

色标设计与辨识算法研究

胡英^{1,2)} 赵殊颖¹⁾ 徐心和¹⁾

¹⁾(东北大学人工智能与机器人研究所, 沈阳 110004)

²⁾(北京大学视觉与听觉信息处理实验室, 北京 100871)

摘要 在人工智能领域,足球机器人系统是一个非常好的应用与研究平台,它是一个由计算机视觉闭环的反馈控制系统,在足球机器人视觉子系统中,色标的设计是关系到系统辨识精度、实时性和抗干扰性的一个重要因素,通过对3种典型色标设计进行比较和分析,确定出一种比较合理的设计方案,并针对这种方案提出了一种快速准确的补偿逼近算法,取得了良好的辨识结果,该算法为基于视觉的集中控制式足球机器人系统的研究与开发提供了有力的保障。

关键词 足球机器人 机器人视觉 模式识别 补偿逼近

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)12-1291-05

Research on Designing of Color Tag and Identifying Algorithm

HU Ying^{1,2)}, ZHAO Shu-ying¹⁾, XU Xin-he¹⁾

¹⁾(Institute of AI and Robotics, Northeastern University, Shenyang 110004)

²⁾(National Laboratory on Machine Perception, Beijing University, Beijing 100871)

Abstract Soccer robot system is a perfect platform in research and application of artificial intelligence. It is a feedback control system that closed loop by computer vision subsystem. In the vision subsystem, the design of color tag is an important factor which influences the identifying precision, real time performance and anti-noise performance of the robot soccer system. Through comparing and analyzing three kinds of representative color tag design, a more reasonable design can be getting. It has many excellences such as steady centroid, non-interference from opposite, simply identifying algorithm and less conglutination. Base on the character of the color tag, a fast and exact compensate-approximate algorithm is given out. Through real test, the error is less then 1-degree even when the robot speed is more then 2m/s. This algorithm is a very important base for advance research and development on robot soccer.

Keywords Soccer robot, Robot vision, Pattern recognition, Compensate-approximate

0 引言

随着信息社会和知识经济时代的到来,人类对人工智能技术的研究提出了更加迫切的要求^[1],然而长期以来,理论与实际脱节是人工智能研究中存在的普遍问题,缺乏来自实际的问题和没有应用的载体是这方面研究的主要难点,应运而生的足球机器人这些困难的解决创造了十分有利的条件,由

于它造价不高,但“五脏”俱全,既不受企业条件的制约,又与许多实际的问题密切相关,这为人工智能研究,尤其是多智能体系统的研究提供了理想的试验载体,足球机器人涉及机器人技术、计算机视觉、模式识别、博弈技术、智能决策支持技术和多智能体技术等人工智能研究领域的核心技术,为人工智能的研究与应用提供了一个完美的平台,因此自1992年^[2]开展这一研究以来,得到了全世界各国学者的普遍参与和关注。

基金项目:北京大学视觉与听觉信息处理实验室开放基金(No. 03)

收稿日期:2002-02-05; 改回日期:2002-06-14

目前的机器人足球赛有好几种类型,本文所研究的足球机器人系统全视图如图1所示,它由3个体积不超过 $7.5\text{cm} \times 7.5\text{cm} \times 7.5\text{cm}$ 的机器人(小车)组成一个球队,在 $150\text{cm} \times 130\text{cm}$ (或由5个体积不超过 $7.5\text{cm} \times 7.5\text{cm} \times 7.5\text{cm}$ 的机器人(小车)组成一个球队,在 $220\text{cm} \times 180\text{cm}$)的球场上自由运动,将“足球”(高尔夫球)撞入对方球门者取胜.球场上空(2m)悬挂的摄像机将比赛情况传入计算机内,由预装的软件做出恰当的决策与对策,通过无线通讯方式将指令传送给机器人,机器人协同作战,双方对抗,形成一场激烈的足球比赛^[3].比赛过程中,双方的教练员与系统开发人员不得干预,和大家熟悉的足球比赛一样,它具有一套类似的规则,如判罚点球、任意球等.

