

自动机器人视觉控制系统

米良川 杨子夫 李德升 王云博 罗玉平 中国科学技术大学电子科学与技术系(230026)

Abstract

The 1st ABU Robocon Contest was held on Aug,31st,2002 in Tokyo,Japan.The RobotGroup from USTC, which has won both the 1st and the 2nd places in CCTV Robocon Contest,took part in the big contest representing China,and got the 2nd place in the final match.The robot based on Computer-Vision got the Best Engineering Award.This article will introduce the whole design and process of the super robot's Vision Control System.

Keywords:robot,robotic,vision,computer vision,control system,Robocon Contest

摘要

ABU(亚广联)于2002年8月31日在日本东京举行了首届亚太地区大学生机器人大赛,CCTV中国大学生机器人大赛冠军得主中国科技大学机器人队代表中国参赛并荣获亚军。我们研制的由视觉系统控制的机器人还获得了最高技术奖,成为本次大赛的一个亮点。本文介绍了这个机器人的视觉控制系统。

关键词:机器人,计算机视觉,控制系统,Robocon Contest

1 研究背景及介绍

亚广联在2002年8月31日在日本东京举行首届亚太地区大学生机器人大赛,有包括中国在内的20个国家参赛。于是中央电视台决定从2002年开始在国内举行一年一度的全国大学生机器人电视大赛,以选拔代表参加东京大赛。2002年6月中旬,两队中国科大机器人在中国首届大学生机器人大赛中囊括冠亚军,其中有视觉控制的机器人夺得冠军。8月31日,中国科大机器人在东京的亚太地区的比赛中获亚军。视觉控制机器人还荣获最高技术奖,受到日本机器人专家的一致认同,并且指出这是机器人发展的一个方向。

目前工业机器人已经广泛应用,日本还有类人的双足舞蹈机器人,但是始终有一个仿生的瓶颈无法突破,那就是视觉识别。机器人视觉实际上是计算机视觉的一个应用,但由于运行环境,图像采集方式及处理速度等因素的限制,机器人视觉领域对识别方法和人工智能都有新的要求。在这个方面,我们做了一些尝试。

2 整体系统设计介绍

我们的机器人的基本任务是:在场地上找到带有彩色竖条的有机塑料桶并将一个充气气球投入其中,如图1。机器人控制图如图2所示。

(1)主控制机

控制机是机器人的大脑,处理所有信息和控制机器人的所有行为。

CPU:中央处理系统采用计算机系统,即:工控机主板+PII866CPU+Windows操作系统,这样就构成一个视觉控制系统的中央处理器。

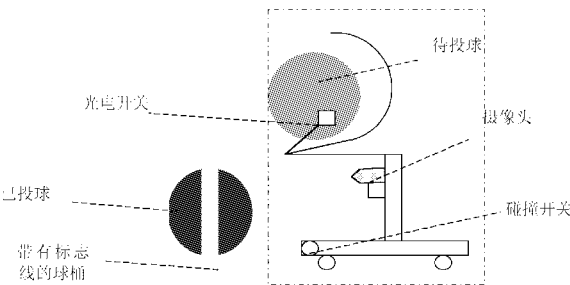


图1 系统结构示意图

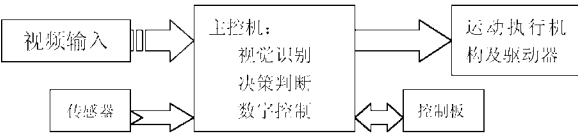


图2 控制示意图

图像采集:实时图像处理信息量大,处理速度快,对输入设备要求很高,于是我们采用PCI接口的专业图形采集卡,可以得到每秒29帧的高保真图像。当取景设备较快移动或场景较快变化时,图像无延迟,采集的设备无关位图基本没有模糊和重影现象。当运动很快时,位图中物体的边缘发生模糊,对识别有一些影响。实时图像处理建议不要使用USB接口的图像采集设备,采集速度小,容易出现模糊的位图。

