

基于全向视觉和前向视觉的足球机器人目标识别

卢惠民 王祥科 刘 斐 季秀才 郑志强

(国防科技大学机电工程与自动化学院,长沙 410073)

摘 要 为了快速正确地进行机器人的目标识别,首先介绍了 RoboCup 中型组足球机器人 NuBot 使用的全向视觉系统及其目标识别方法;然后通过引入一套简单的前向视觉系统来弥补全向视觉的不足,以提高机器人对其前方目标球的感知识别精度,同时给出了一种简单有效的前向视觉系统标定方法;最后介绍两套视觉系统共同工作的实现机制,以提高机器人的目标识别处理速度。实验结果表明,两套视觉系统能够很好地共同完成机器人的目标识别。

关键词 足球机器人 全向视觉 前向视觉 目标识别

中图分类号: TP242.6+2 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2006)11-1686-04

Omni-Vision and Front Vision Based Object Recognition for Soccer Robots

LU Hui-min, WANG Xiang-ke, LIU Fei, JI Xiu-cai, ZHENG Zhi-qiang

(College of Mechatronics and Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract The omni-vision system for RoboCup middle-size league soccer robot-NuBot and its method for object recognition are introduced firstly in the paper, and then a simple front vision system is used to improve the accuracy of recognition of the ball in front, and meantime an easy and effective calibration method for front vision system is presented, and finally the realization mechanism for the two vision systems working together is introduced, in which the processing speed of robot's object recognition can be accelerated. The experimental result shows that the object recognition can be done successfully with the function of both vision systems.

Keywords soccer robot, omni-vision, front vision, object recognition

1 引 言

能够自主完成目标识别是 RoboCup 中型组足球机器人的基本要求,也是机器人规划决策完成比赛任务的基础。比赛中需要识别的目标包括球、球门、立柱、带有不同色标的双方机器人等。折反射全向视觉系统是其最重要的传感器之一,该系统由摄像机和全向反射镜面组合而成,其中全向反射镜面起着反射光线的作用,而摄像机则通过镜头折射来采集全向反射镜面反射的光线。前向视觉系统则较为简单,其仅需要在机器人上安装一个对准正前方的摄像机即可。前者具有 360° 的水平视角,能够获取机器人周围场地的全景图像,经过图像处理即可

实现目标识别和机器人的自定位,以提供机器人决策所需要的信息。后者虽视角有限,但可以实现机器人前方近处精确的目标识别。

2 全向视觉系统目标识别

NuBot 机器人使用了一种新的自主设计的全向视觉系统^[1](如图 1 所示),它能使距机器人附近 6.5m 范围内的水平场景的成像分辨率不变。该系统采集的典型全景图像如图 2 所示。图像中黑色圆圈以内的范围为需要处理的有效部分,可通过事先标定来确定该圆,并得到圆心,即可获得机器人自身在全景图像中的成像位置,即图 2 中的黑色方块处。

由于机器人足球赛是处于一个高度颜色编码化的

基金项目:国家高技术研究发展计划“863”项目(2001AA422270);国家自然科学基金项目(69975023)

收稿日期:2006-06-30;**改回日期**:2006-08-30

第一作者简介:卢惠民(1980~),男。2005 年于国防科技大学获得硕士学位,现为国防科技大学博士生。主要研究方向为机器人视觉、图像处理、机器人足球。E-mail:lhnew@nudt.edu.cn

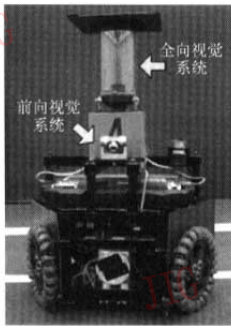


图 1 NuBot 足球机器人

Fig. 1 The soccer robot-NuBot

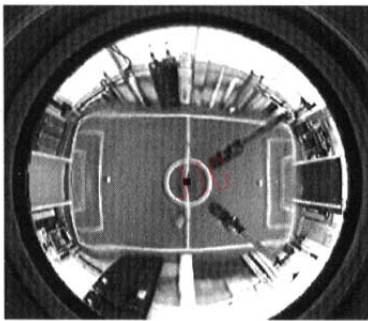


图 2 全向视觉系统获得的球场全景图像(12×7m)

