

黄瓜采摘机器人嵌入式系统的设计与实现

侯茗耀, 王 库, 党 帅

(中国农业大学 信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘 要: 将嵌入式系统应用于智能农业机器人是该领域今后发展的一个趋势。为此, 介绍了黄瓜采摘机器人基于 DM642 + S3C2410 嵌入式系统的设计与实现; 阐明了该嵌入式系统的硬件组成原理及软件结构。经系统与机器人移动平台以及机械臂联调测试表明, 其实时性好、识别率高、定位精确、功耗小且成本低, 能够完成非结构化环境下对黄瓜果实的识别与定位, 并最终完成对黄瓜果实的采摘。

关键词: 黄瓜采摘机器人; 嵌入式系统; TMS320DM642; S3C2410

中图分类号: TP242; S126

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2009)08-0057-04

0 引言

近年来, 欧美一些国家和日本一直致力于基于机器视觉的采摘机器人的研究与开发, 我国在这个领域也进行了相应的研究。采用嵌入式系统取代传统 PC 来控制机器人是今后这一领域发展的趋势。嵌入式系统在集成能力、稳定性、运算速度、系统成本、低功耗以及便携性等方面的优势, 是传统的基于 PC 机的系统所不能及的。TMS320DM642 是 TI 公司推出的专用图像处理 DSP。借助于 DSP 强大的运算能力, 在 DSP 中完成图像的采集和处理, 从而提高了图像处理的实时性, 满足机器人控制对其视觉系统实时性的要求。S3C2410 是 SAMSUNG 公司的一款 ARM9 处理器, 借助其强大的控制能力, 在 ARM 中植入 LINUX 操作系统, 并在 ARM 中移植轨迹规划算法, 完成对机械臂的控制。

本嵌入式系统是针对采摘温室中非结构化环境下种植的黄瓜而设计与实现的。采用 DM642 + S3C2410 自行开发与设计的嵌入式系统, 能够快速完成对黄瓜果实的识别与定位, 并计算出黄瓜抓取点的三维坐标, 再配合机器人移动平台与机械臂装置, 能够很好地完成对黄瓜果实的收割。

1 黄瓜采摘机器人系统

黄瓜采摘机器人系统由机器人移动平台、双目摄

像机装置、基于 DM642 + S3C2410 的嵌入式系统以及机械臂装置等 4 部分组成。整体示意图如图 1 所示。

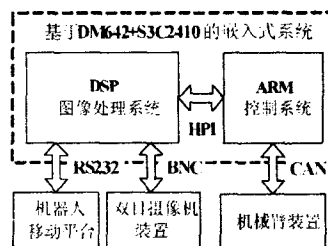


图 1 黄瓜采摘机器人系统示意图

Fig. 1 Framework chart of the robot system

1.1 机器人移动平台

机器人移动平台由云台摄像头、车载 PC 处理器、运动控制器、电机驱动器和行走机构组成。云台摄像头获取导航线信息, 车载 PC 处理器分析图像信息、获取导航参数, 由运动控制器操作行走机构进行路径跟踪, 达到在复杂环境下自主运动的目的。

在黄瓜采摘机器人系统中, 机器人移动平台完成在温室环境下自主导航行走的功能, 并且能够根据嵌入式系统的指令完成启动与停车动作。

1.2 双目摄像机装置

双目摄像机装置由两个近红外摄像机、两个窄带干涉滤光设备、氙气灯光源以及支架构成。其中, 两个黑白 Hyper HAD CCD 摄像机采用的是美国 UNIQ 公司的 UM-300 系列摄像机。该系列摄像机在近红外波段比普通摄像机敏感 4 倍。两个窄带干涉滤光设备分别安装在两摄像机镜头前, 用于解决与背景颜色相近的黄瓜果实特征表征。根据黄瓜各部分的分光反射特性, 选用中心波长为 $850 \pm 5 \text{ nm}$ 、半高宽为 $30 \pm 5 \text{ nm}$ 、峰值透过率大于 90% 的窄带干涉滤光器。选用四光源对称阵列分布的灯光结构与自适应能量

收稿日期: 2008-10-31

基金项目: 国家 863 计划项目(2007AA04Z222)