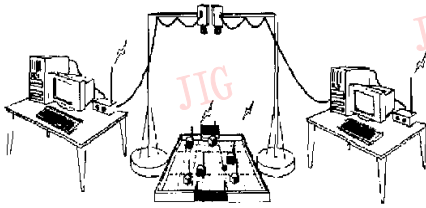


图1 足球机器人系统全视图

由于足球机器人是由计算机视觉闭环的反馈控制系统,系统的所有输入信息就是视觉系统的辨识结果,因此,视觉系统的好坏是决定整个系统性能的关键.足球机器人视觉系统是通过辨识机器人顶部的色标来确定其位置、朝向和车号的.根据系统的要求,视觉子系统的处理速度必须达到 $50 \sim 60$ 次/s,对于该子系统的设计必须满足实时性的要求.色标的设计问题一直是足球机器人视觉系统所遇到的一个难题,好的色标设计不仅能提高辨识精度,还能改善系统的实时性和抗干扰性,而不好的设计则会带来相反的效果.

目前在足球机器人比赛(FIRA Mirobot)中,主要有如图2所示的几种色标设计.

色标中浅色为队标,一般为黄色和蓝色,深色为队员标志,可以选择队标和球以外的任何颜色.由于

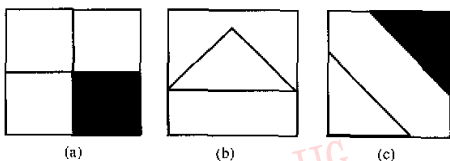


图2 几种主要的色标设计

色标颜色已知,饱和度高,一般通过颜色分割不难找到.图2(a)的辨识是靠分别辨识队标和队员标志的中心,通过两个重心来获得机器人的质心和角度,并且通过队员标志的特征颜色来确定车号.图2(b)的辨识是直接通过辨识队标的中心及形状来确定机器人的质心和角度,由于该设计中没有队员标志,故3个队标的形状各不相同,以区分车号.图2(c)的辨识是通过辨识队标的中心和角度来确定机器人的质心和角度,通过辨识队员标志来确定正方向和车号.

1 色标的对比研究

色标的设计会直接影响辨识的精度、系统的实时性以及抗干扰性.

图2(a)中,小车的质心位于两个色标中心连线的中点,小车的运动方向是由队标指向队员标志的射线逆时针旋转 45° 所指的方向^[4],如图3(a)所示.辨识的时候,只需要分别辨识两个色标块的中心,辨识算法比较简单,系统实时性较高.不同的颜色受环境的影响不同^[5],色块向周围扩散的程度不同.由于颜色之间的相互干扰,使得色标本身包含的颜色信息过于丰富,尤其是两个色标块交界的区域,混色现象严重,这一方面带来很多干扰,增加了色标挑选的难度,另一方面导致色块重心不稳,位置和角度偏差过大.另外,由于辨识的结果依赖于两个色块,当其中一个由于环境的影响或噪声的干扰而丢失时,系统将无法给出准确结果.两个色标是一种对称分布,当两个机器人小车紧挨在一起的时候容易出现粘连现象.在5对5的比赛中,由于比赛双方所要选取的色标较多,难免会出现相同或相近(由于环境的影响或者分色方法的限制,在视觉系统中已经难以区分)的色标.这时一方视觉系统就会受到另一方的干扰,而增加辨识时间,甚至造成错误的辨识结果.

