

文章编号: 1001-0920(2008)01-0075-04

基于全景与前向视觉的足球机器人定位方法研究

杨 鹏, 高 晶, 刘作军, 万文献
(河北工业大学 电气与自动化学院, 天津 300130)

摘 要: 针对足球机器人比赛中要求快速准确获取目标位置信息的特点, 设计了由全景视觉和前向视觉共同构建而成的机器人视觉系统. 对于单一视觉传感器, 采用图像坐标系转换求反正切法、分段比例法及针孔摄像机成像模型的方法, 以 blob 面积为优选条件选择定位方式, 从而得到精度较高的定位结果. 实验结果证明了该视觉系统设计的合理性及定位方法的有效性.

关键词: 全景视觉; 前向视觉; 定位; 分段比例法; 小孔成像模型

中图分类号: TP24 **文献标识码:** A

Localization for robot soccer based on omni-vision and front-vision

YANG Peng, GAO Jing, LIU Zuojun, WAN Wenxian

(School of Electrical Engineering and Automation, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China.

Correspondent: GAO Jing, E-mail: fait_gao@yahoo.com.cn)

Abstract: To meet the requirement for obtaining positional information of objects quickly and precisely, a vision system based on omni-vision and front-vision is designed. For the single vision sensor, the method of transforming image reference frame and extracting arc tangent and the method of separate proportion and pinhole imaging model of camera are adopted. For getting more precise localization result, the excellent mode of localization is chosen according to the area of blob. The experimental results show the rationality of the vision system and the effectiveness of the proposed localization method.

Key words: Omni-vision; Front-vision; Localization; Means of separately proportion; Pinhole imaging model

1 引 言

足球机器人要在球场上自主地完成路径规划、避障、射门等预定的任务, 就需要实时获取赛场上球、本方队员、对方队员、角标等目标的位置和姿态. 因此, 基于视觉的目标定位是足球机器人的一项重要基本功能.

近年来, 视觉传感器因其包含丰富的环境信息而受到了普遍的关注, 基于视觉传感器的机器人定位技术也成为研究的热点. 很多学者提出了不同的定位方法, 这些方法大体可分为 3 类: 1) 基于立体视觉的方法^[1-3]: 这类方法能获取较多的周围环境信息, 得到比较精确的定位结果, 但难以确定两个相机间的最优距离, 而且立体视觉中要解决特征点的匹配问题; 2) 基于全景视觉传感器的定位方法^[4, 5]: 使用这种视觉传感器不需要控制摄像头, 但它会对感知到的环境产生很大的畸变; 3) 基于单目视觉的机

器人定位算法^[6, 7]: 这类方法具有简单易用和适用范围广等特点, 它不用解决立体视觉中的两相机间的最优距离和特征点的匹配问题, 也不会像全景视觉传感器那样产生很大的畸变, 但直接利用这种方法也很难得到较高的定位精度^[8, 9].

为提高基于视觉的定位算法的定位范围和精度, 本文提出了由全景视觉和前向视觉共同构建的视觉系统, 综合二者优势来进行足球机器人定位. 实验结果证明了该方法的有效性.

2 足球机器人视觉系统结构

整个视觉系统由图像采集硬件和图像处理软件两部分组成. 硬件部分包括全景视觉传感器 VS-C4 50N-RC、固定装置、基于 IEEE1394 标准的图像采集设备和 USB 数字摄像头; 软件部分则要实现图像预处理、图像分割、特征提取和机器人定位等功能^[10]. 机器人实体如图 1 所示.

收稿日期: 2006-09-23; 修回日期: 2006-12-11.

基金项目: 国家自然科学基金项目(60575009).

作者简介: 杨鹏(1960—), 男, 河北秦皇岛人, 教授, 博士, 从事移动机器人控制、智能假肢等研究; 高晶(1982—), 女, 山西运城人, 硕士, 从事机器视觉、移动机器人控制等研究.