作者简介: 侯茗耀(1983-), 男, 四川南充人, 硕士研究生, (E-mail) david_hmy@tom.com。

通讯作者: 王 库(1952-), 男, 河北宣化人, 教授, 博士生导师, (E-mail) wang_ku@263.net。

输出的直流电源模块相结合的方案,在成像范围内提供稳定的光照强度和均匀度。在黄瓜采摘机器人系统中,双目摄像机装置主要完成两路图像的采集。

1.3 基于 DM642 + S3C2410 的嵌入式系统

基于 DM642 + S3C2410 的嵌入式系统由两部分组成,即 DSP 图像处理系统和 ARM 控制系统。DSP 图像处理系统采用 TI 的 TMS320DM642 作为 CPU,并根据实际需求设计了两路视频采集接口以及 UART 接口。ARM 控制系统采用 SAMSUNG 的 ARM9 芯片 S3C2410 作为 CPU,并根据实际需求移植了 LINUX 操作系统。DSP 与 ARM 之间采用 16bit HPI 接口实现数据通信,其中 ARM 为主机,DSP 为从设备。

在黄瓜采摘机器人系统中,嵌入式系统主要完成对所采集图像的算法处理以及根据计算出的三维坐标信息进行轨迹规划,并最终控制机械臂运动,完成对果实的采摘。

1.4 机械臂装置

机械臂装置由关节驱动器以及执行机构构成,各关节驱动器采用 CAN 总线与 ARM 控制系统通信。在黄瓜采摘机器人系统中,机械臂装置的各关节驱动器接收 ARM 控制系统的数流指令,完成具体的指令动作,并最终移动到果实处将果实采摘。

2 嵌入式系统硬件设计

基于 DM642 + S3C2410 的嵌入式系统由 DSP 图像处理系统和 ARM 控制系统两部分组成。这两个独立的子系统通过 16bit HPI 接口完成相互间的通信。

2.1 DSP 图像处理系统硬件设计

DSP 图像处理系统选用德州仪器公司的高性能 32 位定点 DSP TMS320DM642。DM642 运算功能强大,其建立在第 2 代高性能超常指令字结构上,可以并行处理 8 条指令,非常适用于数字图像处理。在此次设计中,工作主频选择为 600MHz。DSP 系统硬件框图如图 2 所示。

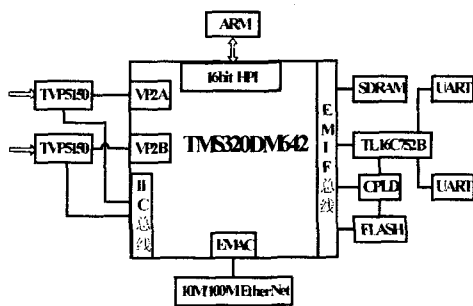


图 2 DSP 系统硬件框图

Fig. 2 Framework chart of the DSP system

DM642 通过 64 位的 EMIF 接口扩展外部存储器部分。在本系统中,外扩了 32M Bytes 的 SDRAM,用于存放程序运行时用户的代码以及采集的图像数据;外扩了一片 4M Bytes 的 FLASH,用于存放 boot-loader 以及用户的应用程序。在脱离仿真的情形下,系统上电启动后,会自动将 FLASH 中的代码和数据加载到 SDRAM 中。SDRAM 的数据宽度为 64 位,FLASH 的数据宽度为 8 位,分别对应于 DM642 的用于外部扩展的 CE0 和 CE1 空间。DM642 还通过 EMIF 接口扩展了 UART 和 CPLD。其中,UART 用来扩展了两路 RS232 串口:一路用于与导航小车的通信;另外一路备用。CPLD 用来实现 FLASH 和 UART 的粘合逻辑及外扩的数字 I/O。另外,选用 DSP 的 16bit HPI 接口与 ARM 完成通信。

为了完成双目识别所需的两路视频图像的采集,本系统设计了两路模拟视频输入,系统将双目摄像机装置采集得到的模拟视频信号通过解码芯片 TVP5150 按 ITU - BT. 656 格式转化为 8 位 YUV 4:2:2 的数字视频流,分别发送到 DM642 的 VP2A 和 VP2B 两路通道中。DM642 可以通过编程实现数字视频图像的几帧连续采集。当有一帧图像正在处理的时候,其他剩余的缓冲区还可以实现循环采集,从而解决了恒速的视频采集与变速的图像处理之间的矛盾。

2.2 ARM 控制系统硬件设计

ARM 控制系统选用三星公司生产的具有 ARM9 内核的 S3C2410,它是 32 位 RISC CPU,内部带有全性能的 MMU(内存处理单元),主频为 203MHz,最高可达 260MHz。ARM 系统硬件框图如图 3 所示。