Fig. 2 The panoramic image captured by omni-vision system

环境,因此首先使用颜色信息进行图像分割,即给图像的每个属于某一颜色类的像素点赋予相应的颜色标号。本文选择使用对不同的颜色类具有较强的区分能力,且对光线的变化具有一定的适应性的 YUV 颜色模型,并根据事先标定好的颜色查找表进行图像分割。图像分割完成后,再使用游程长度编码算法^[2]将相邻的具有相同颜色标号的像素点连接成一系列区域,同时获得区域属性,如区域大小和区域中心等。可使用如下规则从上述候选区域中获得目标区域:

- (1) 红色区域(黑白图像上为灰黑色)中最大的一个为球区域;
- (2) 不与蓝色区域相邻的黄色区域中最大的一个为黄色球门区域(黑白图像上呈灰白色);
- (3) 不与黄色区域相邻的蓝色区域中最大的一个为蓝色球门区域(黑白图像上呈黑色);
- (4) 在以图像上机器人自身位置为中心的极坐标系中旋转做沿径方向由内向外的扫描,矢径方向上存在蓝色-黄色-蓝色区域过渡的区域中,最大

的和次大的为比赛场地上的两个蓝色方立柱;存在黄色-蓝色-黄色区域过渡的区域中,最大的和次大的为比赛场地上的两个黄色方立柱;

(5) 较大的若干粉红和天蓝色区域为双方机器人色标区域。

最后将提取出来的目标区域的区域中心与机器人自身连线方向上距离机器人最近的区域点认为是目标在图像上的位置,称之为目标点。图像颜色分割和目标特征提取的结果如图 3 所示,图中黑色的方块点即为目标点。又根据该全向视觉系统的成像特性,即距机器人附近 6.5m 范围内的水平场景的成像分辨率不变,因此图像上球、球门、立柱等目标点到机器人自身的像素距离乘上一个固定比例系数,即可得到目标点到机器人自身的实际距离,色标由于位于机器人的一定高度处,需要再做一次投影变换^[1]即可得到检测出来的其他机器人到机器人自身的实际距离。图 3 中检测出来的球、黄色球门(即灰白色区)、蓝色球门(即黑色区)、两个机器人在机器人坐标系中的坐标分别为 $(-58.9, 169.5)$ 、 $(-655.8, -11.1)$ 、 $(585.8, -7.4)$ 、 $(95.8, 86.0)$ 、 $(95.8, -73.7)$, 其中机器人坐标系是一个以正前方为横坐标方向的右手系,单位为 cm。此外,还可以通过快速 Hough 变换提取出场地的白色标志线及融合里程计等其他传感器的信息来获得机器人的自定位值。

通过上述描述的方法,机器人就能够在绝大部分情况下较好地利用全向视觉系统完成目标识别任务,但是由于镜面加工上的误差,特别是镜面尖端处的加工难度较大,使得机器人附近成像差异较大(如图 2 所示),不仅造成机器人自身成像处附近白线发生扭曲,而且由于球属于较小的目标,这就造成球在机器人附近时没有成像,或者成像误差较大,而这个误差

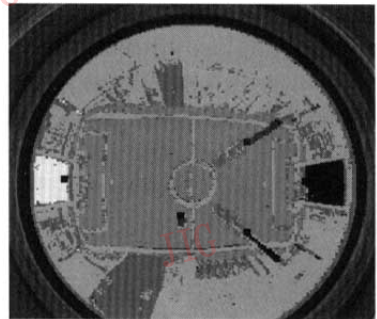


图 3 全景图像颜色分割和特征提取的结果

Fig. 3 The result of image segmentation and feature extraction

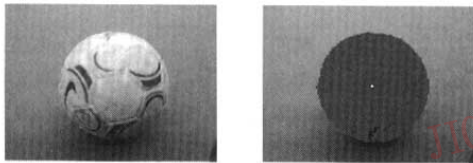
又很难校正,所以当球在机器人近处时,机器人对其的识别精度较差,其误差最大能达到 20cm,这不利于带球等需要精确目标信息的动作规划的实现。

3 前向视觉系统的引入

由于全向视觉系统目标识别上存在上述不足,本文通过引入能够完成机器人近处正前方精确目标识别的前向视觉来弥补。简单廉价的网络摄像头即可作为前向视觉的摄像机(如图 1 所示)。

