如 GPS 导航, 激光导航, 电磁导航, 信标、地图导航等等, 健康服务类机器人在室内工作, GPS 导航不可靠, 电磁、信标导航不方便, 探索简洁, 有效的新的技术方法, 才自主设计了室内导航视觉传感器方案。此视觉传感器是粘贴式的, 和健康服务机器人并不是一体, 他们之间通过无线传输技术进行交互, 能够粘在家庭的天花板上, 非常的便捷。

1 视觉传感器总体结构设计

该视觉传感器主要由 STM32F429IGT6、数据传输模块、电源模块、数据采集模块(特殊标记图像和环境地图)、数据存储模块、数据处理模块、无线通信模块组成^[1]。STM32F429IGT6 作为主中央处理器以满足多功能任务处理; 数据采集模块是基于 OV5640 图像传感器获取移动体

收稿日期:2018-11-29; 修回日期:2019-01-07。

基金项目:四川省军民融合研究院 2017 年度开放基金(18sxb01001)。

作者简介:孙宝(1992-),男,安徽宿州人,硕士,主要从事数字图像处理和计算机视觉方向的研究。

通讯作者:扬世恩(1975-),男,陕西安康人,大学本科,副研究员,主要从事图形图像方向的研究。

特殊标记的实时图像和环境地图,利用图像处理的方法得到移动体此时准确的位置以及方向,通过无线传输模块能够把位置方向信息发送给移动体,这样移动体就能根据接收到的位置信息搭配环境地图进行移动^[2]。系统总体结构框图如图 1 所示。

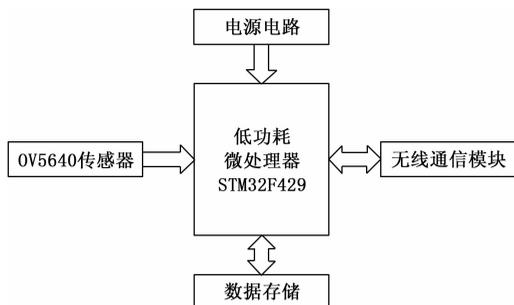


图 1 系统总体结构框图

由图 1 可知此视觉传感器的核心是 CMOS 图像芯片和高性能的嵌入式 MCU 处理器,是一个微型系统,此系统具有“眼睛”和“大脑”的能力。CPU 和 CMOS 通过总线直接连接:通过 DMA 把 OV5640 采集的数据传输到主控制器,这样访问控制简捷,且不占用 CPU 资源。此导航传感器外部有大容量内存,方便实现复杂视觉算法。具有各种各样的通讯接口,拥有强大的通讯能力。本研究设计的健康服务机器人室内导航视觉传感器性价比高且结构清晰。

此导航视觉传感器的设计与开发是基于底层芯片,可最大化发挥 CMOS 芯片的采集能力。针对室内环境光变化大的问题,在设计中研发了室内光自适应模块,即开放 CMOS 图像芯片的曝光时间、亮度、白平衡等控制寄存器,有手动和自动 2 种方式控制 CMOS 芯片的控制寄存器,增强了室内导航视觉传感器对室内光变化的自适应能力,在特殊标记移动体的采集品质上有明显的提升。

本文设计的导航视觉传感器有 1 个显著的特性:能够通过调整 CMOS 芯片的控制寄存器来增强 OV5640 传感器室内光自适应能力,解决了室内特殊标记移动体采集时光线强、弱的问题,为后期的图像处理提供有利的条件。

2 视觉传感器硬件电路设计

2.1 微控制器简介

系统控制器采用 STM32 系列的 32 位微控制器 STM32F429。它采用 ARM32 位 Cortex[®]-M4 的 CPU,具备丰富的外设资源,主要包括 3 个速度为 2.4MSPS 的 12 位 ADC、通用 DMA、3 个 I2C、3 个速度高达 45Mb/s 的 SPI、6 个速度达 11.25Mb/s 的 USART、定时器有 17 个,带有 Flash 存储器中实现零等待状态运行性能的自适应实时加速器^[3],MPU,具有丰富的 DSP 指令集,内置高达 1M 的 Flash 和 192+4KB 的 SRAM,主频高达 168MHz。这些使得 F4 尤其适用于需要浮点运算和 DSP 处理的应用,也被称之为: DSC,具有非常广泛的应用场景。