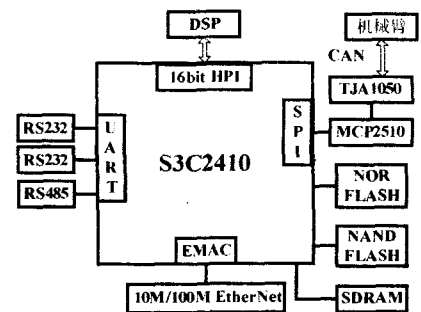


图 3 ARM 系统硬件框图

Fig. 3 Framework chart of the ARM system

由于 S3C2410 芯片本身并没有内部存储器,根据需求,本系统选用了 3 种不同类型和不同大小的存储器。它们分别是:1MBytes 的 NOR Flash,在本系统中用来存放 Bootloader;64Mbytes 的 NAND Flash,嵌入式 Linux 内核存放在该存储器中,系统的 YAFFAS 文件系统也构建在 NAND Flash 上;64Mbytes 的 SDRAM,系统

启动时, NOR Flash 中的 Bootloader 把 NAND Flash 中的 Linux 内核加载到 SDRAM 中, 让内核运行在 SDRAM 内, 从而使系统软件运行速度大幅提升, 充分发挥 CPU 的性能。

另外, 为了完成与机械臂装置的相互通信, 在 ARM 控制系统中还利用 MCP2510 与 TJA1050 两款芯片, 通过 S3C2410 芯片自带的 SPI 接口扩展了 CAN 总线接口。S3C2410 芯片本身集成了 3 路 UART, 其中两个配置成了 RS232 接口, 用于硬件系统调试, 一个配置成 RS485 接口以备用。ARM 与 DSP 之间使用 16bit HPI 接口进行通信, 其中 ARM 作为主机, DSP 作为从设备。

2.3 DSP 与 ARM 间的 HPI 接口设计

为方便与 ARM 控制系统的通信, 实现 DSP 与 ARM 的快速、准确和实时的数据交换, 二者的通信接口选择使用 16bit 的 HPI 接口, 如图 4 所示。

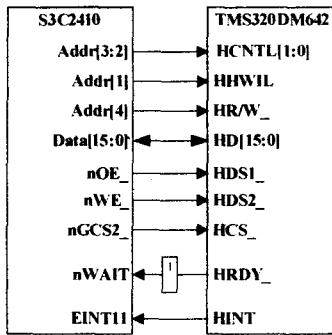


图4 HPI接口设计

Fig. 4 Framework chart of HPI interface

TMS320DM642 芯片上集成了一个 32/16 bit 的 HPI 接口, 其 HPI 接口有 HPI16 和 HPI32 两种工作方式。在 HPI16 的方式下, 高 16 位数据端口 HD[31:16] 还可用于 PCI 接口通信。由于高 16 位数据端口 HD[31:16] 部分数据线用于网络接口设计, 故本文选择 HPI16 工作方式。

3 嵌入式系统软件设计

3.1 DSP 图像处理系统软件设计

在 DSP 图像处理系统软件设计中, 使用 TI 提供的 DSP/BIOS 实时操作系统内核以及 TI 开发的 RF5 软件参考框架完成软件框架的整体设计。RF (Reference Framework) 是 TI 公司为其 eXpressDSP 软件设计的参考程序框架。采用软件参考框架, 有利于软件在不同平台之间的移植。RF5 适用于包含大量算法, 且要求多线程和多通道的应用, 如图像处理和多媒体应用等。

本系统的软件框架图如图 5 所示。通过使用 DSP/BIOS, 静态配置了 3 个线程, 分别是两路视频采集线程和图像处理线程。程序完成初始化之后, 根据优先级启动执行这 3 个线程, 并交由 DSP/BIOS 实时操作系统完成这些线程的调度与切换, 这些线程之间的同步通过 SCOM (同步通讯机制) 模块实现。

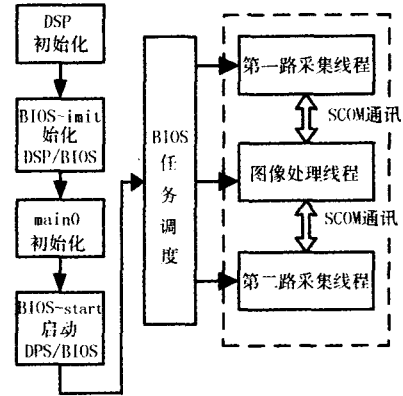


图5 DSP图像处理系统软件流程图

Fig. 5 Flow chart of the DSP software system

DSP 图像处理系统软件整体设计思想为: 第 1 路采集线程采集当前帧图像, 通过 SCOM 模块将该帧图像传递给图像处理线程 (流程图如图 6 所示)。若动态识别算法检测到目标, 则发送指令命令导航小车停车; 两路采集线程同时采集当前帧图像并通过 SCOM 模块发送给图像处理线程; 图像处理线程运行双目静态定位算法, 将运算得到的黄瓜果实抓取点三维坐标数据通过 HPI 接口发送给 ARM 控制系统。

