

RoboCup 中型组机器人物体识别技术研究

庞元, 陈启军

同济大学控制科学与工程系, 上海 201804

[摘要] 参加 RoboCup 中型组机器人足球赛的机器人需要能够根据预定义的色块准确并实时地识别出场上双方机器人和球的位置、朝向等信息。由于外界环境噪声的存在及标志物的复杂性, 识别算法在保证响应速度的同时还必须保持识别的稳定, 不仅要求能够正确地分辨出目标物体, 还要对比赛中可能出现的异常情况加以处理, 所以需要分析误识别产生的机理, 并进行相应的处理。本文对基于 RoboCup 中型机器人足球比赛的物体识别技术进行了研究, 提出了一种可靠的识别算法。该算法利用阈值选定、面积变化、色点密度等信息特征, 结合运动变化预测抑制和消除各种可能影响识别精度的因素。实验证明, 该算法性能可靠、处理速度快, 可以较好地满足比赛的实时性要求。

[关键词] RoboCup; 足球机器人; 物体识别; 噪声

[中图分类号] Q786

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)07-0022-04

Robust Object Identification of RoboCup Mid-size Robot

PANG Yuan, CHEN Qijun

Department of Control Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China

Abstract: The robot in the RoboCup mid-size group match must be capable of identifying the positions and directions of other objects in the match through predefined color patterns in real time. Because of the existence of noise and the complexity of signal objects, the identification algorithm must assure the whole process of identification stable and make the response time as short as possible. The objects should be correctly classified and the possible exceptional conditions must be taken care of. So one has to study various kinds of misidentification. This paper proposes a possible algorithm to deal with this problem. The algorithm minimizes the effects of noise through the use of the prediction of the objects' moving direction and the characteristic information of objects like the color pattern, area change ratio and the density of color dots. The experiment confirms that the algorithm can minimize the effects of noise, identify objects fast and accurately under the conditions of a match.

Key Words: RoboCup; football robot; object detection; noise

CLC Number: Q786

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)07-0022-04

0 引言

机器人足球是目前广受关注的高科技对抗性比赛, RoboCup 中型组是 RoboCup 的系列比赛之一。中型机器人一般由驱动、通信、决策和视觉 4 个子系统组成。其中, 视觉系统以摄像头所采集的图像作为输入, 并由此确定本方机器人、对方机器人、球、球门的位置

和角度及场地信息, 从而为比赛策略提供依据。该系统的识别精度和反应速度直接关系到比赛的胜负, 因此必须满足以下要求^[1]: ① 能准确地识别出足球、本方机器人、对方机器人、球门, 以及规则规定的标志物信息; ② 满足结果实时性要求; ③ 鲁棒性, 能对异常情况做出妥善处理。

收稿日期: 2007-01-08

作者简介: 庞元, 男, 上海市曹安公路 4800 号同济大学控制科学与工程系, 硕士研究生, 研究方向为机器人控制与智能控制;

E-mail: pangyuanjd@gmail.com

陈启军(通讯作者), 男, 上海市曹安公路 4800 号同济大学控制科学与工程系, 教授, 研究方向为智能机器人;

E-mail: qjcheng@mail.tongji.edu.cn

目前,关于图像识别算法的研究很多,如 CMVision^[2], Cognachrome 等,很多参赛队伍甚至一些商业产品的图像识别模块都是基于这些算法的。其中,以 CMVision 算法的执行效率相对较高,该算法将视觉系统的实现分为阈值空间选取、颜色空间分割、物体识别和定位 3 个子过程,逐步实现对物体的识别。在识别过程中,导致识别误差产生的因素有光照角度、目标物体颜色杂质、运动抖动、环境干扰和成像畸变等,给视觉系统实现目标定位和运动追踪带来了不确定因素。本文根据这些干扰因素的不同特点,在识别的 3 个子过程中分别有针对性地采用不同的方法进行处理和抑制,从而最终保证视觉系统的稳定性和有效性。