I/O控制:计算机的浮点和整数运算能力都很强,足以应付一般的数字控制。为了得到更快,信息量更大的数字控制,我们采用了专业AD/DA数字信号采集输出卡,为PCI接口的。这块卡可以提供32个模拟量监控,4个模拟量输出,8位数字输入,8位数字输出,3个8位计数器等,还可以提供中断服务。CPU处理得到的模拟信号数字量和数字信号后,将相应的控制信

号输出到模拟和数字输出口。

(2)驱动器

接口控制板：由 AD/DA 卡输出的数字信号无法直接控制机器人的运动，专门设计了一块用数字电路搭建的将这些数字信号放大或转换为可以直接发到电机驱动板的信号，通过数字编码解码电路扩充输入输出信号量。还包括一块模拟信号→PWM 信号电路板。

电机驱动板：采用传统的轮式驱动结构，为直流伺服电机，带有一定的减速比。除驱动轮外还有几个用作其他用途的伺服电机。自制了一种驱动板，采用成品 3952A 直流电机驱动芯片，用 PWM 信号调节速度。

(3)执行机构

包括机器人地盘，投球机构等机械机构。

(4)传感器

我们采用的传感器及用途如表 1。

表 1 传感器及用途

传感器名称	数量	型号,说明及用途
摄像头	1 或 2	真彩 480 线,建议使用 320 * 240 分辨率,可变焦拉伸镜头,建议使用数控变焦或变光圈。用来采集机器人前方图像。
红外近距光电开关	1	10 厘米以上感知距离,用来判断是否将球投出。
点触式碰撞开关	若干	用来判断是否接触到球桶或障碍物,并将相应信息通过开关传回中央处理器。

3 视觉识别系统

视觉控制系统从采集的位图中得到球桶的位置及是否有球等信息,从而决策机器人的运动。关键就是分析出球桶信息。但由于特定的识别环境和目标不同,需要更新不同的识别算法。从图 3 中我们可以看到球桶的形态,规格。我们处理的图像是通过线阵 CCD 摄像头实时获取的,通过采集卡得到 Windows 环境下通用的 DIB 位图数据(RGB24 真彩),处理流程如图 4。

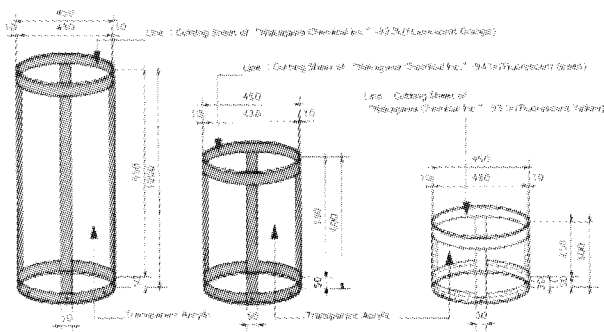


图 3 球桶形状规格

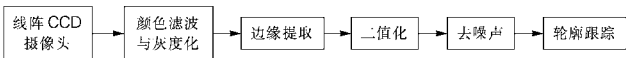


图 4 图像处理流程

3.1 颜色过滤和预处理

图像在从摄像头传输到采集卡的过程中，机器人

运动,机器人振动和摄像头采集信号失真,不同环境光线的变化,以及复杂背景等产生噪声干扰。所以处理的第一步是采用一个最佳的去噪方法，并且尽量不受光线的影响。

如图 3 所示，三种球桶的颜色分别为荧光橙色，荧光绿色,荧光黄色。此三种颜色在 RGB 分量上都有典型的特征,如荧光橙色,在 R 分量上接近 0xFF,荧光绿色在 G 分量上接近 0xFF，而荧光黄色在 G 分量上也接近饱和,但是和荧光绿色在 R 分量上有明显的不同。所以,通过在现场拍摄图片,然后通过 RGB 分量分析软件很容易取得一个较好的阈值。满足颜色阈值关系的像素,将其三个分量均置为 0xFF,即黑色,而不满足颜色关系的像素的三个分量均置为 0x00,即白色。将经过处理输出的图像灰度化。即将 24 位的真彩图像数据格式转存为 8 位的灰度图像数据格式。