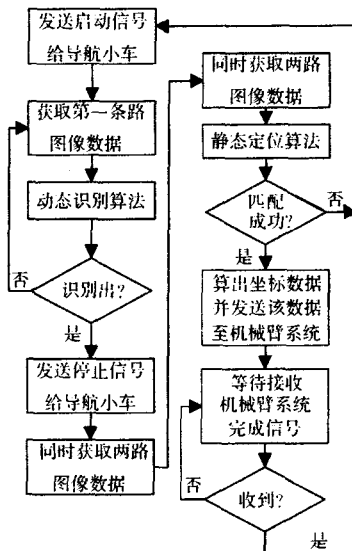


图6 图像处理线程流程图

Fig. 6 Flow chart of the processing thread

动态黄瓜识别算法用于实现导航小车在行走过程中, 利用一路视频采集快速搜索适合采摘的黄瓜果

实,当发现适合采摘的黄瓜果实后,命令导航小车停止。如果没有发现可采摘的黄瓜,小车会继续行走,并持续搜索。由于该算法用于动态搜索,需要配合小车的行走速度达到实时要求,故该算法必须在保证识别准确率的基础上尽可能减少运行时间,避免由于不实时造成的小车停止位置与黄瓜位置偏移量较大的问题发生。实验证明,通过对移植到嵌入式系统的动态黄瓜识别算法进行了一定的优化和改进后,算法在DSP系统上运行过程中能达到18帧/s的处理速度,基本实现了图像处理的实时性要求。

在静态定位算法中,要求两路摄像头同时采集图像,并分别计算出黄瓜的平面二维坐标。在计算出两路图像的平面二维坐标后,再执行双目立体匹配算法,最终根据已做好的双目摄像头标定参数,计算出黄瓜果实的三维坐标数据。对该静态定位算法的定位精度影响较大的有双目摄像头的标定精度和匹配算法的精度。实验证明,通过对移植到嵌入式系统的静态黄瓜定位算法进行了一定的优化和改进后,算法精度已能达到采摘要求。

3.2 ARM控制系统软件设计

在本系统中,使用嵌入式Linux作为操作系统。嵌入式Linux源自标准的Linux内核,主要针对ARM核的处理器进行了相关移植。由于ARM核的处理器在嵌入式系统领域应用十分广泛,因此嵌入式Linux也成为诸多嵌入式系统的操作系统平台。为了适应嵌入式应用的需求,它采用了YAFFAS文件系统,可执行文件格式采用是标准Linux中的elf格式。相对于另一个嵌入式的操作系统uClinux,它启动了MMU,应用程序不能直接读写物理地址(包括CPU寄存器、MEMORY和外设芯片寄存器等),而必须借助驱动的形式,切入内核用ioremap来实现对这些物理地址的访问。嵌入式Linux的源代码是完全公开的,具有很好的应用价值与通用性。

在完成操作系统的移植后,根据项目要求编写了CAN总线驱动,并将该驱动程序挂在嵌入式Linux内核中,在应用程序中对其进行调用,完成与机械臂的通讯。另外,将轨迹规划算法移植到该系统中,完成将空间三维坐标到机械臂各关节控制流的转化。ARM软件系统流程如图7所示。

ARM模块通过16bit HPI接口获得目标的位置坐标之后,运行轨迹规划算法,计算出机械臂运动的位移、速度和加速度,最后生成运动轨迹,把这些轨迹参数通过CAN总线发到各个机械臂关节。该算法在移植完成后,针对大量的实验数据统计,对算法中各关

节点的参数进行了改进和修正,提高了机械臂到达目标点的速度和精度。

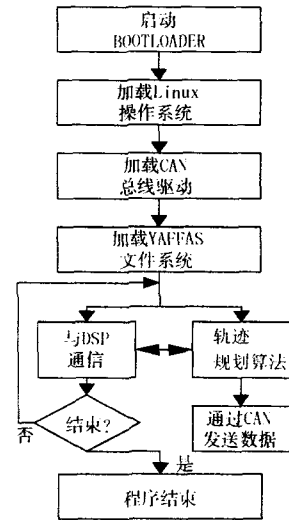


图7 ARM控制系统软件流程图

Fig. 7 Flow chart of the ARM software system

4 实验结果

通过对该嵌入式系统的多次运行测试,各个模块的功能运行正常。DSP系统能够实时采集图像,并完成对图像的实时处理,能够快速计算出黄瓜果实的三维坐标数据。ARM系统能够根据所得数据快速完成轨迹规划,并最终计算出机械臂各关节所需数据流。整个系统各项功能均能满足设计要求。