1 算法设计与实现

1.1 阈值空间的选定

选定阈值空间是为了将图像中的像素根据其颜色细分成相互独立的组成部分,从而为后续处理奠定基础。在 RoboCup 中型组比赛中,最关键的因素是分割速度和分类精度。根据参考文献[2-4],颜色空间阈值法实现简单、速度快,适合比赛要求。该方法需要在比赛开始前对采样图像数据进行初始学习,把选定的颜色作为统计量,利用颜色直方图对颜色分量进行统计分析,形成颜色阈值表,求出阈值,从而形成一个三维颜色空间中的长方体。根据该表对图像进行分割,如果像素点的值在该区域内,则认为属于目标物体,否则作为背景点处理。但是,由于物体表面常有斑点及光照关系导致的高亮度和阴影区,容易导致识别趋于发散,无法区分物体。图 1 显示了这种情况的发生。

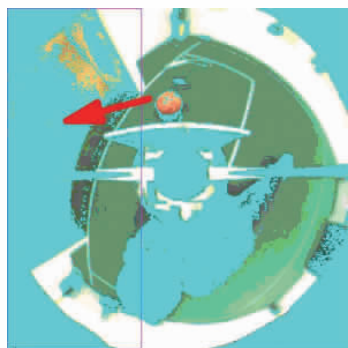


图 1 阈值空间过大导致识别发散
Fig. 1 Failure in distinguishing objects due to big color margins

图 1 中红箭头所指为目标球门,浅蓝色的像素点表明该点颜色值符合阈值空间。可以看出,由于阈值空间过大,很多不属于球门区域的像素点也被包含进来,目标区域趋于发散,湮没了球门空间,无法进行物体分割和识别工作。因此,需要对采样的图像数据进行筛

选,使用的算法如下。

- 1) 计算出所有样本的均值 μ 和标准离差 σ 。
- 2) 基于范围 $[\mu_i(k)-\sigma, \mu_i(k)+\sigma]$ 内的样本计算出均值 $\mu_i(k+1)$ 。
- 3) 按照 $|\mu_i(k+1)-\mu_i(k)| < \varepsilon$ ($\varepsilon=1.0$) 进行迭代,记所得的值为 μ^* 。
- 4) 以 μ^* 作为鲁棒中心位置,将 $\|\xi_i - \mu^*\| \leq c\sigma_i$ ($c \approx 3$) 的像素点作为目标像素点。

颜色空间的确定为之后的物体识别打下了坚实的基础。但是考虑到球和光照角度变化的影响,必须为阈值宽度保留适当的余度,否则容易丢失目标,所以颜色直方图阈值宽度过大的缺点是本算法无法避免的,因此同时满足阈值空间要求的色块一般不是唯一的,在后续处理中会根据它们的其他特征信息逐步筛选。

1.2 目标物体的筛选

经过前一个步骤的处理,可以得到一个以颜色值为索引的颜色空间列表。该列表中保存了所有符合预设阈值空间的色块信息,包括目标物体和伪目标。要想进一步得出准确的目标物体信息,还必须利用各种特征值进行筛选。根据目标物体的不同性质,可以将要识别的物体分为两类:移动物体和场地物体。移动物体包括球、双方机器人。场地物体包括双方球门、角标杆和边线。根据分类的不同,识别方法也有所不同。

1.2.1 移动物体的识别

由于目标物体的体积是一定的,虽然它在成像中所占的面积会随物体与摄像机的距离及光照角度发生一定的变化,但由于摄像头的两帧之间时间很短,所以前后两帧之间物体面积的变化比例应在一定范围之内,如表 1 所示。根据统计,一般前后帧之间目标物体的面积变化不应超过 20%,对于变化比例过大的色块可以剔除。为了留有余量,现实中取 40% 作为剔除色块的阈值。