我们还尝试了将 RGB 格式转化为 HLS(色调,亮度,饱和度)格式再设阈值去噪声的办法,这样就可以直接去除光线的影响。但是考虑到室内比赛场地光源稳定,并且转化 HLS 比较耗费时间,这样做是没有必要的,只用 RGB 设阈值就可以满足要求了。

直接采用 RGB 去噪声的方法和将图像先转化为 HLS 格式出噪的方法相比，受光线强弱的影响较大,但由于比赛在室内进行,光源稳定,因此可以忽略光线强弱影响。相反,在实时图像处理中,从 RGB 到 HLS 的转化,320 * 240 的图片，采用 Pentium866 的工控机需要 30ms,耗时较长。

3.2 边缘检测与二值化

球桶的轮廓主要由两部分主成,即横条和竖条。这是选择边缘检测算子的出发点。常用的边缘检测算子有:Laplacian 算子,Diff 变换,Sobel 算子。Laplacian 算子对噪声很敏感。实验发现,Sobel 算子效果较好。考虑到轮廓的水平方向性和竖直方向性，我们分别采用了 sobel 算子的 vertical 和 horizontal 的模板。

表 2 Sobel 算子模板

1	2	1	1	0	-1
0	0	0	2	0	-2
-1	-2	-1	1	0	-1

对于数字图像 f(x,y),考虑 3 * 3 的领域,对于上图所示的模板,e 点的灰度值

$$G_e = \sqrt{d_1^2 + d_2^2} \quad d_i = D_i^T \cdot X \quad i=1,2$$

在水平方向上，考虑到要精确定位的原因，先用 Laplacian 算子进行了卷积,然后再用 sobel horizontal 处理。经过上述处理后,对图像进行二值化,将 8 位

的位图转化为 2 位的位图。

表 3 Laplacian 算子模板

-1	-1	-1	$g(x,y)=1,f(x,y)=0xFF$ $g(x,y)=0,f(x,y)=0x00$
-1	8	-1	
-1	-1	-1	

3.3 轮廓跟踪

轮廓跟踪的目的是确定桶的中心在拍摄图片中的坐标位置,从而确定机器人的运动方向。步骤如下:

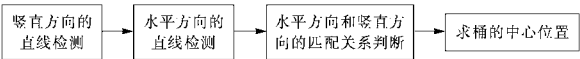


图 5 轮廓跟踪流程

(1) 竖直方向和水平方向的直线检测

竖直方向直线检测的目的是求直线长度和直线中心的坐标位置。因此,在轮廓跟踪时候,必须得到完整正确的直线。经过 sobel vertical 算子作用并二值化后,得到的竖直方向的直线有以下情况:

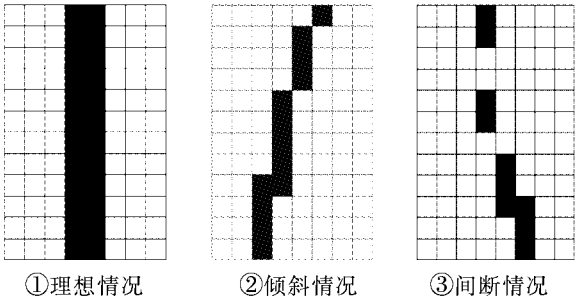


图 6 竖直方向检测情况

针对上述三种情况,设置跟踪方向选择数组

```
Direction[MAX][2]={x1,y1},{x2,y2},{x3,y3}
{x4,y4},{x5,y5},{x6,y6}
.....};
{x,y}:x 代表横坐标的增量,y 代表纵坐标的增量
1) 假设当前所在位置(CurrentPoint.x,Current-
Point.y)为一个黑点,那么下一个要判断的点是:
NextPoint.x=CurrentPoint.x+Direction[i][0];
NextPoint.y=CurrentPoint.y+Direction[i][1];
2) 如果 (NextPoint.x,NextPoint.y)=="BLACK-
POINT"则将 NextPoint 置为 CurrentPoint.否则 i=i+1,
再回到 1)。
```

