

一个足球机器人视频跟踪算法

王金鹤

(青岛理工大学计算机学院, 青岛 266033)

摘要 随着机器人和人工智能技术的发展,在复杂环境中特别是足球机器人的实时比赛的环境进行识别和跟踪已是一个挑战性的课题,提出了一个基于投影的目标跟踪算法,该算法首先把比赛场地分成了若干区域,在这些区域内搜索一个种子点,然后以此点为起点沿垂直或水平方向在目标区域搜索,计算该点的投影值,根据这些投影值识别出目标的一个顶点(或小球的球心),进而识别出目标;最后,提取出7个运动目标的位置和方向,实验结果表明,该算法与其他方法相比有计算量少、图像处理速度快和易于实现等优点。同时,该算法在仿真系统中得到了检验。

关键词 足球机器人 视频跟踪 种子点算法

中图法分类号:TP301.6 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)12-2338-06

A Video Tracking Algorithm for Soccer Robots

WANG Jin-he

(College of Computer Science, Qingdao Technological University, Qingdao 266033)

Abstract With the development of robot and artificial intelligence, the effective recognition and tracking in the complex background becomes a challenging problem, especially in soccer robots game. This paper presents a novel and efficient target tracking algorithm based on a projection method. The projection method has advantages over others. Due to its reduction of calculation work, it makes image processing efficient, and is easy to be implemented. The competition field is divided into several regions from which a seeded point is extracted to be used as a tracer and is traced into a predicting target region. Then the projection of the tracer is calculated along with the vertical (or horizontal) direction in the target region. Based on the projections, a vertex of the target (center for ball) can be recognized. Finally, the position or orientation of the 7 moved targets can be determined. The performance of the proposed method is assessed in the video tracking system. Experimental results are also shown in a computer simulated system.

Keywords soccer robots, video tracking, seeded point

1 引言

足球机器人比赛已逐渐成为高技术产业的研究热点之一,受到世界各国的重视。在短短几年时间内,有越来越多的学者投入精力对足球机器人进行研究^[1~5],产出了大量高水平论文和丰富的成果。足球机器人比赛是由国际机器人足球联合会(FIRA)组织安排的世界杯赛事,从1996年开始每

年一届,已在包括中国北京在内的多个世界著名城市举办过。足球机器人系统主要分为硬件、传感(视觉)、通信、控制和上位机系统,研究的热点主要是足球机器人视觉研究、决策规划研究、硬件平台研究、通讯研究等。

本文开发的系统包括规划决策、通讯、视频采集、视频处理和识别等模块。视频采集模块实现在Windows环境下,通过采集卡和CCD摄像头来获取视频信息,来进行视频处理。通过采集卡获得的图

像信息,直接存放在内存中,不通过文件,其他程序可以直接进行数据处理。图像的大小依采集卡的性能而定。图像的尺寸以 CCD 摄像头的最大采集图像尺寸的为基准,共设置 3 个档次:最大尺寸,最大尺寸的 1/2,最大尺寸的 1/4。图像的存储方式是指如何表达采集到的图像,如彩色图像的每一个像素点用 16 bits 来表达,还是用 24 bits 来表达等。规划决策模块主要包括指令控制、机器人路径规划和处理、策略规划、数据分析和处理等内容。视频处理和识别模块主要包括基本信息设置、视频环境因素控制、视频触发时机控制、颜色处理和视频跟踪识别等,本文主要针对视频跟踪算法进行探讨,其应用环境为实际场地比赛,但由于机器人硬件处于开发过程中,算法利用 CCD 摄像头 (MS-980P) 和视频卡 (MTS-8168VC) 在人工对机器人的干预下,做了一系列实验,实验结果表明,效果良好,和仿真数据基本一致,文章最后给出了在仿真环境下的测试数据。

2 颜色信息处理

颜色是人的视觉系统对所接受到的光信号产生的一种感觉,不同波长的光信号带给人们不同的颜色感受。在足球机器人视觉识别系统中,彩色图像信息比较突出,充分利用颜色信息的特性较易对视频数据进行识别和处理,因此,本系统在识别过程中主要利用他们的颜色信息。机器人色标的设计多种多样^[6],队员的图案亦不尽相同,但颜色种类有一定的规定,在视频数据中需要处理的主要颜色种类如表 1 所示。