3.1 前向视觉对目标球的识别算法

前向视觉获得的图像相对比较简单(如图 4(a)所示),由于目标球与背景存在明显差异,因此将采集到的 RGB 图像转化到 HSI 空间后很容易实现图像的二值化,即把图像分割为红色区域和非红色区域,再使用区域生长算法来提取出目标区域,即可得到区域重心作为目标点在图像上的位置。前向视觉识别目标球的流程图见图 5。图像处理结果如图 4(b)所示,图中白点即为目标点,其在 320×240 大小的图像上的横向和纵向像素值分别为 164、116。



(a) 前向视觉图像 (b) 图像处理结果

图 4 前向视觉图像及其处理结果

Fig. 4 The image of front vision and the processing result

3.2 前向视觉系统的标定

得到目标点在前向视觉图像上的位置后,需要进一步估计其在机器人坐标系中的坐标,这需要进行前向视觉的标定。由于本前向视觉系统的摄像机不使用广角镜头,因此本文假设摄像机的成像模型为针孔成像模型,可以忽略摄像机内外参数的标定^[3,4],所讨论的视觉标定是指获得目标点从图像坐标系到机器人坐标系的坐标映射关系。机器人坐标系横坐标方向上的前向视觉成像示意图如图 6 所示,其中 h 为摄像机距离水平面的高度, x_0 为摄像机光轴与水平面的交点到摄像机的水平距离,两者均可以测量得到,进而可根据 $\tan\theta = h/x_0$ 计算出 θ , D 为参考平面在机器人坐标系横坐标方向上能够被摄像机观察到的宽度, d 为摄像机到该参考平

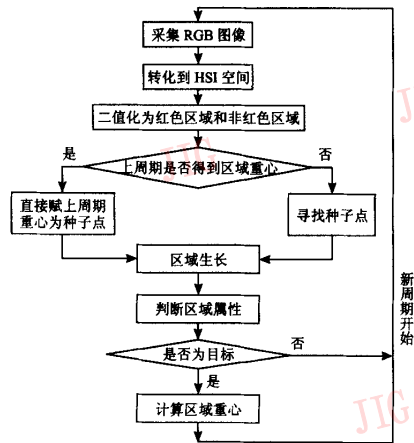


图 5 前向视觉识别目标球流程图

Fig. 5 Ball recognition by front vision

面的距离, w 为摄像机成像面的宽度。

假设一个目标点位于机器人坐标系横坐标方向上距摄像机水平距离 x 处,其成像点在图像纵向上偏离图像中心的距离为 i_x ,根据图 6 可得如下推导:

$$\tan\alpha = \left(\frac{i_x}{w/2} \times \frac{D}{2} \right) / d \quad (1)$$

$$\beta = \theta + \alpha \quad (2)$$

$$x = h / \tan\beta \quad (3)$$

又因为假设摄像机焦距为 f , 且 $\frac{D/2}{d} = \frac{w/2}{f}$, 所以最后推得

$$x = h / \tan(\theta + \arctan(i_x/f)) \quad (4)$$

对机器人坐标系纵坐标方向上进行类似推导可得

$$y = \frac{i_y \times x \times \cos(\arctan(i_x/f))}{f \times \cos(\theta + \arctan(i_x/f))} \quad (5)$$

其中, y 为目标点在机器人坐标系纵坐标方向上到摄像机的水平距离, i_y 为目标点的成像点在图像横向

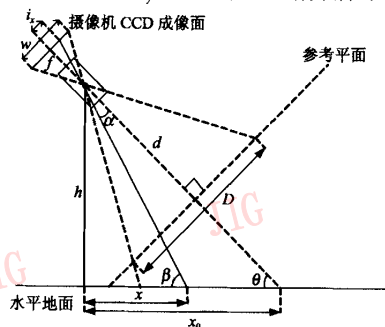


图 6 前向视觉成像示意图

Fig. 6 The imaging of front vision

上偏离图像中心的距离值。由于 h 、 θ 、 f 均已知,因此通过目标球的识别算法得到 i_x 、 i_y ,即可求出 x 、 y ,进而可获得目标点在机器人坐标系中的坐标值。图 4(b)中识别出来的目标球在机器人坐标系中的坐标值为(46,0),单位为 cm。由于前向视觉对机器人前方近处球的识别误差能够控制 4cm 以内,其精度远高于全向视觉,因此已足够满足机器人精确运动控制对球目标识别的精度要求,这样就弥补了全向视觉对机器人近处前方目标球识别精度低的不足。