3)当 $i \geq MAX$ 的时候,证明该直线已经到了尽头
总之,通过方向数组的设置,可以实现直线的矫正,断点的跳跃,达到求得完整直线长度的目的。

水平方向和竖直方向情况类似,不再赘述。

(2) 水平方向和竖直方向的匹配关系和球桶中心位置的确定

水平方向的直线长度为 L_x ,中心坐标为 (X_1, Y_1) ;
竖直方向的直线长度为 L_y ,中心坐标位置为 (X_2, Y_2) 。则

当满足关系:

$L_x/L_y \approx 450/1000$ or $L_x/L_y \approx 450/600$ or $L_x/L_y \approx 450/300$
 $X_1 \in (X_2-L_x/2, X_2+L_x/2)$

可以认为当前屏幕中有一球桶存在。球桶的中心坐标即为 (X_2, Y_1) 。

3.4 实际处理结果(每幅图像的处理时间<30ms。)

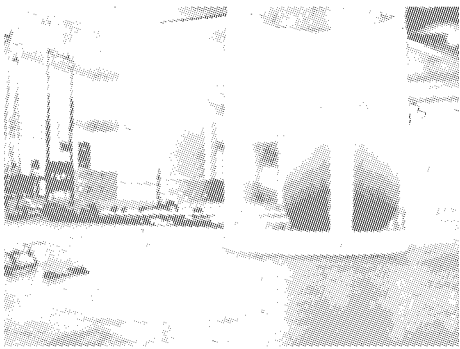


图 7 原始图像

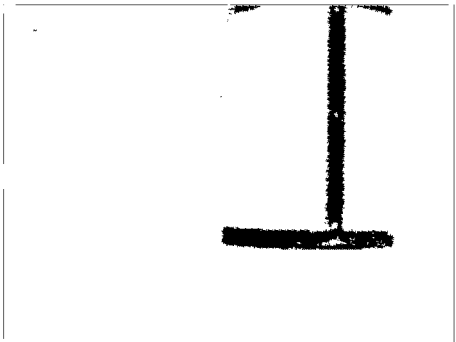


图 8 颜色判别和灰度化

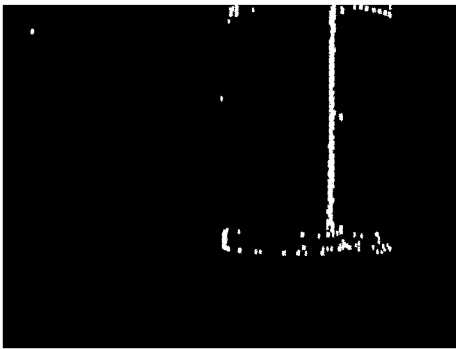


图 9 sobel vertical 并二值化后

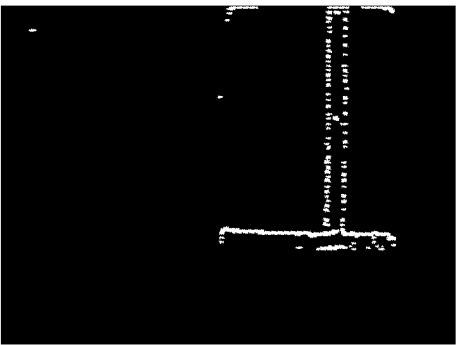


图 10 sobel horizontal 并二值化后

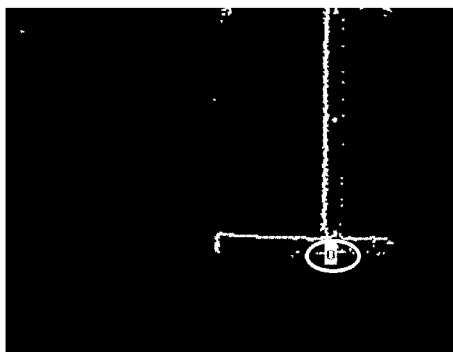


图 11 vertical 和 horizontal 相加后中心位置确定

3.5 判断与决策

当有球桶在视野内时,有以上算法可以得到它的水平坐标 x (设 X 为图像宽度)

如果 x 小于 $X/2-d$ 时,机器人向左偏移行走;

如果 x 大于 $X/2+d$ 时,机器人享有偏移行走;