表 1 颜色信息表
Tab.1 Color information

编号	类别	颜色值
1	场地	深绿色
2	场地中网格线的颜色	白色
3	足球颜色	橘红色
4	参赛球队的队标颜色	黄色或蓝色
5	队员标志颜色	自定,不能与队标和场地相同

2.1 颜色分量选择

在所捕获的图像中,深绿色和白色作为背景颜色,蓝色和黄色作为识别我方或敌方队员的队标颜色信息。利用我方队员的颜色标记来识别是我方的

哪个队员。

视觉系统的 CCD 输出参数为红、绿、蓝,由这 3 种颜色组成的颜色空间称为原色系统,即 RGB 颜色模型。每种颜色,对于 R、G、B 3 个通道都有一个范围,如白色的 R、G、B 范围分别为

$$R:220 - 255;G:220 - 255;B:220 - 255$$

本系统在最初阶段应用了 RGB 模型,但在不同光照和不同的背景材料下,这个颜色阈值范围变化很大,极易产生误判,从而影响处理速度和输出结论。因此,在目前的系统中,应用了 HSV 颜色模型,HSV 为倒的单位正 6 棱锥。

HSV 含义如下:

H (色度) 表示色度信号,主要指颜色的种类。如红、绿等。

S (饱和度) 表示饱和度信号,主要指颜色的深浅,如深红、浅红等,相当于加入了白光对色彩进行了稀释。白光越少,饱和度越高,颜色越深;反之,白光越多,饱和度越低,颜色越浅。

V (明度) 表示明度信号,主要指光的明暗程度。在颜色中加入黑色,明度降低,反之升高。

在上述分量信号中,饱和度 **S** 属在色彩中加入白光多少的信号,对 **H** 起辅助作用,在识别模块中弃用;色度 **H** 信号受外界影响较小,即随环境因素变化量最小,可作为颜色识别属性;明度 **V** 通常在较暗的环境中发挥作用,亦可作为颜色识别属性。在本系统中,在比赛初始调试阶段,根据训练样本,确定本系统识别所利用的颜色分量个数。在某些情况下,只用了 **H** 信号 (如表 2 所示),大大缩减了视频处理时间,但当环境较暗时,**H** 信号模糊,系统将根据先前记忆的某颜色的 **H** 信号强弱信息,自动追加 **V** 信号。对 RGB 和 HSV 模型,建立起各坐标顶点之间的对应关系如表 2 所示,具体转换矩阵从略。

表 2 颜色空间数据转换对比
Tab.2 Color space transformation

颜色	(R,G,B)	(H,S,V)
红色	(1,0,0)	(0,1,1)
黄色	(1,1,0)	(60,1,1)
绿色	(0,1,0)	(120,1,1)
青色	(0,1,1)	(180,1,1)
蓝色	(0,0,1)	(240,1,1)
品红	(1,0,1)	(300,1,1)

2.2 颜色属性

在建立视频跟踪的数据结构中,一个重要的结构体就是颜色分量的属性。

(1) 基本属性

基本属性包括颜色编码,此编码唯一标识本系统所使用的颜色分类,如场地背景、小球颜色、我方队员颜色、敌方队员颜色等。

(2) 区域编码

由于同一场地上各个小区域受光照的影响不同,文献[7]利用分区和阈值对图像进行了分割和识别,分割方法较复杂,制约了算法速度。把场地分成了若干小区。因为足球机器人的顶面为一个正方形,设此正方形外接圆的外接正方形边长为 d ,场地面积为 S ,小区的个数 N 为 S/d^2 取整后的值。

(3) 颜色阈值

文献[8]将传统的彩色图像分割算法大致分为 3 类,其中阈值法假设了颜色值局域内的相关性,文献[9]则利用阈值查找表在 RGB 空间对目标进行了分隔,但由于环境因素影响,效果并不十分理想。利用 HSV 空间模型对场地进行了分区处理,在系统初始化运行中,按已经划分的 N 个小区逐一计算某颜色分量 H 或 V 的阈值上(下)限,并分别保存在相应的阈值数组单元中。在初始具体计算阈值时,先计算靠近场地中心点的一个区域,计算并保存这个区域的上下阈值,按这个阈值给其他区域的阈值数组单元赋初值,以防出现空值现象。然后按遍历算法计算其他区域上下阈值。若在系统正常运行中,外部环境因素影响较大,系统将依次保存上次阈值到阈值备份数组的相应单元中,同时根据实际计算,更新阈值数组相应单元数据(只允许更新阈值 1 次,可进行新旧阈值切换)。