当干扰比较强烈的时候,会出现多个面积相仿的色块,这时很容易导致物体识别的不稳定。图 2 显示了这种情况的发生。

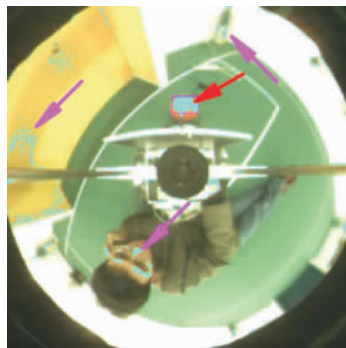


图 2 色块干扰
Fig. 2 Interference of color regions

表 1 前后帧之间目标物体面积、色点密度及其变化率

Table 1 Object area and effective point density of consecutive image frames and their variation ratio

帧号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
面积/像素点	258	264	268	277	292	306	285	316	294	286
色点密度	0.682	0.785	0.709	0.810	0.811	0.662	0.617	0.627	0.645	0.684
前后帧面积变化率/%		2.32	1.52	3.36	5.42	4.79	6.86	10.88	6.96	2.72
前后帧密度变化率/%		15.12	9.76	14.24	0.14	18.34	6.86	1.64	2.83	6.12

图 2 中红箭头所指为目标球, 紫色箭头所指均是满足预设阈值的空间干扰色块, 这些干扰色块在成像中所占据的面积与球大致相仿, 容易引起误识别。定义每个物体在图像中的有效像素点与其外接正方形的比值为色点密度, 由于物体形状在前后两帧之中相对固定, 从而在该属性上会与其他噪声或干扰引起的色块产生比较明显的区别, 因此可以利用该属性来区分物体和噪声。定义如下参数。

目标面积为对于坐标为 (r, c) 且属于 R 区间的像素点的面积和 (每个像素点的面积均为 1)。

边框为计算出区域的左上角和右下角坐标 $(r_{\min}, c_{\min})$ 和 $(r_{\max}, c_{\max})$ 。

目标占用面积为

$$S = |r_{\max} - r_{\min}| \cdot |c_{\max} - c_{\min}|$$

色点密度为

$$T = A/S$$

如表 1 所示, 随着位置、光照条件的不同, 目标物体在成像中的面积和形状都会发生一定的变化, 但色点密度的变化始终是在一定范围之内, 参照面积变化阈值的取值, 将该阈值也设定为 40%。

基于上述分析, 将前后两帧中满足 $\frac{|A - A_{t-1}|}{A_{t-1}} < 40\%$ 且 $\frac{|T - T_{t-1}|}{T_{t-1}} < 40\%$ 的色块加入满足条件列表, 并定义该色块质心坐标为

$$\bar{r} = \frac{1}{A} \sum_{(r,c) \in R} r \quad \bar{c} = \frac{1}{A} \sum_{(r,c) \in R} c$$

考虑到实际比赛中可能出现的跳变, 为了使参考量变化相对平稳, 令 $A_t = (1 - \varphi)A + \varphi A_{t-1}$, $T_t = (1 - \varphi)T + \varphi T_{t-1}$, $\varphi = 0.2$ 。

该算法的使用大大简化了物体识别的工作量, 同时极大地提高了识别的精度。

1.2.2 场地物体的识别

对于场地物体, 如球门和角标杆, 识别方法有所不同。根据规则^[5-9], 球门和角标杆的颜色相同, 只是角标杆使用了间隔色以示区分, 如图 3 所示, 所以需要结合位置关系分辨出具体的物体。