如果 x 介于 $X/2-d$ 和 $X/2+d$ 之间时,认为目标在视野正中,机器人直走。

其中, d 表示拟定的中心区域的宽度,一般设为 10~20 像素。这样就可以实现机器人跟踪目标行走。当机器人行至球桶前时,一旦前方的碰撞开关撤动,则认为已经到位,开始投球。前方光电开关检测到球已通过,则结束所有动作,寻找下一个投球目标。

当没有球桶在视野内时,机器人原地旋转与前后行走随机运动,直至捕获下一个目标在视野中,重复以上动作。

4 结束语

我们所研制的机器人实际上是一个比较完整的机器人视觉系统,根据不同的条件,可以更新不同的视觉识别算法,甚至采用更高级的带有人工智能模式匹配的识别算法。但其系统的原理和构成和上述基本是一致的。

通过比赛,验证了我们的完全基于视觉的机器人控制系统的可行性和稳定性。而且这一类机器人有一

个最大的优点在比赛中得到了肯定,就是抗干扰能力强。在日本东京的比赛中,我们遇到了两个非常强劲的对手,一个是日本的冠军丰桥科学技术大学,一个是泰国的冠军队。日本代表队的机器人动作非常迅速,10 秒钟就可完成所有投球,我们的视觉机器人出发后直接行驶到对方的路线上,结果成功阻挡了对方,发生碰撞后两方的机器人都偏离了既定路线,丰桥的机器人完全无法继续工作,而我们的机器人在搜索后又返回场地中央继续投球,结果我们以 18 比 5 胜出。泰国队有一个非常长而坚固的链条机器人,可以横亘在场地上使对方机器人无法通过,比赛开始后我们的视觉机器人直接向泰国的阻挡机器人开去,两个机器人冲撞到一起,使对方的阻挡策略完全实效,我们的其他自动机器人顺利出发完成投球,而我们的视觉机器人感知到障碍存在后,前后移动左右旋转,终于摆脱泰国阻挡机器人回到中心场地继续投球,结果我们以 17 比 1 胜出。

视觉的采用在一定程度上替代了一部分人工智能的作用,使其更容易适应复杂的运行环境,并且更容易从外界获取更多,变化更快的信息。这也就是为什么人类不能没有眼睛的原因。参与这次亚广联机器人竞赛评奖的日本机器人专家对我们的视觉控制系统给与很高的评价并且指出这是机器人发展的重要方向之一。

参考文献

- 1 黄信新.实时图像轮廓抽取算法研究.计算机应用,2001(3)
- 2 胡青泥.一种包括隐含图形信息提取的工程图识别算法.计算机辅助设计与图形学学报,2002(1)
- 3 Intel Image Processing Library
- 4 徐蔚然.基于语法语义信息的多滤波器集成边缘检测.模式识别与人工智能,2001(12)

[收稿日期:2002.10.27]

首届全国信息获取与处理学术会议征文通知

首届全国信息获取与处理学术会议将于 2003 年 9 月初在沈阳召开。征文范围:(1)各种测量、计量、检测、监测、探测、测试、实验、试验(以下统称测量)等方法研究;(2)各类传感器、敏感元件、仪器仪表、测量装置的新原理、新技术、新元件、新材料、新工艺的研究;(3)测量过程中的信号传输(如现场总线技术等);(4)模式识别(图像、语音、生物特征识别等);(5)数据处理;(6)化学分析方法与仪器;(7)环境监测技术;(8)天体、大地、海洋测量;(9)地质矿产勘探,地热、地震、火山、地磁、地电、水文观测,大气探测,矿山安全检测;(10)临床医学影像检查、实验室检验;(11)金属材料与金属腐蚀试验,实验应力分析;(12)生产过程自动化;(13)其它。

本次会议将另外征集 600 字以内的摘要论文(中文),可以与本次会议投稿内容相同,2003 年 9 月之前由中国科学技术出版社出版,不额外收取费用。

有关本次会议具体时间、地点等相关信息请关注沈阳测控信息网 <http://www.syias.org.cn>

电话:024-25691417 25415320 传真:024-25415320 电子信箱:webmaster@syias.org.cn 或 webmaster@meeting.org.cn

中国仪器仪表学会

2003 年 2 月 18 日