2.2 电源电路

该视觉传感器搭配环境地图能够实时为服务机器人提供导航服务,因此需要对其提供稳定可靠的电源^[4]。电源电路采用蓄电池作为供电电源,经过电源降压电路转换为系统可用的 5 V 以及 3.3 V 两路工作电源,系统控制器通过协调实现各模块的电源供给,实现系统低功耗。LP3878 供应稳定的 5V 输出、3.3 V 电源采取功耗极度低的 LTC3631 中转提供。

2.3 数据采集电路

利用 OV5640 图像芯片结合 STM32F429IGT6 作为本视觉传感器数据采集模块。OV5640 是一款 CMOS 类型的数字图像传感器,该芯片支持输出的图像像素最大可为 500 万 (2592x1944 分辨率),输出图像的数据支持使用 VGA 时序,输出图像的数据格式可以为 YUV (422/420)、YCbCr422、RGB565 以及 JPEG,与 STM32F429IGT6 处理器的相机接口匹配。输出图像数据的帧率可调范围是 15—60 帧。它还可以对采集的图像进行补偿,通过控制寄存器和数据寄存器的读写设置对伽玛曲线、色度、饱和度、白平衡等基础处理,有自动和手动两种模式,为室内环境光的变化提供硬件基础。此摄像头可以对机器人当前所处室内环境地图以及特殊标记进行采集。

根据应用需求,本研究选择数据采集的图像格式为 YUV (422) 格式,此格式的图像传输时占用较小的频宽,Y 数据对环境光比较敏感而且图像处理数据量比较小,能克服室内光线等外界因素的干扰。环境地图的采集则是采用 JPEG 格式,此格式可以大大减少图像数据量,便于处理。

2.4 数据存储电路

数据存储电路主要由内部 Flash 和外部 SRAM 以及外部 MicroSD 卡三部分组成^[5]。内部 Flash 用于系统内部传感器的数据存储,外部 SRAM 是用来扩展程序运行时需要的内存, MicroSD 卡用于采集环境地图和特殊标记图像的数据存储^[6]。F429 是采用 SDIO 模式驱动 MicroSD 卡工作。利用 STM32F429IGT6 通过 SCCB 总线进行控制 OV5640 的寄存器 SIO_C 和 SIO_D。采集完后 OV5640 会根据控制寄存器的配置做一些基本的图像处理,转换出的数据最终通过 Y2—Y9 引脚输出。输出的数据通过 DMA 的 FIFO 模式传到外部 SD 卡中,等待进一步的处理。

2.5 数据传输电路

视觉传感器与服务机器人之间的交互借助网络通信技术实现,基于 TCP/IP 的无线网络通信。本文 WIFI 通信模块主要利用 ATK—ESP8266 来实现,ATK—ESP8266 具有强大的片上处理和存储能力,通过 GPIO 口集成传感器,实现了运行中最少地占用系统资源^[7],并且内部包含开关 bal-un、电源管理器,因此需要极少的外部电路。ATK—ESP8266 与 STM32F429 的连接方式如图 2 所示。

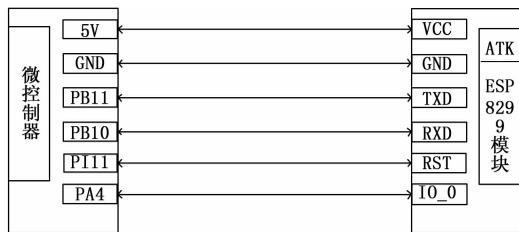


图 2 ATK-MODULE 接口与 MCU 的连接关系

3 视觉传感器软件设计

视觉传感器软件设计是在 ARM 公司的 Keil5 集成开发环境下采用 C 语言编写实现, 主要包括串口初始化及 DMA 初始化、按键初始化、初始化系统时钟、DCMI 时钟以及 I2C 时钟、MicroSD 卡初始化、OV5640 摄像头 GPIO 及 I2C 初始化以及用户参数配置^[8], 主程序流程图如图 3 所示。

