

文章编号:1000-582X(2006)11-0031-05

一种基于服务机器人的视觉系统设计*

刘京诚, 廖智勇, 朱木健, 刘俊
(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘要:通过采用图像传感器 OV7635 采集图像, 帧存储器 AL422B 进行数据缓存, CPLD 控制时序, DSP 进行图像处理, 构建了一个图像采集的硬件系统. 在图像软件处理中, 采用阈值向量判断法和改进的种子填充法来完成彩色图像的识别和分割, 在分割中计算图像的几何矩, 利用全局图像的几何矩特征量构建图像雅可比矩阵, 并用推导的图像雅可比矩阵完成一个图像反馈与目标运动自适应补偿的视觉跟踪系统. 系统采用了 TFT 液晶来直观显示视觉识别和跟踪的效果.

关键词:视觉系统; 阈值向量; 种子填充; 图像矩; 雅可比矩阵

中图分类号:TP242

文献标识码:A

随着计算机科学和自动控制技术的发展, 越来越多的不同种类的智能机器人出现在工厂、生活当中, 机器人视觉系统作为智能机器人系统中一个重要的子系统, 也越来越受到人们的重视. 它涉及了图像处理、模式识别和视觉跟踪等领域. 不同种类的机器人由于工作的重点不一样, 它的视觉系统在软件或硬件上都有着细微的差别¹⁻⁹. 本文研究基于服务机器人的单目视觉系统. 它处理的是二维图像, 是基于对无遮挡物体颜色和形状的认识以及 3D 目标物体的平动跟踪.

视觉系统是一个非常复杂的系统, 它既要做到图像的准确采集还要做到对外界变化反应的实时性, 同时还需要对外界运动的目标实时跟踪. 因此, 视觉系统对硬件和软件系统都提出了较高的要求. 目前比较流行的足球机器人技术, 它的视觉系统属于比较典型的快速识别和反应类型. 一般情况下, 它是通过彩色标志定标的方法来达到对队员和目标的识别, 以及通过扩展卡尔曼滤波器的预测功能来实现对目标的跟踪功能. 在硬件上, 采用一个现成的摄像机来实现一个机器人的图像采集系统.

本系统在设计上采用 CMOS 图像传感器代替 CCD 类型传感器进行采集图像, DSP 处理芯片 TMS320VC5509A 进行图像处理以及作为 CPU 控制,

在设计过程中, 为了直观显现机器人视觉系统识别和跟踪的效果, 专门采用了一个 TFT 格式的液晶来直观显示. 软件上, 采用了一部分足球机器人的视觉技术来达到对目标的快速识别, 通过全局的特征矩构建的雅可比矩阵达到对目标的自适应跟踪.

1 硬件部分设计

图 1 为系统硬件电路的功能模块框图.

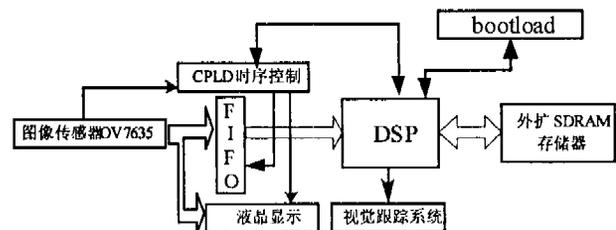


图 1 硬件系统框图

1.1 图像采集

视觉镜头把外部的图像信息成像在图像传感器的面阵单元上. 目前流行的图像传感器有面阵 CCD (Charged Coupled Device, 电荷耦合器件) 型和面阵 CMOS 两种. 相比较 CCD 型的图像传感器, CMOS 图像传感器的有源像素单元为每一个像素提供了放大器, 只需一个单供电低逻辑电平电压, 功耗只相当于 CCD

* 收稿日期:2006-05-30

作者简介:刘京诚(1962-),男,湖南安化人,重庆大学副教授,博士,研究方向为精密仪器及机械、机电一体化技术、机器人及传感.

的十分之一. CMOS 图像传感器内部集成了 A/D 转换部分, 直接输出数字信号. 基于这些因素, 本系统采用了 Omnivision 公司推出的 CMOS 彩色图像传感器 OV7635.

