

基于权值模板匹配算法的全自主 足球机器人目标识别

吴 晓*, 曹其新**

(上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200240)

摘要: 提出了一种基于权值模板匹配的全自主足球机器人目标识别方法. 首先通过动态窗口、权值变换、图像索引和动态模板等方法提高了目标的识别率, 降低了识别时间; 然后在足球机器人视觉系统中进行了仿真实验和实地测试. 实验结果表明, 在原图像含有 30% 白噪声情况下, 其识别率仍能达到 99.7%, 且识别时间不超过 30 ms, 这种方法既在一定程度上降低了噪声干扰的影响, 又提高了目标识别的速度和准确性, 从而提高了系统的实时性和鲁棒性.

关键词: 模板匹配; 全自主足球机器人; 权值算法; 目标识别

中图分类号: TP 242.62; TS 251.52 **文献标识码:** A

文章编号: 0438-0479(2008)06-0818-05

全自主机器人目标识别方法有颜色域值法、区域法、边界法还有种子点法等^[1-2], 这些方法优点在于识别速度较快, 但准确度和鲁棒性一般^[3-4]. 在过去之所以未采用准确度和鲁棒性都更好的模板匹配算法, 主要是因为它的算法速度太慢, 现在随着计算机速度的提高、动态窗口限定扫描范围和权值模板匹配算法的实现有望成为全自主足球机器人目标识别的重要方法^[5-6].

1 模板匹配原理

1.1 识别过程

如图 1 所示是全自主足球机器人基于权值模板匹配算法识别足球目标的全过程: (1) directshow 将 USB2.0 的全向摄像机的视频流在内存中抓帧, 获取一幅 RGB 图像; (2) 先判断目标集 BLOB^[7] 是否为空 (即上一帧是否被识别), 如果不为空则根据帧间关联性进入动态窗口, 缩小目标选区, 然后将动态窗口内的像素通过权值算法将颜色对照表映射到灰度空间; 如果 BLOB 为空, 则把全局空间通过权值算法将颜色直接映射到灰度空间; (3) 对灰度图像进行图像索引, 并和在线的动态模板进行比对, 识别出足球的 BLOB, 而在线的动态模板是在图像中取样的, 即在场地的动态窗口内除了索引出图像的数据, 还要取样出足球 (模板) 的数据作为动态模板; 当然在失去目标或起始时可

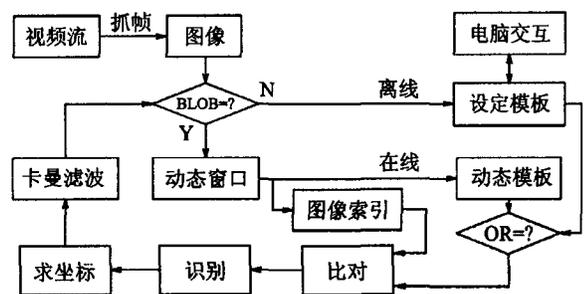


图 1 目标识别过程方框图

Fig. 1 Target identification diagram

用离线提前设定好的足球模板相比对来确定目标, 从而求取足球的 BLOB ($m_{00}, x_p, y_p, T, B, L, R$), 识别目标的大小和方位, 并跟踪目标; m_{00} 表示目标区域的面积, x_p, y_p 表示目标区域的重心, T, B, L, R 分别表示目标区域最小矩形框的上 (top)、下 (bottom)、左 (left)、右 (right) 边界. (4) 按照文献^[7]所述: 通过足球轨迹的卡曼滤波器对 BLOB 参数进行修正, 把结果通过 USB 通讯线发送给机器人运动控制系统, 并把获得的图像区域作为动态窗口, 获得的目标作为动态模板供下帧使用.

1.2 权值算法

由于识别目标的足球是红色, 所以根据先验知识 R 通道是主要的目标通道, 但为了不丢失场地、球门等信息, 应给各分量的相关性度量值赋予不同的权值^[8-9], 即可在 R、G、B 通道进行加权后转换为灰度图像, 这样既能最大限度的不丢失信息, 又能进行灰度图像索引减少计算量, 达到实时性要求.