5 结论

1) 针对项目需求,设计了基于TMS320DM642 + S3C2410的嵌入式系统硬件,并完成整个硬件系统的调试。

2) 将嵌入式机器视觉系统引入到农业机器人中是一个大胆的尝试。实验表明:嵌入式机器视觉系统稳定可靠,集成度高,功耗低,能够快速识别黄瓜果实并完成对果实三维坐标数据的计算,实时性高,非常适合在农业机器人中的应用。

参考文献:

- [1] 李方慧,王飞,何佩琨. TMS320C6000系列DSPs的原理与应用(2版)[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [2] 袁国勇. 黄瓜采摘机器人目标识别与定位系统的研究[D]. 北京:中国农业大学,2006.
- [3] 王军宁,何迪,马娟,等. TI DSP/BIOS用户手册与驱动开发[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [4] 陈兵旗,孙明. Visual C++实用图像处理专业教程[M]. 北京:清华大学出版社,2004. (下转第65页)

- [3] 刘宏新,王福林. 排种器试验研究的因素选择及分析[J]. 农机化研究,2007(5):77-79.
- [4] 袁月明. 基于高速摄像的精密排种器性能检测的研究[D]. 长春:吉林农业大学,2003.
- [5] 李胜娥,孙杰. 间断运行皮带机电动滚筒功率计算与实践[J]. 建设机械技术与管理,2006(1):84-87.
- [6] 李德庆,宋斌. RS422/RS485 总线模型分析与应用[J]. 电子元器件应用,2008,10(1):16-18.
- [7] 赵韩. 机械系统设计[M]. 北京:高等教育出版社,2005.
- [8] 陈刚,李德宝,夏金玉. 基于 VC++ 的变频器与 PC 机串口通讯的实现[J]. 仪表技术,2008(7):15-16.
- [9] 李真芳,段勇. 于 Atmega8 的便携式转速仪的研制微计算机信息[J]. 2005(6):117-118.
- [10] 宋鸿飞,佟首峰,孟凡涛,等. 步进电机闭环细分驱动控制系统设计[J]. 长春理工大学学报,2008(6):93-95.
- [11] 陈铁军,谢春萍. PC 机与 RS485 总线多机串行通信的软硬件设计[J]. 现代电子技术. 2007(5):103-105.
- [12] 吴双力,崔剑,王伯岭. AVR-GCC 与 AVR 单片机 C 语言开发[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004.

The Control System of Seed - metering Device Laboratory Table Based on RS485

Xiang Yang, Tang Chuzhou, Xie Fangping, Xiong Ying

(College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: A seed - metering device laboratory table with sand - paving conveyer belt was designed. As to its complex parameters, control system based on RS485 was designed. In this system, PC was adopted as the HOST. Variable - Frequency Technique was applied to control the speed of then belt. Stepping motor was also adopted in this system. This paper introduced the structure and principle of the system, discussed the control method and the selection of motors. Analyzed the communication protocol of frequency converter; Analyzed the control method of the stepping motor and constituted the communication protocol between PC and MCU; The principle of individually part, the flow chart of software and then user's interface were also introduced in this paper. The results of experiment proved that it conforms to requirement.

Key words: seed - metering device laboratory table; RS485; sand - paving; fequency converter

(上接第 60 页)

- [5] 汤修映,张铁中. 果蔬收获机器人研究综述[J]. 机器人, 2005(1):90-96.
- [6] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [7] 孙天,袁文菊,张海峰. 嵌入式设计及 Linux 驱动开发指南[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [8] 李明,王库. 基于 ARM 的便携式无线视频监控终端设计[M]. 北京:中国农业大学,2006.

Abstract ID:1003-188X(2009)08-0057-EA

Design and Implementation of Embedded System for Cucumber Harvesting Robot

Hou Mingyao, Wang Ku, Dang Shuai

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In the field of agricultural intelligentized robots, using embedded system will be a new trend. In this article we introduced the design and implementation of embedded system based on TMS320DM642 + S3C2410 for cucumber harvesting robot, and clarified the basic principle of this embedded system's hardware, software. The commission and adjustment of the automatic guided vehicle and robot manipulator proves that the system fulfills the real - time need and has advantage of precise locating, low power, low cost. The system can accomplish the recognizing and locating method for cucumber objects under unstructured environment, and harvest the cucumber at last.

Key words: cucumber harvesting robot; embedded system; TMS320DM642; S3C2410