OV7635 的分辨力为 640X480, 能输出 3 种格式的 8 位数据: YCbCr4:2:2 模式、RGB4:2:2 模式和 RGB 原始数据模式. 输出 VGA 格式最大可达到 30 fps (fps: 每秒帧数). 能工作在逐行扫描下和隔行扫描下. OV7635 有主模式和从模式两种工作模式. 在主模式下, 同步信号和时钟不由外围设备控制. 在从模式下, OV7635 的场同步信号 VSYNC, 行同步信号 HREF 以及系统的晶振频率 XCLK 均由外部设备控制. 本系统采用的是主模式. OV7635 通过 I2C 总线配置片内寄存器, 使其输出原始数据. 系统上电复位后, 由 DSP 芯片的 I2C 总线信号对 CMOS 寄存器初始化. 然后 OV7635 就按要求输出图像信号. 包括行同步信号 HREF, 场同步信号 VSYNC, 像素时钟信号 PCLK, 数字图像信号.

1.2 液晶显示

为了很直观的看到视觉系统对人的识别和跟踪效果, 采用了一片 INNOLUX 公司的 PT035TN01 液晶显示屏. 为了不增加对 DSP 的负担, 同时也为了实时看到对外界目标物体的跟踪效果, 液晶显示的数据不经由 DSP, 直接通过传感器 OV7635 输出的图像数据信号和 CPLD 控制时序来进行显示. PT035TN01 是 3.5 英寸 TFT 格式的液晶, 分辨力为 $320 \times 3(\text{RGB}) \times 240$, 液晶 IF1、IF2 两输入控制脚对输入的数据格式进行选择: 串行 RGB 格式、CCIR601 格式、CCIR656 格式. 液晶的扫描模式有 4 种. 本视觉系统采用的输入数据格式是 CCIR601 格式, 扫描模式为由上到下和左到右的扫描模式.

在 CCIR601 格式下, 图像传感器输出的像素时钟 PCLK 通过 CPLD 二分频作为液晶的工作时钟, 图像传感器输出的行同步信号 HREF 经过 CPLD 的处理后作为液晶的行同步信号 HIS, 这样, 在 CPLD 控制下, 图像传感器 OV7635 输出的数据信号送入液晶中进行显示.

1.3 时序控制

OV7635 输出的场同步信号 VSYNC, 行同步信号 HREF 以及像素时钟信号 PCLK 接至 CPLD 芯片, 产生控制信号把 OV7635 输出的数据信号存入 FIFO 帧存储器 AL422B 中, 以及产生液晶的时钟和行同步信号

控制液晶的显示. CPLD 采用了 ALTERA 公司的 EPM7064 芯片. 在 CPLD 中完成了对 FIFO 的写控制、通知 DSP 读信号、液晶的时钟信号的产生等功能.

CPLD 接收场同步信号 VSYNC, 此信号的下降沿表示图像传感器输出一帧的开始, 此时 CPLD 产生 WRST 负脉冲复位 FIFO 的写指针. 场同步信号 VSYNC 下降沿后, 判断行同步信号 HREF 的上升沿到来, 接着利用像素时钟信号 PCLK 作为写时钟 WCK 将图像数据直接存储到 FIFO 中, 当存到一定的数后, 就及时发信号给 DSP, 以便 DSP 读取数据, 本系统采用的是一个中断 INTO 来通知 DSP. 此时 DSP 可以读数据也可以不读, 视处理的速度来定. 读数据时, 可利用 RD 和片选, 产生 RCK 信号. DSP 读取的速度不能太快, 以读取速度小于写速度为原则. 在对液晶的逻辑时序控制上, 由于图像输出的信号是 640×480 的像素, 而液晶的显示为 320×240 的格式. 所以利用 CPLD 把图像传感器输入的像素时钟信号 PCLK 进行二分频产生液晶的时钟信号控制液晶的显示, 同时对行同步信号进行隔行有效从而达到液晶对图像的显示. CPLD 中的程序编写用的采用了硬件描述语言 VHDL, 在 QUARTUS II 软件平台上进行编写的. 由于在选用芯片时采用的是 EPM7064S 系列的 44 脚 PLCC 封装的, 只能工作在 5 V 电压情况下, 其输出的高电平信号是 5 V, 必须通过处理才能接入系统中工作在 3.3 V 状态下的芯片器件.

1.4 帧存储器选择

帧存储器有需要外部提供地址线的 RAM 和不需要外部提供地址线的 FIFO, 为了简化 CPLD 的设计, 采用了 FIFO 的帧存储器. FIFO 又可以分为基于动态存储的 DRAM 和基于静态的 SRAM. 基于静态 SRAM 的优点是不需要刷新电路, 但容量小, 需要多片才能存储一帧数据; 基于 DRAM 的优点是容量大, 只需一片就能存储一帧数据, 缺点是必须有刷新电路. 本设计中采用的是 Averlogic 公司的大容量 FIFO 动态存储芯片 AL422B. 其刷新电路比较简单, 仅需 WCK 或 RCK 提供大于 1M 的不间断脉冲即可. AL422B 的存储容量为 3 MB, 由于系统一帧的信息通常包含 640×480 个彩色像素, 每个像素占用 2 个字节, 可存储 1 帧图像的完整信息, 其工作频率可达 50 MHz.