3 机器人位置和方向判断

视觉识别系统采用 CCD 摄像头获取图像,其主要工作是快速识别敌我双方的 6 个机器人和 1 个小球,为了捕获 30 帧/秒的目标图像数据,在实际比赛环境中需在 16ms 内完成对机器人发出指令信息,因此,首先要求尽快把这 7 个物体从背景中分离开来并提交准确的物体参数。机器人的大小为 $75 \times 75 \times 75 \text{ mm}$,在图像中为正方形,该正方形的边长为 75mm。由于机器人(或小球)的区分主要以颜色信息为基本输入数据,因此,获得要识别对象的一个内

部点成为视频处理的首要问题,以下称这个点为该对象的种子点。找到了种子点,就可以依据颜色特征识别物体。机器人识别的流程如图 1 所示。下面将详细叙述机器人定位策略。

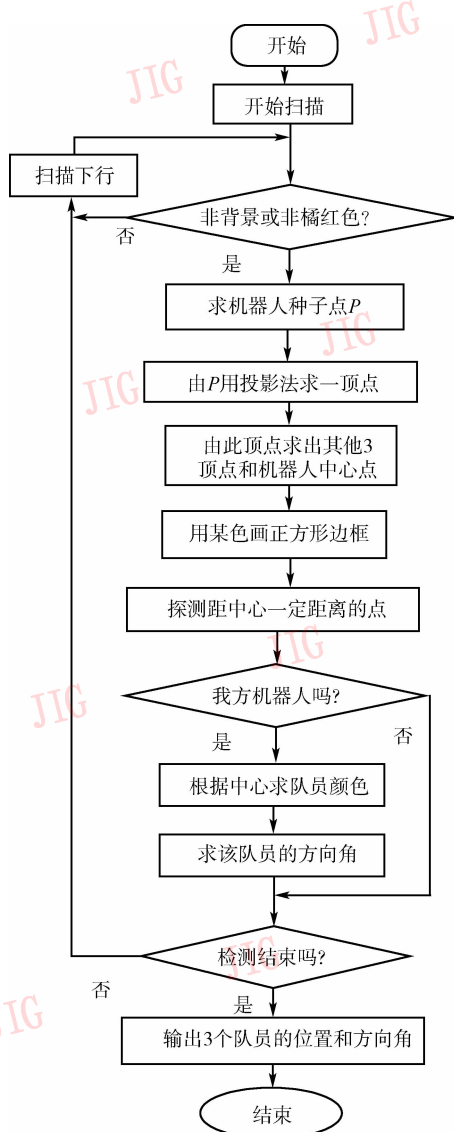


图 1 机器人识别流程

Fig. 1 Design process for robot recognizing

3.1 种子点的选取

由于运动目标的区别标志是颜色,在颜色链表中选取目标颜色值(球或机器人),根据阈值范围,再在图像中查找此类颜色区域,找出种子点。

在比赛过程中,种子点的选取除了要根据先前位置判断下一步的可能出现的区域外,还要根据帧间图像相似性的特点,由上一幅甚至几幅图像的具体位置,进一步预测目标可能出现的位置。预测完成后,根据预测结论,在预测区域,以区域中心为中

心,以机器人正方形内切圆的直径为边长作为搜索区域,并在此区域中根据此颜色阈值范围搜索种子点,若搜索成功,返回种子点。

若失败,此搜索区域外,以同样大小搜索区域组成 8 个 8-邻域区域,并根据阈值范围依次搜索没有搜索的区域,递归上述算法,即可求出种子点。

3.2 机器人位置判断

找到了种子点,就可以求得正方形的一个顶点的坐标值,那么,利用它的边长信息及颜色信息(机器人的颜色应是非背景色非橘红色)可以求得其他顶点的坐标值。

3.2.1 用投影法搜索顶点

种子点 P 在正方形内的位置关系有多种情况,以正方形中心为原点可把正方形分为 4 个区域,如图 2 所示,则 P 可能落在 A、B、C、D 等区域。虽然有 4 个区域,每个区域根据正方形本身的角度关系又有多种情况,但若有良好的搜索路径,所有情况可归为一种或两种情形考虑,于是有下面的结论。