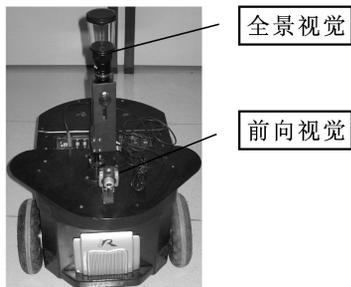


图 1 全自主式足球机器人

全景视觉传感器是一种利用单摄像头便可获得全方位环境信息的视觉传感器. 它采用反射镜反射全方位环境, 然后输入到传感器进行成像. 反射镜有多种曲面形状, 如双曲面、抛物面、球面和锥面等. 图 1 中的全景视觉模型采用的反射镜为双曲面. 前向视觉传感器采用普通针孔摄像头, 其采用 USB 接口可直接获取图像数字信息, 简化了视觉处理. 系统软件采用基于进程间通讯 (IPC) 的软件结构来设计. 全景视觉和前向视觉传感器分别对应一个进程, 决策程序对传感器信息的获取通过进程间通讯来实现, 并通过 Socket 方式和总控决策系统交换信息.

3 基于全景视觉和前向视觉的目标定位

基于视觉的图像信息处理过程如下: 首先, 视觉处理软件接收视觉系统的数字图像信息后, 进行图像处理 (增强、恢复、编码); 然后, 将预处理后的数据传递给图像识别模块, 该模块采用 blob 算法进行图像识别 (把图像分割成不同区域并进行特征抽取和分类), 提取目标色块的 blob 信息 (色块中心坐标、边界信息及像素面积); 最后, 将目标物体的图像像素坐标转换为实际位置坐标 (距离、角度), 即对图像进行位置标定 (定位), 为机器人决策系统提供信息依据^[11]. 以下将分别阐述在全景视觉及前向视觉系统下机器人的目标定位方法, 最后再将二者信息进行综合利用便得到可靠度高的位置信息.

3.1 全景视觉定位

根据全景视觉系统反射镜的对称结构, 光线的直线传播以及小孔成像模型的原理可知, 视觉系统所采集图像的变形主要发生在纬度方向, 而经度方向则能比较准确地反映目标的位置. 因此, 在求目标角度时, 可直接采用求反正切的方法. 为获得目标相对足球机器人坐标系的位置, 可将图像坐标系旋转平移. 经旋转平移后, 机器人本体上建立的局部坐标系以机器人前向为 X 轴, 逆时针旋转 90° 方向为 Y 轴, 形成笛卡儿坐标系. 求出目标相对新坐标系的坐标便可得到目标相对足球机器人的实际像素位置. 同时, 通过坐标系的旋转平移之后, 所采集的图像被

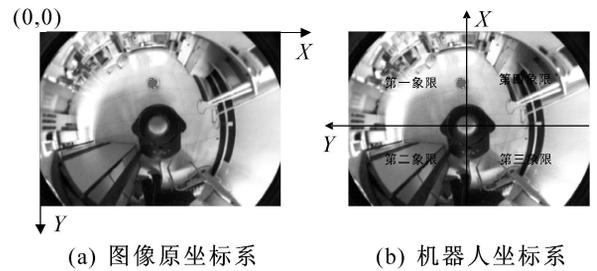


图 2 坐标系变换示意图

分为 4 个象限, 图 2 为坐标系变换示意图.

blob 信息中的色块中心坐标即为目标在图像中的像素坐标, 图像坐标系中心坐标即为机器人的像素坐标, 由此得到目标相对足球机器人的像素位置, 进而可求出目标在足球机器人坐标系的角度 (目标和图像中心连线与 X 轴的夹角) 和实际距离. 假设目标角度为 (目标位于第一、二象限时, 相对于 X 轴为正向的夹角; 目标位于第三、四象限时, 相对于 X 轴为负向的夹角), 在原图像坐标系中的位置为 (x, y) , 机器人在图像中的坐标为 (x_M, y_M) , 则

$$= \begin{cases} \frac{-}{2} - \arctan\left(\frac{y - y_M}{x - x_M}\right), & x > x_M; \\ \frac{-}{2} - \arctan\left(\frac{y - y_M}{x - x_M}\right), & x < x_M. \end{cases} \quad (1)$$