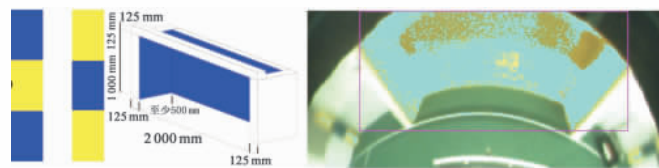


图 3 角标杆、球门及其在全维镜中的成像

Fig. 3 Corner flag posts, door and their images in the omni-direction mirror

由于球门边框及角标杆边框与摄像头的轴线平行, 根据全维镜成像原理, 在成像中, 它们的边线均与成像圆平面的半径重合, 如图 4(a)所示。图中色块 A, C, D, E, G 的颜色相同, 但由于 A, B, C 共轴, 所以这 3 个色块的中心位置和成像圆心的夹角相同; 同理可得, 色块 E, F, G 与圆心的夹角也相同。由于机器人所处的是动态环境, 很多时刻所得色块不会这么完整, 所以还必须附加坐标关系来判定, 从图 4(a)中可以得出 A, B, C 3 个色块的外接长方形应具有相交关系, 其相交关系如图 4(b)~(e)所示, 应有 4 种可能性。如果令 O 和 R 分别代表两个可能的区域, 外接长方形的左下角的坐标为 (x_1, y_1) , 右下角的坐标为 (x_2, y_2) , 则区域相交判断分别对应如下。

- (b): $Rx_1 > Ox_1$ 且 $Rx_1 - \delta < Ox_2 + \delta$ 且 $Ry_1 + \delta > Oy_1 - \delta$ 且 $Ry_1 < Oy_2$
- (c): $Rx_2 + \delta > Ox_1 - \delta$ 且 $Rx_2 < Ox_2$ 且 $Ry_1 > Oy_1$ 且 $Ry_1 - \delta < Oy_2 + \delta$
- (d): $Rx_2 + \delta > Ox_1 - \delta$ 且 $Rx_2 < Ox_2$ 且 $Ry_2 + \delta > Oy_1 - \delta$ 且 $Ry_2 < Oy_2$
- (e): $Rx_1 > Ox_1$ 且 $Rx_1 - \delta < Ox_2 + \delta$ 且 $Ry_1 > Oy_1$ 且 $Ry_1 - \delta < Oy_2 + \delta$

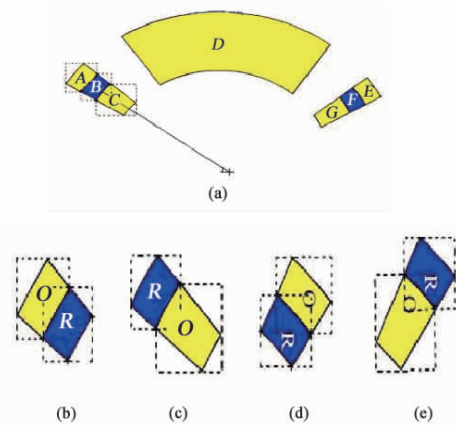


图 4 角柱、球门成像的角度及位置关系

Fig. 4 Angle and position of the images of flag posts and door

- 由此可将球门和角标柱区分出来,具体算法如下。
- 1) 得出满足要求的色标块列表。
 - 2) 求出所有色标块的中心点与圆心的夹角 θ_i , 外接长方形的坐标 (x_i, y_i) 。
 - 3) 对所有满足 $\theta_{i1} - \theta_{i2} < \varepsilon (\varepsilon = 0.1)$ 的色块, 判定为角标杆。
 - 4) 对剩余的色块, 如果满足外接长方形相交关系判定为角标杆。
 - 5) 剩余的色块中, 面积最大者为球门。

1.3 目标物体的确定

通过上述步骤, 系统获取了当前帧中移动物体和场地物体的信息, 但还需要根据比赛的实际要求加以补足, 并考虑对一些异常情况的处理。特别是球运动速度快、位置变化多、干扰因素多, 很容易导致识别不稳定, 在距离机器人比较远的时候这种现象特别严重, 或者剔除过严导致目标物体丢失, 或者把干扰噪声误认为是目标物体。而且根据规则^[5-9], 裁判员会双手持球过头顶来暂停比赛, 因此既要能够找到目标物体, 还要能在目标对象丢失的情况下提供适当的容错能力。考虑到实际比赛中机器人的最大速度是有限的, 故目标物体在前后帧中的位置差也应在一定范围内, 同时其运动趋势也应大体相同。实验也证明, 所有外界干扰因素形成的伪物体与目标物体的位置或运动趋势往往大相径庭。基于上述分析, 使用如下算法来最终确定物体。