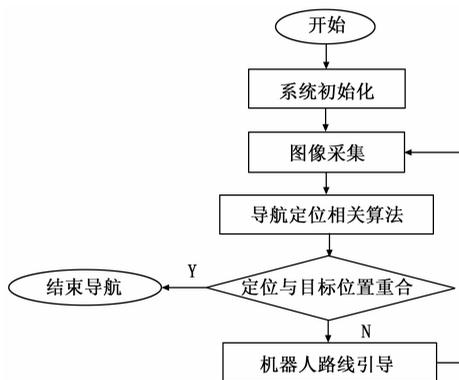


图 3 主程序流程图

由图 3 可知, 此视觉传感器通过不断的匹配目的地址, 当前地址与目的地址重合时, 结束导航, 否则根据机器人智能引导路径继续行走, 直到当前地址与目的地址重合。

3.1 数据采集软件设计

数据采集程序由 STM32F429IGT6 和 OV5640 图像传感器共同完成, 在微控制器初始化完成以后^[9], 可以根据用户选择来进行环境地图采集或者服务机器人位置采集, 当进入第 2 种时, 摄像头每采集完一帧图像时会进入 DCMI_IRQHandler 中断, 用来计算帧率以满足服务机器人定位导航需求。OV5640 数据采集流程图如图 4 所示。

由图 4 可知, 视觉传感器的数据收集模块有两种选择。一是对环境地图的采集, 此地图作为辅助型地图结合导航定位算法对室内机器人进行定位导航; 二是对室内机器人当前位置进行采集, OV5640 每采集一帧数据, 就会进去一次帧中断, 在这个过程中, 如果接收到结束导航的指令, 就会关闭系统。

控制 OV5640 涉及到它的很多寄存器, 输出图像的图像格式、图像方向以及分辨率的大小等可以通过设置这些寄存器来控制。部分代码如图 5 所示。对 OV5640 采用 SC-

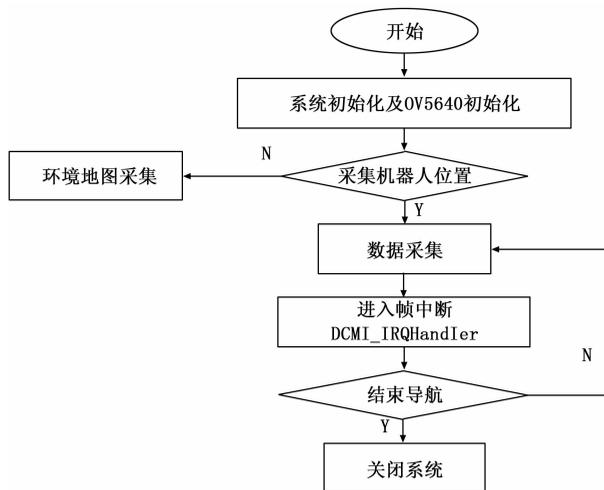


图 4 数据采集程序流程图

CB 协议控制, SCCB 总线跟 I2C 十分类似, 因此我们直接控制片上 I2C 外设与它通讯。输出图像使用 VGA 时序, 这根控制液晶屏输入类似, 一帧帧输出, 帧内数据从左到右、从上至下, 一个像素一个像素输出。

4.1.2 VGA 预览

```

VGA 30 帧/秒
// YUV VGA 30fps, night mode 5fps
// Input Clock = 24Mhz, PCLK = 56MHz
write_i2c(0x3035, 0x11); // PLL
write_i2c(0x3036, 0x46); // PLL
write_i2c(0x3c07, 0x08); // light meter l threshold [7:0]
write_i2c(0x3820, 0x41); // Sensor flip off, ISP flip on
write_i2c(0x3821, 0x07); // Sensor mirror on, ISP mirror on, H binning on

```

图 5 CMOS 芯片寄存器配置部分代码

3.2 数据存储软件设计

由于本文采集数据都是图形数据, 因此需要扩展外部内存方式进行数据的存取。本文采用 SD 卡扩展内存, 当数据采集开始后, OV5640 利用像素数据输出端口把采集到的像素数据传到 DCMI 的数据寄存器, 此后 DMA 会把 DCMI 的 DR 寄存器像素数据搬至外部 SD 内存, 微控制器是通过 SD_ReadDisk () 函数与 SD_WriteDisk () 函数控制 MicroSD 卡的读写操作。