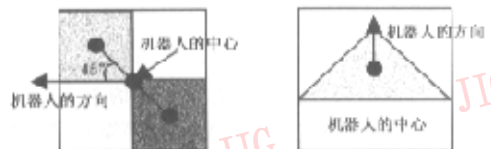


图3 两种色标的辨识

图2(b)中,小车的质心位于队标的中心,小车的朝向可以通过辨识队标形状的正方向来确定,如

图 3(b)所示. 这种设计的特点是只通过一种颜色来获取辨识结果. 由于环境在同一区域对同一颜色的影响是相同的, 因此带来的干扰是均匀的, 而由于通道造成的干扰也是均匀分布的, 所以色块的中心是稳定的. 由于比赛规则规定, 对方不允许选用我方队标的颜色作为队标或者是队员标志的颜色, 所以不存在对方的干扰问题. 然而, 由于环境的影响和通道噪声的干扰, 会造成色块边界的模糊及扩散, 从而影响到色块形状特征的提取. 按照比赛规则的规定, 色标必须限制在 $7.5 \times 7.5 \text{cm}^2$ 的正方形内. 在系统的设计过程中, 为了尽可能地提高系统的实时性, 一般都采用场采集的方式, 也就是将一幅 640×480 分辨率的图象分成两场, 而所处理的图象只有 320×240 分辨率, 且色块还必须具有表征方向信息的特殊形状, 这样一个色标所包含的像素极其有限(3 对 3 时不超过 40 个像素, 5 对 5 时不超过 30 个像素), 所以色块之间的形状差异并不是很大, 从而对角度的辨识算法提出了很高的要求, 比较难以实现. 当两个我方的小车碰撞到一起的时候, 由于色标块不能设计得太小, 因此在边界相接的地方, 色块的模糊和扩散, 必然导致两个色块的粘连. 虽然可以通过开启算法^[2]将它们分开, 然而这种算法所需要的运算量却很大, 必然影响系统的实时性.

图 2(c)中, 小车的质心位于队标的中心. 由于队标的设计具有明显的方向性, 通过下文给出的辨识算法可以得到队标所指向的一条矢量线, 然后通过队员标志来辅助决定小车的正方向以及车号(如图 4 所示). 由于这种设计也是完全由单一色标来获取辨识结果的, 所以它具有图 2(b)色标设计的全部优点. 另外, 它采用队员标志来辅助决定正方向和车号, 而不需要通过形状来决定, 从而也避免了图 2(b)色标设计中复杂的形状辨识, 由于队员标志不决定辨识结果的具体数值, 因此对于它的分割结果没有太高的要求, 它的面积不需要太大, 只要能辨识出来即可, 这样队标就可以尽量地大, 以保证良好的分割结果. 在匹配的问题上, 由于这种设计是先由

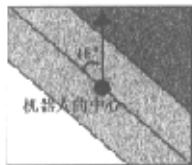


图 4 图 2(c)色标的辨识

队标确定中心点, 然后从中心点出发, 沿着方向线法线的方向在一定范围内搜索队员标志, 因而不会出现匹配错误的现象, 同时也会极大地减少粘连现象. 只有出现类似如图 5 所示的情况时才会出现粘连. 然而当粘连情况发生时, 所获取的中心通常位于色标之外, 也就是该点的颜色信息不符合队标的特征颜色. 另外所统计出来的点数也会大大超过一个色块的阈值, 所以可以很容易地发觉粘连的发生, 通过图 5 所示的方法, 从中心点出发, 沿着所辨识到的方向矢量线的法线方向做一条直线就可以解决大部分的粘连问题. 虽然图 5 所示的情况只是一种特例, 但是即使在更为普遍的情况下, 例如两个机器人之间略有错位时, 利用这种方法也可以近似地将它们分开, 且不会造成太大的误差.