1.5 视频处理 DSP

在选用 DSP 时, 在兼顾处理速度, 存储容量, 现有

条件下的加工工艺水平,以及性价比方面,选用了TI公司的144脚封装的TMS320VC5509A,此芯片的最高工作频率可达到200 MHz,具有很高的处理速度。

DSP收到来自CPLD的读通知信号后开始读取AL422B中的视频数据。为了方便处理数据,在DSP外围扩展了一个的SDRAM。芯片采用的是HYNIX公司的HY57V161610E,此芯片的存储容量为 $1M \times 16$ bits。

当DSP上电复位后,通过采样GPIO₀~GPIO₃的状态,根据采样的状态来进行什么样方式的程序装载。本系统的采用外接的flash存储芯片的SPI口对DSP进行程序装载,接着通过DSP的I2C口对图像传感器进行寄存器初始化。图像传感器开始输出信号。整个系统开始进入工作。

DSP作为高速的处理器,主要用于图像的处理。由于本视觉系统要完成识别和跟踪功能,数据的处理量是很大的。在完成图像处理的同时,DSP也作为控制器使用完成对控制器的控制,从而构成视觉跟踪系统。

2 软件部分设计

由于本系统采用的是颜色和形状相结合的办法对无遮挡目标物体的识别。为了达到机器人实时快速的目的,在软件方法上,主要采用了目前常用的足球机器人的颜色识别方法,目前比较常见是基于阈值向量的颜色判断法。下面简述颜色识别原理。

2.1 色彩空间选择

对于采用基于彩色图像分割的方法识别目标时,首先要选择合适的颜色空间,常用的颜色空间有RGB、YUV、HSV、CMY等。颜色空间的选择直接影响到图像分割和目标识别的效果。

RGB:是最常用的颜色空间,其中亮度等于R、G、B3个分量之和。RGB颜色空间是不均匀的颜色空间,两个颜色之间的知觉差异与空间中两点间的欧氏距离不成线性比例,而且R、G、B值之间的相关性很高,对同一颜色属性,在不同条件(光源种类、强度和物体反射特性)下,RGB值很分散,对于识别某种特定颜色,很难确定其阈值和其在颜色空间中的分布范围。因此通常会选择能从中分离出亮度分量的颜色空间,其中最常见的是YUV和HSV颜色空间。

HSV:接近人眼感知色彩的方式,H为色调(Hue),S为色饱和度(Saturation),V为亮度(Value)。色调H能准确地反映颜色种类,对外界光照条件变化

敏感度低,但是H和S均为R、G、B的非线性变换,存在奇异点,在奇异点附近即使R、G、B的值有很小变化也引起变换值有很大的跳动。

YUV:RGB颜色空间线性变化为的亮度-色彩空间。是为了解决彩色电视机与黑白电视机的兼容问题而提出的。Y表示亮度(Luminance),UV用来表示色差(Chrominance)。YUV表示法的重要性是它的亮度信号(Y)和色度信号(U、V)是相互独立的。所谓色差是指基色信号中的3个分量信号(即R、G、B)与亮度信号之差。

因此,针对以上原因,本系统在采用的是YUV色彩空间。

YUV格式与RGB存在如下关系:

$$\begin{cases} Y = 0.59G + 0.31R + 0.11B \\ V = R - Y \\ U = B - Y \end{cases}$$