3.3 数据处理算法设计

数据采集存储完成后, 由于本文采集图像场口为 1080p, 数据比较大处理比较困难, 因为本文使用等比例缩小场口的方法把图像缩放成 320 * 240 图像, 然后再进行后续的处理, 原始图像如图 6 所示。

定位导航算法步骤如下:

- 1) 背景分割: 由于图像背景和 ROI 存在明显的颜色差异, 因此利用 OTSU (最大类间方差法) 对图 7 进行背景分割;
- 2) 对第一步得到的图像进行行映射, 用式 1 进行行求和, 其中 erzhihua 是保存数据的二维数组, SUM 用来保存



图 6 原始图像

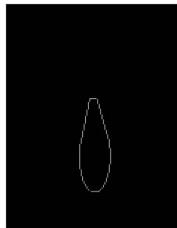


图 7 轮廓图

每行的和；

$$SUM_{i,j} = \sum_{i=1}^{320} \sum_{j=1}^{240} erzhihua_{i,j} \quad (1)$$

3) 把 SUM 中大于等于 10 的行下标和最开始的 1 和最后一个 1 所在的列下标保存, 根据下标位置就可以把图像轮廓图求出来, 如图 7 所示。

4) SUM 中和最大的那行就是此时移动体横坐标位置, 和最小的代表移动体此时移动方向横坐标位置, 至于纵坐标可以利用开始和结尾为 1 所在的列数求出中间点的坐标;

5) 把直角坐标系分成 8 个方向, 根据步骤④求出的两个点坐标可以确定移动体的当前位置和移动方向。

3.4 数据传输软件设计

数据传输软件设计采用无线通信技术, 利用 ATK-ESP8266 和微控制器来实现。本文 ATK-ESP8266 配置成串口无线 STA (COM-STA) 模式, 模块作为无线 WIFI STA, 用于连接无线网络, 实现微控制器串口与服务机器人数据互传。数据传输流程如图 8 所示。

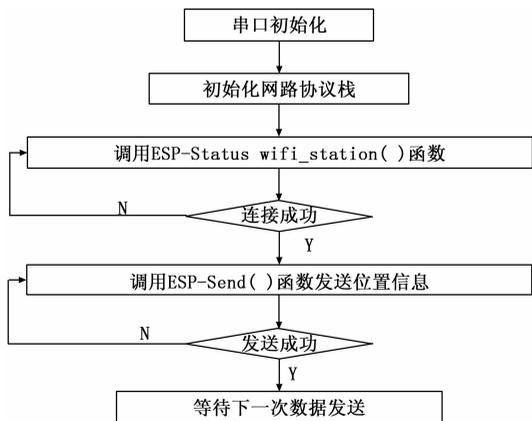


图 8 数据传输软件流程图

由图 7 可知, 无线通信模块通过调用函数 ESP-Status wifi_station() 连接区域 wifi, 程序正常运行, 连接成功显示如图 9 所示。调用 ESP-Send() 函数把视觉传感器即时信息传给机器人。此过程中指令包和数据包的格式如表

```

[597][WIFI: fire_demo.c: 97] connecting to BHLINK...
[6290][WIFI: fire_demo.c: 57] Station up
[6294][WIFI: fire_demo.c: 102] wifi connected successful
[6997][ov5640_S0CB: ov5480_S0CB.c: 93] OV5640_ID:0x56
[8542][TCP: tcp_server.c: 140] TCP server ip:192.168.1.102
  
```

图 9 WIFI 连接成功

1 和表 2 所示。

表 1 指令包格式

| | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 发送格式 | 1 byte | 1 byte | 2 byte | 2 byte | 1 byte | N byte | 1 byte |
| | 包头 | 指令 | 功能参数 | 包长 | XOR | 数据 | SUM |
| | 0x3a | | | | 异或校验值 | | 校验和 |
| 应答格式 | 1 byte | 1 byte | 2 byte | 2 byte | 1 byte | N byte | 1 byte |
| | 包头 | 指令 | 应答信息 | 包长 | XOR | 数据 | SUM |
| | 0x3a | | | | 异或校验值 | | 校验和 |