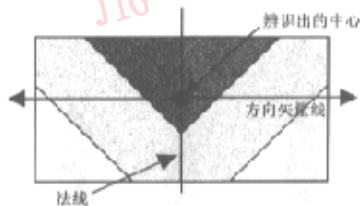


图 5 粘连问题及解决

2 色标的辨识算法

从光学的角度来讲, 物体表面的散射光向各个方向均匀辐射^[6], 因为色标的对称性, 光源和环境对色标的辨识结果的影响可以认为是均匀的, 即在统计意义上是零均值的, 所以色标中心的求取可以通过统计的办法来直接获得, 设 (x_0, y_0) 为中心点坐标, 则 (x_0, y_0) 可由下式求得(分区方法如图 6)

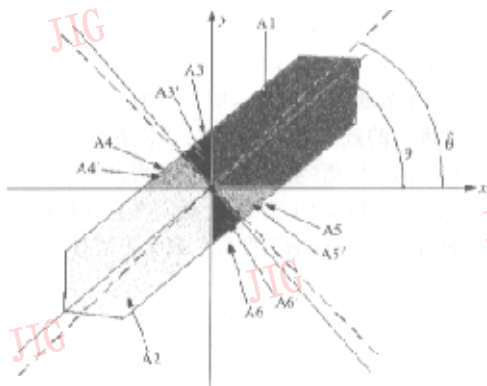


图 6 补偿逼近辨识算法示意图

$$x_0 = \frac{\sum x_{A1} + \sum x_{A2} + \sum x_{A3} + \sum x_{A4} + \sum x_{A5} + \sum x_{A6}}{n_{A1} + n_{A2} + n_{A3} + n_{A4} + n_{A5} + n_{A6}}$$

$$y_0 = \frac{\sum y_{A1} + \sum y_{A2} + \sum y_{A3} + \sum y_{A4} + \sum y_{A5} + \sum y_{A6}}{n_{A1} + n_{A2} + n_{A3} + n_{A4} + n_{A5} + n_{A6}}$$

其中, $\sum x_{A_i}$ 和 $\sum y_{A_i}$ 代表区域 $A_i (i=1, 2, \dots, 6)$ 的符合队标特征颜色的点的 x 坐标及 y 坐标的和, n_{A_i} 代表区域 A_i 符合队标特征颜色的点的数量。

对于角度的求取, 可以采用多种算法, 例如最小二乘直线拟合法、求最短线段法等。这些方法都存在受噪声影响较大的问题, 由于色块的发散和通道噪声的干扰, 使得辨识到的色块不稳定(如图7所示), 从而使计算结果来回震荡, 而这种结果对决策来说是极为不利的。还有一些算法虽然可以精确地得出结果, 但是满足不了系统实时性的要求。为此经过仔细研究队标的特点, 利用中心稳定的特点, 提出了一种补偿逼近的算法。



图7 同一色标在同一环境下的3次辨识结果

算法的基本思想是: 利用队标的中心对称特点, 从中心点出发, 沿 x 轴或 y 轴将队标分成两个对称的部分, 分别求取两个部分的中心, 则两个中心点的连线所指的方向即为对称所指角度的近似值 $\hat{\theta}$ 。以 x 轴分割为例, 图6中的两个中心点分别由 $A1, A3, A4$ 和 $A2, A5, A6$ 求得。而实际的角度应该由 $A1, A3, A5$ 和 $A2, A4, A6$ 所确定的中心求得, 所以求得的近似值存在较大误差。而利用当前所获得的近似角度的法线分割出区域 $A3', A4', A5', A6'$, 然后再利用 $A1, A3', A5'$ 和 $A2, A4', A6'$ 重新计算出一个角度 $\hat{\theta}'$, 那么通过补偿算法所获得的 $\hat{\theta}'$ 是比 $\hat{\theta}$ 更为接近准确值的近似值。这样通过多次补偿运算就可获得精确的角度值。实际应用中, 考虑到实时性的问题, 补偿次数可以取1到2次。这时在色标辨识结果饱满的情况下, 算得的角度偏差最大不超过 1° 。

具体计算如下:

$$x_{u'} = \frac{\sum x_{A1} + \sum x_{A3} + \sum x_{A4}}{n_{A1} + n_{A3} + n_{A4}} \quad (1)$$

$$y_u = \frac{\sum y_{A1} + \sum y_{A3} + \sum y_{A4}}{n_{A1} + n_{A3} + n_{A4}} \quad (2)$$

$$x_d = \frac{\sum x_{A2} + \sum x_{A5} + \sum x_{A6}}{n_{A2} + n_{A5} + n_{A6}} \quad (3)$$

$$y_d = \frac{\sum y_{A2} + \sum y_{A5} + \sum y_{A6}}{n_{A2} + n_{A5} + n_{A6}} \quad (4)$$