2.2 阈值确定和色彩判断

在确定阈值时,首先通过采集样本进行训练,从而得到预定的几种颜色在YUV空间的分量的上下阈值,如图2所示。

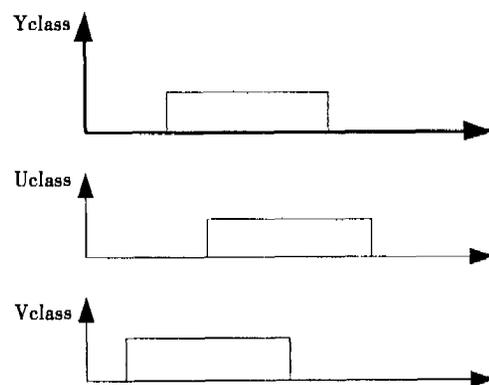


图2 三维色彩空间二值阈值问题

当一个待判定的像素在色彩空间中的位置落在这个长方体中时,就认为该像素属于要找的颜色,从而完成对图像颜色的识别。

在Y空间中,Y值表示亮度,因它的变化很大,所以只考虑了U和V的值,在进行颜色判断时,首先分别建立U、V的阈值向量。

由于在系统中图像传感器的数字信号是8位,即1 Byte,共255 Byte,系统最多能判定8种颜色。

在颜色识别后进行图像分割,在图像分割中采用了种子填充算法,其整个种子的填充是和像素点的颜色同

时进行的,一开始不是对所有的像素进行处理,而是分块进行的,本系统采用的块是 32×24 像素,这样计算量大大减小.当中心点是所要识别的颜色时,就以这个点为种子向四周扩散,并判定周围像素点的颜色,直到填满整个块.在这过程中,同时对目标进行形状识别.本系统采用了基于全局的特征向量的识别算法来进行识别.同时也为构建雅可比矩阵得到需要的矩特征量.图 3 为图像识别分割流程图.

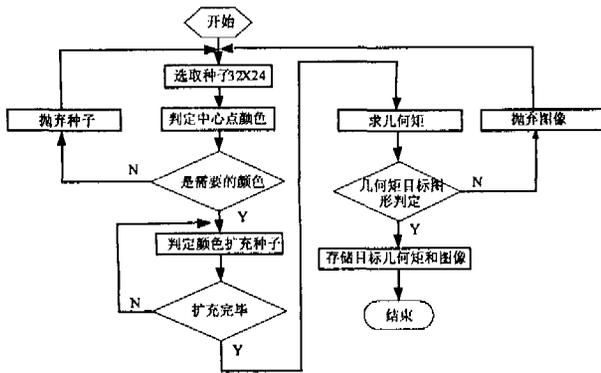


图 3 图像识别分割流程图

2.2 视觉跟踪软件原理

当目标物体被识别以后,视觉系统将调整镜头使目标位于视野的中心.一旦物体运动,视觉系统将进行对目标物体的跟踪.

在机器人视觉跟踪系统上,采用无定标的视觉跟踪系统.无定标的视觉跟踪不需要事先对摄像镜头进行定标,而是应用自适应控制方面的原理,在线的实时调整图像雅可比矩阵.通过二维的图像特征信息反馈,这种方式对摄像机模型误差和机器人模型误差、图像误差、图像噪声不敏感.

基于图像跟踪的视觉跟踪控制系统,如图 4.

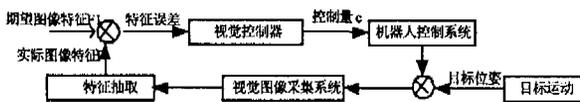


图 4 视觉跟踪控制结构图

控制量 c 为机器人头部的控制系统.首先把目标放在机器人视野的前方采集到期望的图像,从期望图像中抽取期望的特征集,作为视野跟踪控制系统的期望输入,从而完成任务需要的视野特征集定义.在实时控制系统中,由机器人的图像传感器获取实时采样图像,从中获取实时特征集,这样构成一个视野反馈,引导机器人完成跟踪任务.区别于图像的简单几何特征,本系统

选用的视觉特征集为全局的图像描述—图像矩.

根据矩特征变化量与相对位姿变化量之间的关系矩阵,即图像雅可比矩阵,然后利用推导的图像雅可比矩阵,设计了视觉跟踪控制器,完成系统对 3D 目标物体的平动跟踪.

3 实验结果

图 5 为 DSP 为 clkout 脚输出波形,表明 DSP 的内部时钟电路工作正常.图 6 的图像传感器输出数据波形证明了图像传感器工作正常.图 7 的 DSP 采集到的图像数据,可以确定整个图像采集硬件电路工作正常.