表 2 数据包格式

| | | | | | |
|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| 1 byte | 1 byte | 1 byte | | 1 byte | 1 byte |
| 数据 | 数据 | 数据 | | 数据 | 数据 |

4 实验与仿真结果

本文实验环境在一间 6 m * 4 m 的房间内, 镜头场口大小为 1080p, 视角为 70 度, 自动对焦的情况下对服务机器人进行识别与定位。人为调整机器人位置, 利用本文视觉传感器对其进行定位, 并把数据通过专用数据通信总线传到上位机看其是否与实际一致, 所测 20 组数据如表 3 所示。数据传到上位机显示如图 10~11 所示。

表 3 测试结果

| | 测试位置 | 实际位置 | 测试方向 | 实际方向 |
|----|-----------|-----------|------|------|
| 1 | (105,114) | (100,120) | 1 | 1 |
| 2 | (96,242) | (100,240) | 1 | 1 |
| 3 | (98,366) | (100,360) | 2 | 2 |
| 4 | (109,481) | (100,480) | 2 | 2 |
| 5 | (91,593) | (100,600) | 3 | 3 |
| 6 | (195,120) | (200,120) | 3 | 3 |
| 7 | (198,236) | (200,240) | 3 | 3 |
| 8 | (206,366) | (200,360) | 4 | 4 |
| 9 | (193,476) | (200,480) | 4 | 4 |
| 10 | (193,598) | (200,600) | 5 | 5 |
| 11 | (301,120) | (300,120) | 5 | 5 |
| 12 | (296,247) | (300,240) | 6 | 6 |
| 13 | (304,355) | (300,360) | 6 | 6 |
| 14 | (307,487) | (300,480) | 6 | 6 |
| 15 | (298,593) | (300,600) | 7 | 7 |
| 16 | (398,113) | (400,120) | 7 | 7 |
| 17 | (393,238) | (400,240) | 7 | 7 |
| 18 | (408,361) | (400,360) | 8 | 8 |
| 19 | (408,471) | (400,480) | 8 | 8 |
| 20 | (402,599) | (400,600) | 8 | 8 |

由表 3 可知, 本文视觉传感器在对机器人进行定位误差基本都在 ±9 mm 以内。在抹除通过串口把数据传到上位机的时间, 本视觉传感器的定位速度达到每秒 3 次。

5 结论

健康服务类机器人是移动机器人, 主要是室内运动的

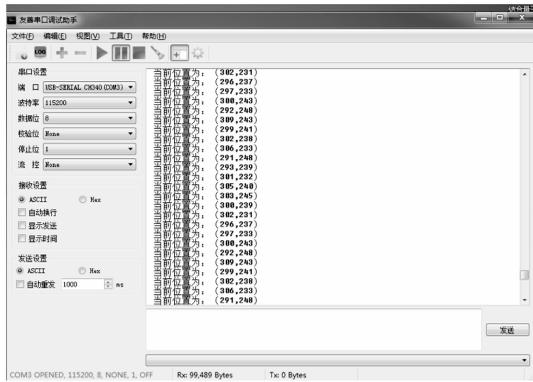


图 10 位置信息

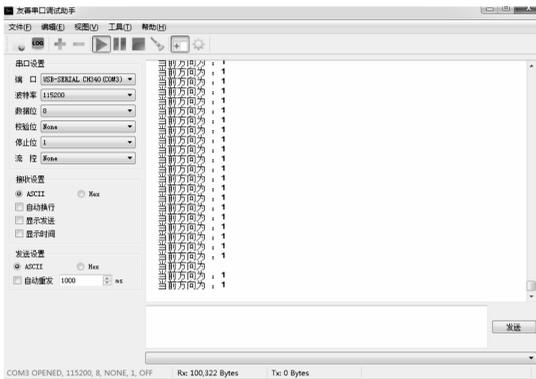


图 11 方向信息

的视觉导航技术。依托自主研发的室内导航视觉传感器(无线、粘贴安装式),通过对图像传感器芯片的底层控制实现室内环境光自适应功能。系统稳定可靠、成本低、功耗低,在室内导航方面有较好的应用前景。

参考文献:

[1] 张成良. 基于 ZigBee 的远程田间监控系统设计与研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.

[2] 侯朋岐. 移动机器人路径规划与二维地图构建研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2016.