设各彩色通道分量值分别为 R、G、B, 则总的灰度

收稿日期: 2008-03-25

基金项目: 国家自然科学基金(60443007)资助

* 现工作单位: 莆田学院电子信息工程系

** 通讯作者: gxcao@sjtu.edu.cn

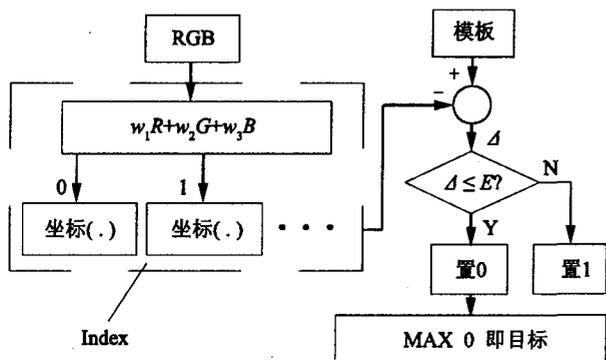


图 2 算法流程图
Fig. 2 Algorithm diagram

值为

$$H = w_1 \times R + w_2 \times G + w_3 \times B \quad (1)$$

本文选用了彩色图像转换为灰度图像所采用的权值为 w_1, w_2, w_3 , 根据参考文献[8]提出的权值范围结合多次实验和经验,我们选取 $w_1 = 0.716\ 370\ 3, w_2 = 0.203\ 54, w_3 = 0.080\ 27$.

如图 2 所示,通过公式(1)把得到的灰度图像进行灰度坐标索引,具体索引方法如图 3 所示是按位置与灰度值进行统计的,而直方图只统计灰度值不统计灰度所在的位置.然后求图像中与模板的首坐标(0,0)或尾坐标(2,2)的灰度差 Δ ,当 $-E < \Delta \leq E$ (E 表示设定常数)时,该区域作为候选模板.同理,候选模板的其它坐标与原模板的对应坐标的灰度差 Δ ,如小于设定 E 则候选权值为 0,否则候选权值为 1,最后计算 0 值最多的候选模板即为匹配的目标.

0A	(0,2)	(2,1)	(2,2)	(3,0)	
2A	(1,0)	(1,1)	(1,2)		
B5	(0,1)	(2,0)	(2,3)		
DB	(0,0)	(0,3)	(1,3)	(3,2)	(3,3)
FE	(3,1)				

图 3 图像索引表
Fig. 3. Image index table

2 自适应模板匹配算法

2.1 动态窗口

所谓的动态窗口^[7]是指目标足球的位置可能在的窗口,它是根据帧间目标的关联性推断出的,如图 4

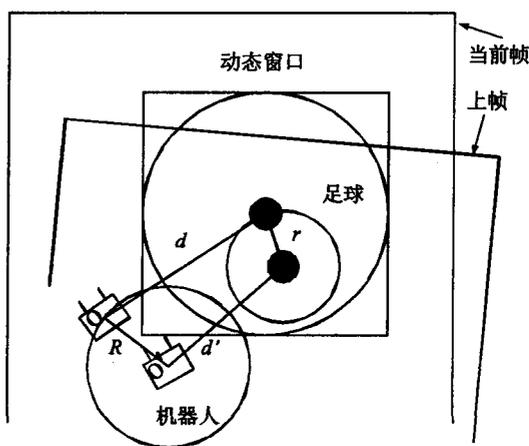


图 4 动态窗口示意图
Fig. 4 Dynamic window diagram

所示.

当上一帧已经定出目标的特征集 $BLOB(m_{00}, x_p, y_p, T, B, L, R)$ 后,就不再进行全局扫描,只进行动态窗口内局部扫描,动态窗口远小于整幅图像,使计算量大大减小.