- 1) 对所有满足前述条件的色块根据其颜色分布率进行排序, 最多保留前 3 个色块。
- 2) 如果存在有多于 1 个色块, 则根据物体运动方向及与前次识别的距离来判定。凡运动方向与之前差异过大或距离过大者, 被剔除。
- 3) 如果连续 10 次识别都没有发现满足要求的物体存在, 则判定该物体已经不存在, 机器人停止移动, 等待物体重新出现。否则, 以最近一次的物体位置作为该物体的位置。

2 实验结果

为了验证本算法的识别效果, 笔者在相对恶劣的环境中进行实验, 验证算法有效性。实验环境如图 5(a) 所示, 特别加入人的脸、手等较易导致误识别的物体, 并且场地中有一些杂物。本视觉系统使用 Basler 601fc 摄像头, 在普通 PC 机上最终识别结果如图 5(b) 所示。

图 5 中的黄箭头所指为本方球门, 红箭头所指为球, 紫箭头所指为对方球门。可以看出, 虽然外界环境干扰因素较多, 图(a)中的实际物体和图(b)中识别结果对应吻合, 识别准确, 由此可见该算法具有相当好的可靠性和鲁棒性; 实测每帧图像处理时间 < 40 ms, 可以满足比赛的实时性要求。

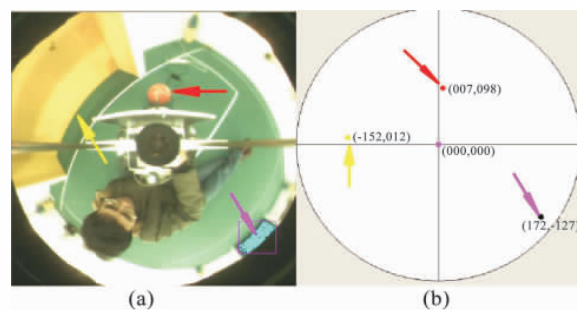


图 5 改进后结果

Fig. 5 Results of experiment

3 结论

本文对基于 RoboCup 中型机器人足球比赛的物体识别技术进行了研究, 提出了一种可靠的识别算法。该算法利用阈值选定、面积变化、色点密度等信息特征, 结合运动变化预测来抑制和消除各种可能影响识别精度的因素。实验证明, 该算法性能可靠、处理速度快, 可以较好地满足比赛的实时性要求。

参考文献(References)

- [1] BROWNING B, VELOSO M. Real-time, adaptive color-based robot vision[C] // Proceedings of IROS'05, 2005.
- [2] BRUCE J, BALCH T, VELOSO M. Fast and inexpensive color image segmentation for interactive robots [C] // 2000 IEEE/RSJ International Conference, 2000.
- [3] BRUCE J. Realtime machine vision perception and prediction[D]. Carnegie Mellon University, 2000.
- [4] RAJA Y, MCKENNNA S J, GONG ShaoGang. Colour model selection and adaptation in dynamic scenes [C] // Proceedings of ECCV'98, Freiburg, Germany, 1998. 1: 460-474.
- [5] MSL Technical Committee 1997-2006. Middle size robot league, rules and regulations for 2006[R]. 2006.
- [6] IVINS J, PORRILL J. Constrained active region models for fast tracking in color image sequences[J]. Image and Vision Computing, 1998, 72(1): 54-71.
- [7] 徐大宏. 基于彩色图像的足球机器人视觉系统设计[D]. 长沙: 中南大学, 2002.
XU Dahong. Vision system design of football robot based on color image[D]. Changsha: Zhongnan University, 2002.
- [8] 许成坤, 蒋平. 基于全局视觉的足球比赛机器人目标定位[D]. 上海: 同济大学, 2004.
XU Chengkun, JIANG Ping. Object localization of Omni-Vision football robot[D]. Shanghai: Tongji University, 2004.
- [9] RoboCup 中型组机器人比赛规则[R]. 上海交通大学机器人研究所, 2006.
RoboCup Middle Size Robot League Rules and Regulations [R]. Robot Institution of Shanghai Jiaotong University, 2006.

(责任编辑 朱宇)