传统的对全景视觉进行距离标定的方法是根据反射镜的曲面方程和光学原理确定标定关系. 这种方法对于全景视觉的反射镜镜面加工精度要求很高, 而且需要了解反射镜的曲面参数、安装高度、摄像机标定模型. 由于摄像机光学系统中存在误差, 物体点在摄像机像平面上实际所成的像与空间点之间存在着非线性关系. 对于要求精度较高的足球机器人系统, 显然不再适用. 为了得到比较精确的位置信息, 本文采用分段比例系数法. 具体步骤如下:

- 1) 将目标置于距离足球机器人 D 的位置上.
- 2) 通过下式求得目标在图像坐标系中相对图像中心的距离 d :

$$d = \sqrt{(x - x_M)^2 + (y - y_M)^2}. \quad (2)$$

其中: (x, y) 为目标在图像中的坐标, (x_M, y_M) 为机器人在图像中的坐标.

- 3) 确定比例系数

$$k_i = (D_i - D_{i-1}) / (d_i - d_{i-1}). \quad (3)$$

其中: D_i, d_i 为对多个位置进行标定后的实际距离及像素距离值.

- 4) 计算目标距离

$$D = \begin{cases} D_{i-1} + k_i(d - d_{i-1}), & d < d_i; \\ 250, & d \geq 99.62. \end{cases} \quad (4)$$

通过对多个位置进行标定后, 所得的比例系数见表 1. 在进行图像标定时, 首先根据式 (2) 求得目

标的图像位置 d ; 然后查表 1 来判断 d 属于哪个目标图像距离区域, 从而确定应乘上什么比例系数; 最后根据式 (4) 求得目标距离. 例如: 若所求得的目标图像距离大于 74.71 并小于 81.20, 则取比例系数为 3.852; 再由式 (4) 计算实际距离. 通过这种查表的方式可最终确定目标在场地中与足球机器人的距离. 实验结果表明, 使用这种分段比例系数的方法能比较精确地确定目标的实际距离.

表 1 图像标定

距离/cm	目标图像位置/像素		目标图像距离/像素	比例系数
	blob. x	blob. y		
50	156	76.8	51.20	0.977
75	158	65.0	63.03	2.113
100	155	53.3	74.71	2.140
125	156	46.8	81.20	3.852
150	157	40.6	87.41	4.026
175	158	36.6	91.42	6.234
200	157	33.7	94.31	8.651
225	156	30.9	97.10	8.961
250	158	28.4	99.62	9.921

3.2 前向视觉定位

前向视觉系统的定位是根据针孔摄像机模型的成像原理^[12]. 以摄像头在地面上的投影为原点建立地面上的极坐标系, 目标在极坐标系中以一点 (r, θ) 表示, 而在采集到的图像中, 像素点的位置以 (x, y) 表示. 定位的目标是从 (x, y) 得到在极坐标系中的 (r, θ) .

图 3 为针孔摄像机模型产生透视投射图的成像模型. 其中: $x-y-z$ 为摄像头坐标系, z 轴沿光轴方向, $x-z$ 平面为地面; 摄像头针孔 C 在 y 轴上, 像平面 $x'-y'$ 平行于 $x-y$ 平面, 距针孔 C 的距离为 f , 其原点 O' 为 C 在像平面上的投影; 摄像头 C 距地面的高度为 h , 目标点 P 沿直线穿过针孔投影到像平面的点为 $P'(x', y')$ 点, 如图 3 所示.

由图 3 可知

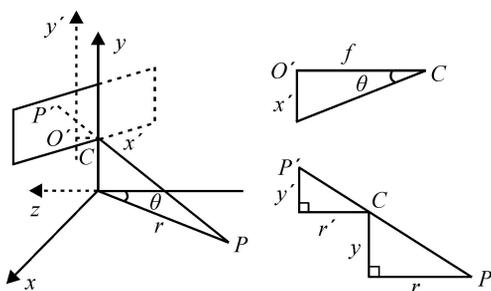


图 3 摄像机小孔成像模型

$$\frac{x}{f} = \tan \theta, \tag{5}$$

$$\frac{y}{h} = \frac{r}{r \cos \theta} = \frac{f}{r \cos \theta}. \tag{6}$$

像平面中的坐标与采集图像中像素坐标近似为线性关系, 故有

$$x = k_1(x + b_1), \tag{7}$$

$$y = k_2(x + b_2). \tag{8}$$

综合式 (4) ~ (7) 可知, (x, y) 与 (r, θ) 有如下关系:

$$x + C_1 = C_2 \tan \theta, \tag{9}$$

$$(y + C_3) r \cos \theta = C_4. \tag{10}$$

其中: C_1, C_2, C_3, C_4 均为合并常数项得到的值. 通过实验数据及式 (9) 可得 x 与 (r, θ) 的关系式, 即得出 C_1 和 C_2 . 再由几组 x, y, r 的数据及式 (9) 和 (10) 可得

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 & 1 \\ b_2 & 1 \\ \dots & \dots \\ b_m & 1 \end{bmatrix} [C_3 \quad C_4]^T. \tag{11}$$

最后由最小二乘法计算 C_3 和 C_4 .

由此, 对于图像中的任何一点 (x, y) , 由式 (9), (10) 即可得到其在实际坐标系中的位置 (r, θ) .

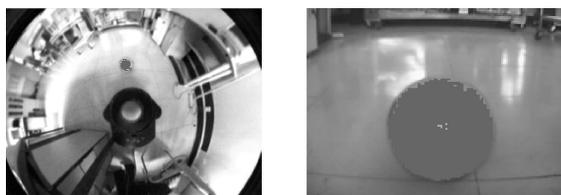
3.3 全景视觉和前向视觉信息的综合评价

全景视觉传感器和前向视觉传感器对环境信息的反映有各自的优越性. 在诸多视觉传感器中, 全景视觉传感器具有信号探测范围广和获取信息快速完整等优点. 仅用一台摄像机便可观察到以机器人为圆心、一定半径的 360° 全方位环境, 不仅能快速获取环境信息, 而且大幅减少了系统设计的复杂性. 而采用前向视觉传感器则有利于提高近距离范围内对目标的识别定位精度.

二者信息的综合采用 blob 面积为优先选择条件. 因为前向视觉获取的环境范围小, 图像信息精度高, 所以优先考虑前向视觉的信息. 判断条件为: 若前向视觉图像中 blob 面积大于一定值 $area_1$, 则目标可见, 并采用前向视觉的标定函数 RCountFrontViewInfo() 计算目标的位置信息; 否则, 判断全景视觉图像中 blob 面积值大于一定值 $area_2$, 则目标可见, 并采用全景视觉的标定函数 RCountGlobalViewInfo() 计算目标位置信息; 若二者条件都不满足, 则目标不可见.

4 实验研究

以红球为目标对象, 进行识别和定位. 全景视觉传感器和前向视觉传感器获取的图像信息经过图像预处理和图像识别后, 得到如图 4 所示的阈值化



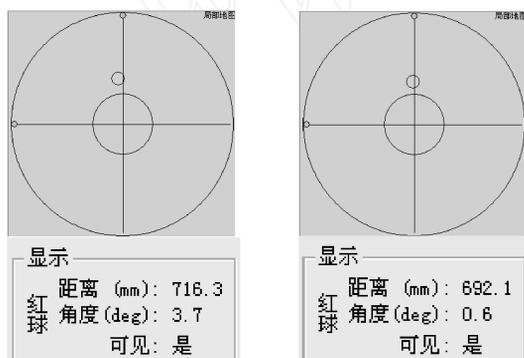
(a) 全景视觉

(b) 前向视觉

图4 图像识别阈值化结果

图像.

经定位软件处理后得到如图5所示的视图.图中:坐标系代表机器人的局部坐标,外圆代表距离机器人中心2500mm的区域值,内圆代表距离机器人中心300mm的区域值,内部圆区域即为机器人所占区域,小圆代表机器人视觉探测到的目标位置.