当图像的特征识别周期足够短时,由于小车运动的最高速度是有限的,而且比赛场景的相邻两帧的时间间隔也是一定的,所以每相邻两帧的图像中目标球的运行范围是有限的.因此,可以采用动态窗口技术进一步缩小扫描区域.该技术的基本思想是在每次获取一帧图像之后,以本次扫描得到的物体质心为中心,以物体在前后二帧图像时间间隔所能运动的最大距离为扫描区域,即形成一个 $L \times L$ 的动态窗口.

假设 V 为图像中心移动的最大速度, Δt 为采样平均间隔, S 为目标球的半径, R 为机器人两帧间移动的距离,也即两帧图像中心移动的距离, r 为目标球可能移动的最大距离,则该物体下一时刻的搜索范围是以当前质心为中心,边长为 L 的正方形区域.按照矢量图得

$$\vec{d} + \vec{R} = \vec{d}' + \vec{r},$$

所以

$$\vec{d} = \vec{d}' + \vec{r} - \vec{R},$$

进一步得

$$L = \Delta \vec{d}_{\max} + 2S = 2(R + r + S).$$

在目标足球没有被踢中的情况下,其运动速度是小于等于机器人小车的速度的,所以这里假设目标的速度等于机器人即图像中心移动的最大速度 V ,则有

$$R = r = V \times \Delta t,$$

故

$$L = 2(2 \times V \times \Delta t + S).$$

由于机器人的中心即为图像中心,小车的最大移动速度为 2 m/s,按照球场 8 m×6 m,全像视觉分辨率为 640×480,解得小车的最大移动速度: $V = 2 \text{ m/s} = 2000 \text{ mm/s} \times 480 \text{ 像素} \div 8000 \text{ mm} = 120 \text{ 像素/s}$,即每秒移动约 120 个像素,按采样 30 帧/s 计算,球的半径 $S = 80 \text{ mm}$,则动态窗口 $L \times L$ 为:

$L \geq 2(2 \times 120/30 + 80 \times 480/8000) = 25.6$ 像素,取 $L = 30$ 像素,则动态窗口为 30×30 邻域.

对于在上一帧图像中已经锁定的目标,在当前扫描过程中就不必在一幅图像中从头到尾扫描整个图像,只需要锁定局部区域(边长为 30 个像素的矩形区域)即可,进一步减少了扫描时间.

2.2 图像索引

如图 5 所示,彩色图像经过权值转换后生成灰度图像,为了降低其存储量并找出规律,我们进行了位置和灰度的索引.图 5 的左边是原灰度图像,右边是匹配模板,假设模板的误差 $E = 3$,则模板邻域如图 6 所示,根据按灰度大小排列的索引规则得到如图 3 所示的索引表,灰度值相同的坐标值排列一行中,符号按先行后列的排列顺序.首先选中图像索引表中与模板邻域表中首地址(0,0)灰度范围内 05~0B 的图像(灰度为 0A)坐标值作为候选区.

列	0	1	2	3
行	DB	B5	0A	DB
1	2A	2A	2A	DB
2	B5	0A	0A	B5
3	0A	FE	DB	DB

列	0	1
行	08	D9
1	2B	DD

图 5 图像及模板
Fig. 5 Original image and template image

如图 3 所示为(0,2)、(2,1)、(2,2)、(3,0),由于(3,0)已超出图像范围所以舍去,因此原图像的候选模板如图 7 所示,它也是最可能匹配的目标.

如图 8 所示,按索引权值规则:原模板与候选模板的对应的灰度差 $\Delta \leq E$ 的为 0 否则为 1,求得的候选权值表如图 8(a) 所示,由于(0,2)点的各处灰度权值均为零,其 0 的个数最大,所以其对应的候选区为匹配的目标如图 8(b) 所示.