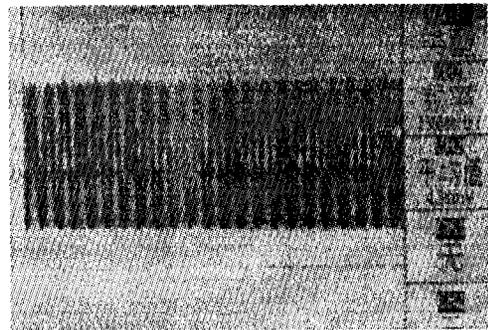


图 5 DSP 的 clkout 输出的时钟波形

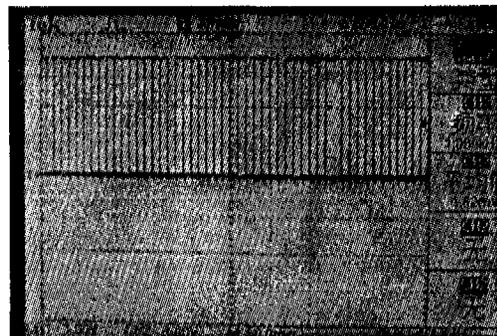


图 6 图像传感器输出数据波形

4 结论

针对服务机器人的视觉系统,本文通过构建它的硬件系统和软件系统完成了整个系统的设计.在硬件系统上,采用了 CMOS 图像传感器,CPLD 时序控制,异步动态 FIFO 的数据缓存,以及高速 DSP 处理器构成了一个典型的图像采集系统,并调试输出了图像信号.在软件设计上,采用了足球机器人的彩色识别和彩色分割识别技术去完成视觉系统快速准确的识别,采用基于动态的工作方式以及采用基于图像的雅可比矩阵的控制原理,去实现自适应补偿跟踪控制系统.

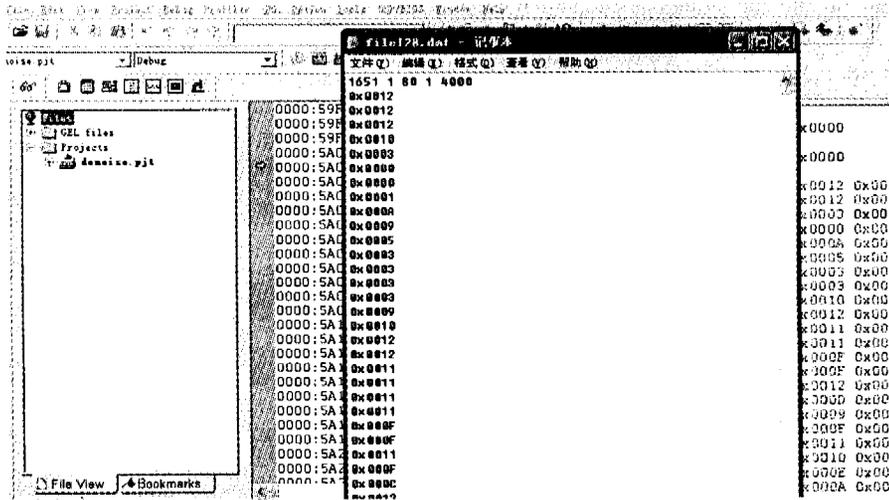


图7 DSP 采集到的图像数据

参考文献:

- [1] 赵负图. 现代传感器集成电路[M]. 北京:人民邮电出版社, 2000.
- [2] 杨枝灵,王开等. Visual C++ 数字图像获取处理及实践应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
- [3] 汪春梅,孙洪波,任治刚. TMS320C5000 系列 DSP 系统设计与开发实例[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [4] 刘益成. TMS320C54X DSP 应用程序设计与开发[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [5] 侯伯亨,顾新. VHDL 硬件描述语言与数字逻辑电路设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [7] 周远清,张再兴. 智能机器人系统[M]. 北京:清华大学出版社,1989.
- [8] 何超,熊蓉,戴连奎. 足球机器人视觉图像的快速识别. 中国图象图形学报,2003,8(3):272-275.
- [9] 林靖,陈辉堂,王月娟,等. 基于图像矩的运动目标3D平动视觉跟踪[M]. 机器人,2000,22(3):217-223

Design of Vision System Based on Service Robot

LIU Jing-cheng, LIAO Zhi-yong, ZHU Mu-jian, LIU Jun

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems Under the State Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract : A vision system based on the service robot is involved. In the system, picture signal is acquired by the picture sensor OV7635. Frame memory AL422B is used as data buffer memory, while CPLD controlled the time order DSP performed. In the software system of image processing, to accomplish color image segmentation and recognition, the threshold vector judgment and improved seed-fill algorithm is introduced, and the image geometric moment is calculated during the segmenting. In order to achieve a vision servo system which composed of image-based feedback and adaptive compensation, the deduced matrix-based Jacobian from the image moment is taken as image feature. Adopted the TFT LCD is adopted to straightly display the result of vision recognition and vision tracing.

Key words : vision system ; threshold vector; seed-fill; image moment; matrix-based Jacobian

(编辑 张小强)