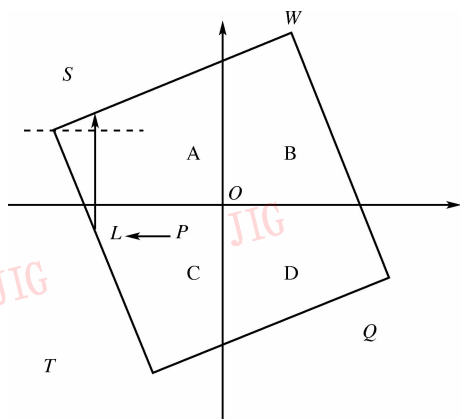


图 2 求顶点的过程

Fig. 2 A vertex point detection

定理 对于封闭四边形内的一点 P ,从 P 点出发向左边界搜索,到达边界后再向上(或向下)搜索,可以得到四边形的一个顶点。

根据定理,可以从种子点出发找到正方形的一个顶点。本算法流程图如图 3 所示,下面给出求顶点的算法思想:

第 1 步 求左边界交点 L 。

P 点可以在 4 个区域的任何一个区域,设 P 点在 C 区(见图 2),由定理可知,从 P 出发向左搜索,可以到达射线 PL 与正方形的边界交点 L 。给定步长 b ,从 P 点向左搜索移动中,每向左移动一步,做两件事情:

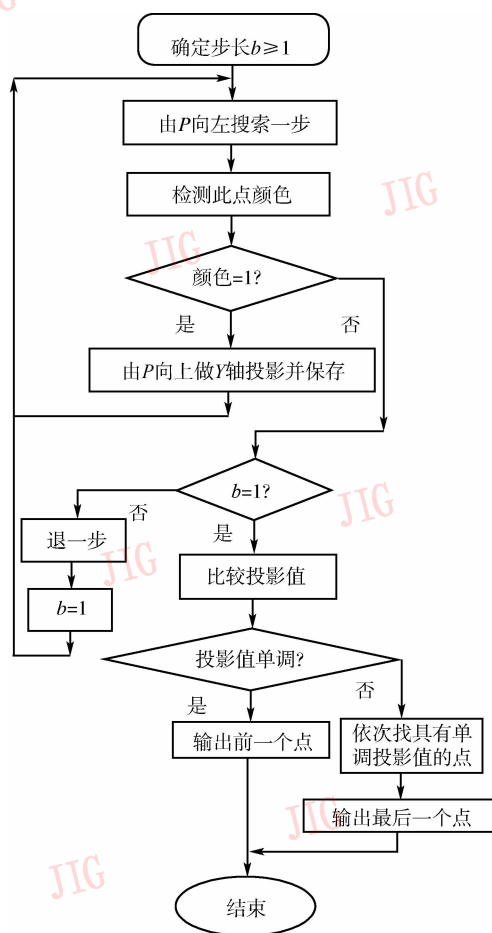


图 3 求左边界交点流程

Fig. 3 Design process for left intersection point

(1)判断当前点的颜色值。对于同一个机器人,其颜色值进行了归一化处理,即认为在这个机器人所含的正方形区域内,把颜色值看作 1;而不在区域内的点,均可以将其颜色值看作 0。

(2)从当前点向上做 y 轴投影,投影最大距离为 $\sqrt{2}$ 边长倍。计算投影值的方法是自当前点向上搜索,若颜色值为 1,此点仍是内部点,累加 1,反之,若颜色值为 0,说明到了外部,停止搜索,保存累加值。搜索终止条件是向上搜索的投影距离。有了类似终止条件,就能很好地处理几个机器人叠在一起的情况,不过这里仍假设机器人是孤立的。

在向左搜索过程中,投影值是递减或递增的,这说明程序正在正方形内部正常搜索,若当前点颜色值为 0,搜索步长退回前一步。判断前一步的这个当前点,若颜色值不为零,更改搜索步长为 1,继续向左搜索,此时,距离边界点 L 只有一步之遥了,搜到 0 值后,即找到了边界交点 L ,它就是搜索路径上

的前一个点。

第 2 步 求顶点。

从边界点 L 按指定步长 b 向上(或向下)搜索,搜索的最大长度为边长的 $\sqrt{2}$ 倍(若有同类机器人重叠情况,不至于进入非识别物内部太远),直至颜色值为 0,表示已到另一边界。若向上搜索的开始一步(或可能几步,此时主要区分机器人粘连情况)颜色值为 0,表示可能已出界,要搜索的顶点一定在下面,应向下搜索,这里假设向上搜索(如图 2 所示)。在从下到上的搜索过程中,每向上移动一步,同样做两件事情:

(1)检查当前点颜色值,判断是否结束。

(2)从当前点向左做投影距离为 $\sqrt{2}/2$ 边长的横向投影,累加投影值。

最后判断投影值从小变大后,又从大变小的分界线,此分界线上最左的颜色值为 1 的点即为顶点 S 。

3.2.2 机器人定位

已经求出正方形的一个顶点 S 后,又由于在寻找顶点的过程中已经找到了正方形与此顶点相连边上的一点 L ,则由 S 和 L 两点距离和方向可直接计算出另一顶点 T 。

由以上点的搜索原理可知,正方形的其他两点应在直线 ST 的右上(下)方,因此,可直接计算出另外两点,于是正方形中心坐标也可以计算完成了。

利用队员颜色中心与正方形中心的角度可以得出我方机器人的方向角。

至此,机器人的位置信息已给出,根据前几帧图像的判断结果,不难算出机器人的速度、方向和未来走向等信息。

4 球的位置判断

同识别机器人的算法类似,对小球的识别也先找出种子点,再根据种子点搜索。搜索方式如图 4 所示,点 $P(x_{pre}, y_{pre})$ 为根据上帧数据计算得到的预测点。首先检测 P ,如不是橙色,则依次检测 P_1 、 P_2 、 P_3 是否是橙色,再依次从 P_4 到 P_5 , P_6 到 P_7 , P_8 到 P_9 , P_{10} 到 P_{11} ,从 P_{12} 到 P_{13} , P_{14} 到 P_{15} , P_{16} 到 P_{17} , P_{18} 到 P_{19} 进行搜索。

算法思想为:

通过对帧间图像搜索,找到小球内一种子点 $A(x_{random}, y_{random})$,向上生长,若是小球内的点,继续

向上找,若不是,判断是遇背景点,还是机器人,分别设标志。记录此点的下一点为上边界点,依次找下、左、右、左上、右下和左。

$$x_e = \frac{(c_1 - d)b_2 - (c_2 - d)b_1}{a_1b_2 - a_2b_1}$$
$$y_e = \frac{(c_1 - d)a_2 - (c_2 - d)a_1}{a_1b_2 - a_2b_1}$$

式中,

$$c_1 = x_2x_2 + y_2y_2$$

$$c_2 = x_3x_3 + y_3y_3$$

$$d = x_1x_1 + y_1y_1$$

$$a_1 = 2(x_2 - x_1)$$

$$a_2 = 2(x_3 - x_1)$$

$$b_1 = 2(y_2 - y_1)$$

$$b_2 = 2(y_3 - y_1)$$

而点 (x_1, y_1) , 点 (x_2, y_2) , 点 (x_3, y_3) 分别为圆上任意 3 点的坐标,点 (x_e, y_e) 为圆心的坐标。

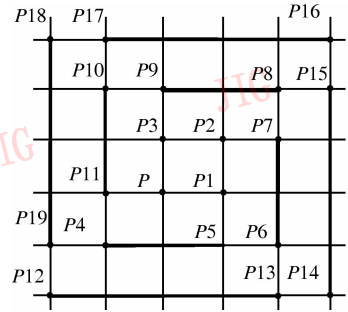


图 4 识别小球搜索算法示意图

Fig.4 Illustration searching a ball

5 仿真测试结果

计算机仿真系统能很好地模仿实际系统,仿真系统测试结果的好坏直接影响到能否很好地模仿实际系统^[10],利用仿真系统研究实际系统是软件测试的重要方面。针对视觉模块本身的测试,开发了一套仿真模拟系统。用键盘或鼠标等输入设备将 6 个小车和一个球移动到模拟画面中的任意位置,可分别对其设定运动方向和速度(0~1.5m/s),则开始后小车或球按此方向和速度运动。

运行仿真系统,设置完旋转方向和速度后,选择菜单 Begin Game,则按照本算法开始对 7 个物体进行动态识别。每 1/60s 得到一次小球及小车的中心点。如图 5 所示,状态条显示 7 个物体的运动方向,

通过交互,可显示所选定目标物体的位置和速度,图 5 显示小球在某时刻的中心坐标为(301,618),1 000次的平均运算时间为 926ms。因为识别所需的时间极少,所以要通过多次循环得到检测的时间,表 3 中为一般情况(例如,两帧的小球相距 50 个像素)。