列	0	1
行	05~0B	A8~AE
1	20~26	D3~D9

图 6 图像模板邻域
Fig. 6 Image emplate neighborhood

列	2	3
行	0A	DB
1	2A	DB

列	1	2
行	0A	0A
3	FE	DB

列	2	3
行	0A	B5
3	DB	DB

图 7 候选表
Fig. 7 Candidates

列	(0,2)	(2,1)	(2,2)	(3,0)
行	08	0	0	0
D9	0	1	1	
2B	0	1	0	
DD	0	1	0	

列	0	1	2	3
行	DB	B5	0A	DB
1	2A	2A	2A	DB
2	B5	0A	0A	B5
3	0A	FE	DB	DB

(a) (b)

图 8 候选权值及匹配结果
Fig. 8 Candidates weight and template solution

我们计算一下此方法的计算量为 $O(km^2)$, m 是指模板的行数,在这里 $m = 2$.另外针对 Δ 值的大小选定要适中,当 Δ 选的较大时匹配速度加快,花费较少的计算时间,匹配精度较低;当 Δ 选的较小时匹配速度较慢,花费较多的时间,但匹配精度较高.

2.3 动态模板

就是把识别的目标作为新的模板,即所匹配的模板是动态变化的,这有助于目标的精确识别.因为在中型组足球机器人比赛中,场景的原图像及目标图像都是时变的,如果用同一模板去匹配变化的场景会产生错误的.

在目标跟踪过程中,由于机器人小车的移动和旋转,致使原图像发生缩放和旋转,如果用固定模板去匹配原图像查询目标,会产生很大误差,甚至丢失目标,这时动态模板将起到重要作用.它可以实时更新模板

去匹配新图像,这样可以提高模板匹配的识别率和跟踪目标的鲁棒性.

另外,30 Hz 的视频流相对于机器人移动来说,由于运动的连续性和视频流的相关性,原图像及目标的旋转和缩放的变化是微小的,这样就可以利上一帧识别目标的结果,作为下一帧匹配的模板而不会产生误差,但只限于相邻帧之间,再下一帧随着图像的改变模板也在改变,模板不是永远固定的,而是偶尔不变的.也可以根据参考文献[7]利用卡尔曼滤波修正足球的运动轨迹,预测下一帧模板的精确大小和位置.

3 实验设计及结果分析

3.1 仿真的匹配实验

为了验证索引图像的匹配方法的效果,如图 9 所示,我们选择一幅 114×80 原图像和 20×20 的模板,首先通过公式(1)进行彩色图像到灰度图像转换,并在(96,49)处截取模板,运算结果为 BLOB(400,96,49,39,59,86,106).

为了说明算法的抗噪声能力及其鲁棒性,我们在图像中分别加入了 10%、20% 和 30% 的高斯噪声.

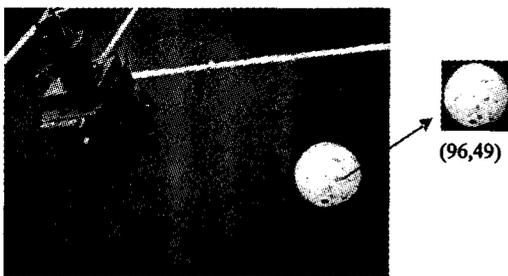


图 9 原图像及匹配模板

Fig. 9 Original image and query images

如图 10 所示,其目标识别结果最大误差为 2,相对误差为 2%,能够满足机器人的目标跟踪和识别.另外,我们通过多次改变不同的权值 w_1 、 w_2 和 w_3 ,进行

目标识别后发现,对于红色足球来说权值大小对目标识别的准确度存在峰值,分别为 $w_1 = 0.716\ 370\ 3$, $w_2 = 0.203\ 54$, $w_3 = 0.080\ 27$,由于是经验数据值,有赖于进一步实验和理论分析.

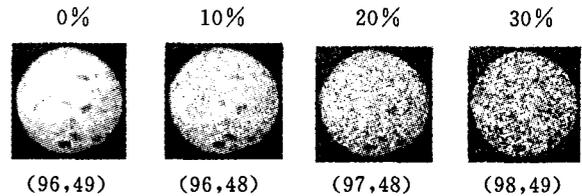


图 10 实验结果

Fig. 10 Experiment result

3.2 实战的匹配实验

按图 1 所示的流程图用 VC6.0 进行了程序编写,实际运行的笔记本配置是:CPU 双核 2.8 G,4 G 内存;采用的数码像机分辨率分别为: 320×240 , 640×480 ;通信协议为 USB2.0 传输速率为:480 Mbit/s. 测试结果如表 1 所示.