(a) 全景视觉

(b) 前向视觉

图5 视觉定位结果

将目标物体红球随机放在机器人前某一位置,经测量其坐标为(700 mm, 0°).图5(a),5(b)分别为在全景视觉和前向视觉下的定位结果.由结果可知,二者均小于误差允许范围.经过blob面积信息优化选择之后,选取在该位置下误差较小的前向视觉系统标定所得的位置信息,从而得到可靠性较高的定位结果.

采用同样的实验方法,以螺旋式旋转的方式,将球放置在机器人各个方向不同距离的5处位置,分别进行定位实验,实验结果如表2所示.对于不同的位置,定位系统将对两种定位方式(全景/前向)进

表2 定位实验结果

实验次数	实际位置 (D,) mm, deg	定位方式	定位结果 (D,) mm, deg	误差	
				e_D mm	e_e deg
1	(300, 60)	前向	(308.5, 58.4)	8.5	-1.6
2	(850, 120)	全景	(860.7, 123.4)	10.7	3.4
3	(1400, 180)	全景	(1388.6, 182.3)	-11.4	2.3
4	(2000, -150)	全景	(2009.8, -153.9)	9.8	-3.9
5	(2500, -30)	前向	(2513.3, -34.3)	13.3	-4.3

行选择.在机器人前向视觉视角区域内,系统选择了范围小但图像精度高的前向视觉定位;而当目标处于机器人后方或距机器人较远时,系统选择图像范围广的全景视觉定位.由实验结果可知,全景视觉的平均定位误差为(15.95 mm, 3.2°),前向视觉的平均定位误差为(10.9 mm, 2.95°).二者的定位都能达到一定的精度,且在二者的信息综合利用下定位范围得到提高.

5 结 语

本文在分析现有视觉定位方法不足的基础上,提出了由高性能全景视觉和USB前向视觉共同构建而成的视觉系统.该视觉系统综合了两种视觉传感器的特性,使得对环境信息的提取更加快速有效.全景视觉系统具有360°的水平视角和一定角度的垂直视角,有利于全场范围内球的跟踪和机器人定位,且解决了在立体匹配中常出现的对应点超出图像边界而消失的问题.USB前向视觉直接传输给计算机数字图像信息,简化了图像预处理过程,且弥补了全景视觉由于视野广而带来的环境信息精度低的缺点.基于全景视觉和前向视觉的信息融合了两种异构传感器的信息,利用两种传感器各自的特点,扩大了机器人定位的适用范围,提高了机器人的定位精度,能够满足足球机器人比赛对定位准确可靠的要求.

参考文献(References)

- [1] Jorge L, Carlos Q, Jorge D. World feature detection and mapping using stereovision and inertial sensors [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2003, 44(1): 69-81.
- [2] Gonzalo P, Jes Ú M C. Fuzzy cognitive maps for stereovision matching [J]. Pattern Recognition, 2006, 39(11): 2101-2114.
- [3] 段华, 赵东标. 基于立体视觉的机器人导航方法研究[J]. 控制与决策, 2006, 21(6): 709-713.
(Duan Hua, Zhao Dong-biao. Research on mobile robot navigation based on stereo vision [J]. Control and Decision, 2006, 21(6): 709-713.)
- [4] Emanuele M, Takeshi M, Hiroshi I. Image-based memory for robot navigation using properties of omnidirectional images [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2004, 47(4): 251-267.
- [5] David M, Cornelius W, Stefan W. Robot docking based on omnidirectional vision and reinforcement learning [J]. Knowledge-based Systems, 2006, 19(5): 324-332.