输入:通过对话框输入循环次数。

输出:识别所需的时间。

测试用例:循环次数设为 10,100 及 1 000 时的输出结果,测试结果如表 3 所示。

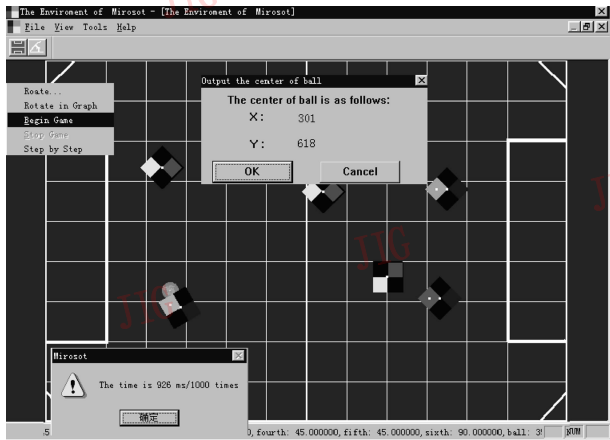


图 5 在仿真环境中的目标识别模块

Fig.5 Results of target searching

表 3 测试环境中运算时间一览表

Tab.3 The running time in emulating case			
类别	次数	小球输出时(ms)	机器人输出时间(ms)
一般情况	10	1	6
	100	3	51
	1 000	32	494
球被覆盖 1/3 情况	10	10	
	100	92	
	1 000	926	

6 结 论

本文提出的视频跟踪算法可用于实际场地环境,实际获取并处理的视频图像在 2ms 内可以完成,由于项目组的机器人硬件正在开发过程中,该模块在实际环境中测试运动目标需要人工配合,测试

结果表明,各个物体实际测试误差在 2mm 之内。在仿真环境下测试也有良好的效果。

致 谢 张燕珍博士和袁野博士对本研究项目的顺利完成提供了帮助,大连理工大学欧宗瑛教授对本项目给予了积极支持,在此表示衷心的感谢。

参考文献 (References)

1 Marques C F, Lima P U. Vision-based self-localization for soccer robots [A]. In: Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems[C], Takamatsu, Japan, 2000:1193 ~1198.

2 Myung J J , Kim H S, Kim S, et al. Omni-directional mobile base OK-II[A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation[C], San Franisco, 2000:3449 ~ 3454.

3 Liu H, Zha H, Feng S. A training method for robust recognition of color uniforms of soccer robots[A]. In: Proceedings of FIRA Robots World Congress[C]. Seoul:Kaist Press, 2002: 666 ~ 669.

4 Chao H E, Xiong R. Fast segmentation and identification in vision system for soccer robots [A]. In: Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation [C], Shanghai, China, 2002: 532 ~ 536.

5 LI Xiao-ming. Study on image-identification of mirosot[J]. Journal of Shanxi University, 2003,26(1):30 ~ 32. [李晓明. 对足球机器人视觉图像识别问题的探讨[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2003,26(1):30 ~ 32.]

6 Hu Ying, Zhao Zhu-ying, XU Xin-he. Research on designing of color tag and identifying algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2003 ,12 (7) :1291 ~ 1295. [胡英,赵姝颖,徐心和. 色标设计与辨识算法研究[J]. 中国图象图形学报, 2003 ,12 (7) : 1291 ~ 1295.]

7 Wang Wei, Chen Ji-rong, Xu Jing-ye. Color image segmentation and recognition for soccer robots [J]. Computer Engineering and Applications,2005,41(17) :68 ~ 71. [王卫,陈继荣,徐璟业. 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, 2005,41(17) :68 ~ 71.]

8 Jiang Ping-fan, David K, Yan Y. Automatic image segmentation by integrating color-edge Eextraction and seeded region growing[J]. IEEE Transactions On Image Processing,2001,10(10):1454 ~ 1466.

9 McNaughton Metthew, Zhang Hong . Color vision for robotcup with fast lookup tables [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing [C], Changsha, China,2003:399 ~ 404.

10 Xue Fang-zheng, Feng Ting, Xu Xin-he. Research on collisions in soccer robot system simulation[J]. Robot, 2005 ,27 (1) :78 ~ 81. [薛方正,冯挺,徐心和. 足球机器人系统仿真中的碰撞研究 [J]. 机器人,2005,27(1):78 ~ 81.]