经分析可以看出算法识别时间随着图像分辨率的增加而有所增加,识别精度和鲁棒性随着分辨率的增加而提高,对于图像连续扫描帧数对识别率和识别时间不相关.分辨率提高 4 倍,而识别时间只提高 1.18 倍,这主要是权值算法中图像索引的贡献.

4 结 论

本文提出了基于权值算法的全自主机器人目标识别,它是将模板匹配与动态窗口、权值变换、图像索引和动态模板等相结合的方法,既利用了模板匹配的简单快捷,又利用了动态窗口缩小匹配范围、动态模板与时俱进、图像索引和权值变换缩短了比对时间,改善了传统模板匹配方法对图像质量要求很高,对噪声敏感耗时长的弊端,提高了目标的识别率降低了识别时间,并在足球机器人视觉系统中进行了仿真实验和实地测试.实验结果表明,在原图像加入 30% 噪声情况下,其

表 1 视觉系统测试运行结果

Tab. 1 Test results

图像区域大小 / 像素	模板区域大小 / 像素	连续扫描的图像帧数	算法平均运行时间 / ms	目标识别率 / %
320×240	10×10	10	25.5	99
320×240	10×10	20	25.3	100
320×240	10×10	30	25.6	99
640×480	20×20	40	29.7	100
640×480	20×20	50	30.0	100
640×480	20×20	60	29.9	100

识别率仍能达到 99.7% 且识别时间不超过 30 ms, 这种方法既在一定的程度上降低了噪声干扰的影响, 又提高了目标识别的速度和准确性, 从而提高了系统的实时性和鲁棒性, 在实验中能得到比较满意的效果。

参考文献:

- [1] Ataman E, Aatre V K, Wong K M. A fast method of real-time median filtering[J]. IEEE Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing, 1980, 28(4): 415-421.
- [2] Bong Gun Shin, So Youn Park, Ju Jang Lee. Fast and robust template matching algorithm in noisy image[J]. Automation and Systems, 2007, 3(8): 6-9.
- [3] Gao Fuqiang. A fast color image matching algorithm[J]. Computer Applications, 2005, 25(11): 2604-2605.
- [4] 高富强. 一种快速彩色图像匹配算法[J]. 计算机应用, 2005, 25(11): 2604-2611.
- [5] 伍文峰. 基于模板匹配的目标识别算法的设计与实现[J]. 计算机应用, 2006, 26(12): 133-135.
- [6] 高军. 基于模板匹配的图像配准算法[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(3): 307-311.
- [7] 吴晓, 曹其新. 白点定位图像处理算法[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(6): 168-173.
- [8] 王卫. 足球机器人彩色视觉图像的分割与识别[J]. 计算机工程与应用, 2005, 17(7): 68-71.
- [9] 王红梅, 张科, 李言俊. 图像匹配研究进展[J]. 计算机工程与应用, 2004, 19(12): 42-44.

Target Recognition of an Autonomous Robot Soccer Based on Weight Template Matching Algorithm

WU Xiao*, CAO Qi-xin**

(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: This paper proposes an autonomous robot soccer target recognition algorithm based on weight template matching. It improved the target recognition rate and decreased the recognition duration through method such as dynamic window, weight conversion, image index and dynamic template. Besides that, it carried out simulation experiment and field testing on the vision system of robot soccer. Result of the experiment shows that when the original image contains 30% of white noise, its recognition rate can still reach 99.7% and the recognition duration is no more than 30 ms. This method not only decreased the effect of noise interference to a certain extent, but also increased the speed and accuracy of target recognition, thus increased the real-time and robustness of the system.

Key words: template matching; autonomous robot soccer; weight algorithm; target recognition