[3] 饶家龙. 基于 STM32F4 与 CPLD 的嵌入式运动控制器的研究与开发 [D]. 重庆: 重庆大学, 2013.

[4] Fan D, Zhao J. The design of Image transmission system Based on STM32F429ZI [A]. International Conference on Machinery, Materials and Computer [C]. ACM, 2018.

[5] 余义德, 王 飞. 基于 SDHC 卡阵列的大容量存储系统设计 [J]. 应用科技, 2011, 38 (12): 36-39.

[6] 王晨辉, 吴 悦, 杨 凯. 基于 STM32 的多通道数据采集系统设计 [J]. 电子技术应用, 2016, 42 (1): 51-53.

[7] 张 帆. 具有 RFID 和 WIFI 控制的密码锁设计 [J]. 电子世界, 2016 (20): 156-158.

[8] Gao M, Liu Y, Huang J, et al. Design of the automatic jacquard control system based on STM32F407 [A]. International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering [C]. IEEE, 2014: 1143-1146.

[9] 赵伟超. 基于 FPGA 和 Cortex-M4 的图像采集系统设计 [D]. 洛阳: 河南科技大学, 2015.

[10] Fan H B, Kang W Q, Xian M. Electricity acquisition system design based on STM32F103 [J]. Advanced Materials Research, 2014, 1049-1050: 638-641.

智能装备。移动机器人结构创新技术;环境感知测控与定位、导航技术;智能与融合控制技术;无线网络与通信技术,康复器具与生物机电技术等等,都是需要研究开发的技术领域,都需要青年科技人员创新创业。本文是在健康服务类移动机器人的环境感知测控与定位、导航技术上,做创造性的研究与开发,即研究一种新颖的室内移动机器人

(上接第 266 页)

4 结束语

针对于民机 PHM 技术发展,文中提出一种民机 PHM 顶层架构仿真验证平台的设计思路和方法。通过实验表明,此仿真验证平台可完成民机 PHM 功能仿真,包括民机状态监控、故障诊断、健康评估、健康管理等功能,可实现对不同民机 PHM 架构进行验证评价,获取更适合的飞机 PHM 顶层架构。平台下一步工作可通过航空公司或者飞机试飞院等部门,获取民机的各子系统的参数、故障模式、以及历史飞行数据等信息^[11],突破 PHM 关键技术研究,实现适合我国民用飞机的 PHM 体系结构和工程应用的目标。

参考文献:

[1] 杨德才. 综合模块化航空电子系统的故障预测与健康管理系统 [J]. 现代电子技术, 2015, 38 (5): 125-128.

[2] 张宝珍, 张汝玲. 波音健康管理工程环境浅析 [J]. 航空科学技术, 2011 (3): 6-9.

[3] 代 京, 刘 浩, 于劲松. 飞行器健康管理系统验证与评估技术研究 [J]. 电子测量技术, 2012, 35 (8): 1-10.

[4] 马 宁, 吕 琛. 飞机故障预测与健康管理系统研究 [J]. 华中科技大学学报, 2009, 37 (1): 207-209.

[5] 吴明强, 史 慧, 朱晓华, 等. 故障诊断专家系统研究的现状与展望 [J]. 计算机测量与控制, 2005, (12): 1301-1304.

[6] 王志鹏, 吕 琛, 王自力, 等. 飞机 PHM 演示验证平台设计技术研究 [J]. 南京理工大学学报. 2011, 35.

[7] 樊旭彬. PHM 系统结构建模与仿真演示方法研究 [D]. 北京: 北京航空航天大学, 2013: 55-56.

[8] 杨 洲, 景 博, 张 劫, 等. 机载系统故障预测与健康管理系统确认方法 [J]. 测控技术, 2012, 31 (3): 101-104.

[9] 马小骏, 左洪福, 刘 昕. 大型客机运行监控与健康管理系统设计 [J]. 交通运输工程学报. 2011, 11 (6): 119-126.

[10] 陈 青, 张观海, 刘 琪. 飞机预测与健康管理体系结构浅析 [J]. 飞机设计, 2011, 32 (2): 51-58.

[11] 刘 超. 现代民用飞机健康管理技术研究 [J]. 工程技术, 2014 (19).