式中, (x_u, y_u) 和 (x_d, y_d) 分别为 x 轴上半部分和下半部分的中心坐标, 则 $\hat{\theta}$ 为

$$\hat{\theta} = \arctan\left(\frac{y_d - y_u}{x_d - x_u}\right) \quad (5)$$

于是有

$$\sum x_{A4'} = \left\{ \sum x_i \left| \begin{array}{l} \left| \frac{y_i - y_0}{x_i - x_0} \right| < |\tan(\hat{\theta})| \\ x_i < x_0, y_i < y_0 \end{array} \right. \right\} \quad (6)$$

$$\sum y_{A4'} = \left\{ \sum y_i \left| \begin{array}{l} \left| \frac{y_i - y_0}{x_i - x_0} \right| < |\tan(\hat{\theta})| \\ x_i < x_0, y_i < y_0 \end{array} \right. \right\} \quad (7)$$

$$\sum x_{A5'} = \left\{ \sum x_i \left| \begin{array}{l} \left| \frac{y_i - y_0}{x_i - x_0} \right| < |\tan(\hat{\theta})| \\ x_i > x_0, y_i > y_0 \end{array} \right. \right\} \quad (8)$$

$$\sum y_{A5'} = \left\{ \sum y_i \left| \begin{array}{l} \left| \frac{y_i - y_0}{x_i - x_0} \right| < |\tan(\hat{\theta})| \\ x_i > x_0, y_i > y_0 \end{array} \right. \right\} \quad (9)$$

可得补偿后的上、下两个中心点坐标的求取公式为

$$x'_u = \frac{\sum x_{A1} + \sum x_{A3} + \sum x_{A4} + \sum x_{A5'} - \sum x_{A4'}}{n_{A2} + n_{A5} + n_{A6} + n_{A5'} - n_{A4'}} \quad (10)$$

$$y'_u = \frac{\sum y_{A1} + \sum y_{A3} + \sum y_{A4} + \sum y_{A5'} - \sum y_{A4'}}{n_{A2} + n_{A5} + n_{A6} + n_{A5'} - n_{A4'}} \quad (11)$$

$$x'_d = \frac{\sum x_{A2} + \sum x_{A5} + \sum x_{A6} + \sum x_{A4'} - \sum x_{A5'}}{n_{A2} + n_{A5} + n_{A6} + n_{A4'} - n_{A5'}} \quad (12)$$

$$y'_d = \frac{\sum y_{A2} + \sum y_{A5} + \sum y_{A6} + \sum y_{A4'} - \sum y_{A5'}}{n_{A2} + n_{A5} + n_{A6} + n_{A4'} - n_{A5'}} \quad (13)$$

则 $\hat{\theta}'$ 可由下式求得

$$\hat{\theta}' = \arctan\left(\frac{y'_d - y'_u}{x'_d - x'_u}\right) \quad (14)$$

若要获得更精确的结果, 可令 $\hat{\theta} = \hat{\theta}'$, 代入式(6)到式(9), 得到更接近于精确角度的 $\hat{\theta}'$ 。在足球机器人系统中, 考虑到系统实时性的需要, 一般只进行一次补偿, 其误差就已小于 1° , 完全能满足辨识精度的要求。

最小二乘直线拟合算法(LSLF)、不补偿以及补偿之后的辨识结果比较如图8所示。横坐标为实验次数, 纵坐标为角度值。

目前该算法已经应用于 NewNeu3.0 足球机器人视觉子系统中, 在配置为 P III 933, 256M 内存的微机测试, 视觉系统辨识周期为 11ms (3对3) 和