(下转第83页)

- algorithm for manufacturing cell formation[J]. *Int J of Manufacturing Technology*, 2000, 16(7): 491-497.
- [2] Srinivas M, Patnaik L M. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithm [J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics*, 1994, 24(4): 656-667.
- [3] Wu Q H, Cao Y J, Wen J Y. Optimal reactive power dispatch using an adaptive genetic algorithm [J]. *Electrical Power and Energy Systems*, 1998, 20(8): 563-569.
- [4] Song Y H, Wang G S, Wang P Y, et al. Environmental/economic dispatch using fuzzy logic controlled genetic algorithm [C]. *IEE Proc on Generation, Transmission and Distribution*. Stevenage: Michael Faraday House, 1997: 377-382.
- [5] Subbu R, Sanderson A C, Bonissone P P. Fuzzy logic controlled genetic algorithms versus tuned genetic algorithms: An agile manufacturing application [C]. *Proc of the 1998 IEEE ISIC/CIRA/ISAS Joint Conf. Gaitherberg*, 1998: 434-440.
- [6] Yun Y, Gen M. Performance analysis of adaptive genetic algorithm with fuzzy logic and heuristics [J]. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2003, 2(2): 161-175.
- [7] 李擎, 郑德玲, 唐勇, 等. 一种新的模糊遗传算法[J]. *北京科技大学学报*, 2001, 23(1): 85-89.
(Li Qing, Zheng De-ling, Tang Yong, et al. A new kind of fuzzy genetic algorithm[J]. *J of University of Science and Technology Beijing*, 2001, 23(1): 85-89.)
- [8] Wang K J. A new fuzzy genetic algorithm based on population diversity[C]. *Proc of 2001 Int Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation*. Banff, 2001: 108-112.
- [9] Liu H B, Xu Z G, Abraham A. Hybrid fuzzy-genetic algorithm approach for crew grouping[C]. *Proc of the 5th Int Conf on Intelligent Systems Design and Applications*. Wroclaw, 2005: 332-337.
- [10] Michalewicz Z. Genetic algorithms + data structures = evolution program [M]. 2nd ed. New York: Springer, 1994.

(上接第 74 页)

- [16] Yan Hong-sen, Xue Chao-gai. Decision-making in self-reconfiguration of a knowledgeable manufacturing system[J]. *Int J of Production Research*, 2007, 45(12): 2735-2758.
- [17] 薛朝改, 严洪森, 王艳斌. 基于组建技术的知识化制造系统自重构的实现 [J]. *计算机集成制造系统*, 2004, 10(专刊): 39-45.
(Xue Chao-gai, Yan Hong-sen, Wang Yan-bin. Realization of self-reconfiguration of knowledgeable manufacturing systems based on COM[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2004, 10(S): 39-45.)
- [18] 王艳斌, 严洪森, 马力伟, 等. 知识化制造系统的知识网数据库设计[J]. *东南大学学报*, 2004, 34(增刊): 24-29.
(Wang Yan-bin, Yan Hong-sen, Ma Li-wei, et al. Design of knowledge mesh database of knowledgeable manufacturing system[J]. *J of Southeast University*, 2004, 34(S): 24-29.)

(上接第 78 页)

- [6] Zhong Z, Yi J, Zhao D, et al. Novel approach for mobile robot localization using monocular vision [C]. *Proc of SPIE — The Int Society for Optical Engineering*, 2003, 5286(1): 159-162.
- [7] Giovanni A, Stefano G, Stefan E. Vision-based localization for mobile robots [J]. *Robotics and Autonomous Systems*, 2001, 36(2/3): 103-119.
- [8] Murray D. Patchlets: A method of interpreting correlation stereo 3D data[D]. Vancouver: University of British Columbia, 2004.
- [9] Gerhard R, Harald B, Frank W. Robust tracking of persons in real-world scenarios using a statistical computer vision approach [J]. *Image and Vision Computing*, 2004, 22(7): 571-582.
- [10] Ashley W, Martin C, Balch T. Distributed sensor fusion for object position estimation by multi-robot systems[C]. *Proc of the IEEE Int Conf on Robotics and Automation*. Seoul, 2001, 2: 1092-1098.
- [11] Tomono M. Building an object map for mobile robots using LRF scan matching and vision-based object recognition [C]. *IEEE Int Conf on Robotics and Automation*, 2004, 4: 3765-3770.
- [12] 许永华. 基于信息融合和多行为决策的自主机器人导航系统[D]. 长沙: 中南大学, 2002.
(Xu Yong-hua. The navigation system of automobile robot based on information fuse and multi-behave decision [D]. Changsha: Central South University, 2002.)