4 两套视觉系统共同工作的实现机制

基于模块化思想, NuBot 机器人使用多线程机制^[5]来构建系统软件框架,其包括控制决策主线程、全向视觉子线程和前向视觉子线程,主线程可以通过启动、挂起、恢复、停止子线程来决定视觉系统的工作状态。全向视觉子线程和前向视觉子线程在完成视觉信息处理后,将结果发送给控制决策主线程,然后控制决策主线程更新机器人世界模型信息并在此基础上进行智能决策、行为规划等,以完成比赛任务。

在两个视觉子线程中,全向视觉系统总能获得整个比赛场地的全景图像,由于其需要完成机器人对球、球门、立柱、其他机器人等目标进行识别以及自定位任务,因此全向视觉线程始终处于工作状态,而前向视觉系统由于视角有限,在比赛的大部分时间内,球并不处于前向视觉的观察范围内,且为了减小车载计算机的运算负担,以最大限度地提高机器人视觉信息处理的速度,因此前向视觉线程只需要在球能被观察到的情况下处于工作状态即可,其他时候其将被挂起,处于待命状态。当前向视觉能够检测到目标球时,由于其识别精度高于全向视觉,因而机器人的世界模型可使用前向视觉来获得的球的信息。两套视觉系统共同工作的机制如图 7 所示。

在本文实现的两套视觉系统共同工作的机制下,全向视觉系统采集处理一幅图像并完成目标识别需要约 30ms,而前向视觉系统采集处理一幅图像并完成球的识别只需要约 10ms,因此完全能够满足机器人足球赛高度实时性的要求。

5 结 论

本文在分析 NuBot 足球机器人全向视觉系统目标识别缺陷的基础上,引入了前向视觉系统,以提高

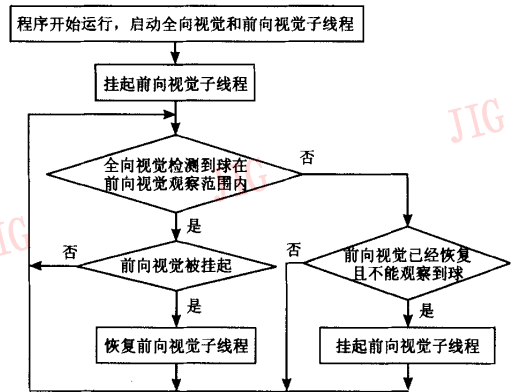


图 7 两套视觉系统共同工作的机制

Fig. 7 The mechanism of two vision systems working together

其对机器人前方近处的球识别的精度,同时设计了一种简单有效的前向视觉标定方法,最后设计了两套视觉系统共同工作的实现机制。本文所设计的基于这两套视觉系统的目标识别方法已经在 NuBot 足球机器人参加 2006 年德国不来梅举行的 RoboCup 机器人足球世界杯比赛过程中得到了成功的应用。实验结果和实际比赛中的应用效果都表明本文设计的全向视觉和前向视觉系统能够很好地共同完成机器人的目标识别任务。

参考文献 (References)

- 1 LU Hui-min. The research of omni-vision system based robot's self-localization method[D]. Changsha: Master degree thesis in National University of Defense Technology, 2005. [卢惠民. 机器人全向视觉系统自定位方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学研究生院硕士学位论文, 2005.]
- 2 LIU Wei. The design and realization of the omni-vision system for RoboCup middle size league robot [D]. Changsha: Master degree thesis in National University of Defense Technology, 2004. [刘伟. RoboCup 中型组机器人全景视觉系统设计与实现[D]. 长沙:国防科学技术大学研究生院硕士学位论文, 2004.]
- 3 WU Wen-qi, SUN Zeng-qi. Overview of camera calibration methods for machine vision[J]. Application Research Of Computers, 2004, 21(2): 4~6. [吴文琪, 孙增圻. 机器视觉中的摄像机标定方法综述[J]. 计算机应用研究, 2004, 21(2): 4~6.]
- 4 MENG Xiao-qiao, HU Zhan-yi. Recent progress in camera self-calibration[J]. Acta Automatica Sinica, 2003, 29(1): 110~124. [孟晓桥, 胡占义. 摄像机自标定方法的研究与进展[J]. 自动化学报, 2003, 29(1): 110~124.]
- 5 Jim Beveridge, Robert Wiener. Multithreading applications in Win32: the complete guide to threads[M]. Reading, MA, USA: Addison-Wesley Developers Press, 1997.