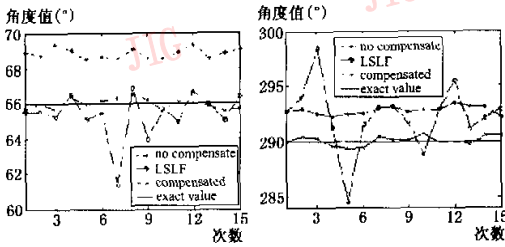


图 8 辨识结果比较

13ms(5 对 5),完全能够达到 50 次/s(PAL 制式)的设计要求. 辨识结果如图 9 所示.

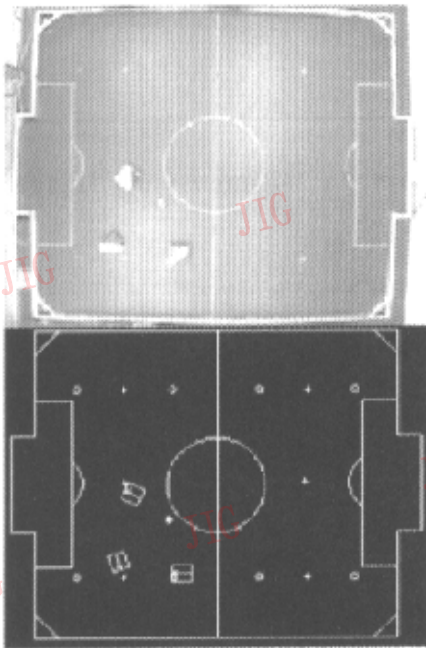


图 9 实际图象及辨识结果的仿真显示

3 结 论

通过前面的讨论可以看出,一种简单实用的色标设计会给整个系统带来很大的优势.从辨识结果以及目前的应用来看,补偿逼近的算法是十分有效的,该算法适用于一类中心对称的目标的角度辨识,稍加改动,即可应用于基于白线导航的自主机器人的方向判别中.在实际应用中发现,队标的宽窄直接影响角度的计算结果,一般来说越窄效果越好,但也越容易受到环境的影响.在目前的使用过程中,设计

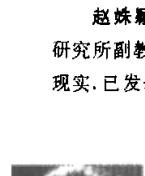
的队标宽度为 2.5cm,在动态测试中,即使在机器人的速度达到 2.4m/s 的情况下,仍能精确辨识出机器人的中心和角度.

参 考 文 献

- 1 王万森. 人工智能原理及其应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000:1~22.
- 2 Alan K Mackworth. On seeing robot[A]. In: Computer vision: System, theory and applications [M]. Singapore: World Scientific Press, 1993:1~13.
- 3 Booklet on MIROSOT'97[OL/EB]. Published by MIROSOT Organizing Committee, <http://www.mirosot.net>,97.
- 4 赵姝颖,佟国峰. 微型足球机器人的设计与开发——机器人视觉子系统[J]. 机器人技术与应用,1999,1(2):22~28.
- 5 章毓晋. 图象工程(上册)——图象处理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 254~278.
- 6 赵凯华, 钟锡华. 光学[M]. 北京: 北京大学出版社,1982:73~102.
- 7 张正友, 马颂德. 计算机视觉——计算理论与算法基础[M]. 北京: 科学出版社. 1998:117~132.
- 8 汤顺清. 色度学[M]. 北京: 科学出版社,1988:108~137.



胡 英 1977 年生,东北大学人工智能与机器人研究所博士生. 研究领域为机器人视觉、科学计算可视化、虚拟现实. 已发表论文 5 篇.



赵姝颖 1968 年生,东北大学人工智能与机器人研究所副教授. 研究领域为机器人视觉、模式识别、虚拟现实. 已发表论文 10 余篇.



徐心和 1940 年生,东北大学人工智能与机器人研究所教授,博士生导师. 研究领域为智能机器人、人工智能、模式识别、智能控制. 已发表论文 150 余篇.