

基于多传感器的全向足球机器人自定位

邓本再, 黄 苗, 李 亘, 王国伟

(长沙理工大学 电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 随着对足球机器人智能水平的要求进一步提高, 机器人足球委员会将比赛场地的立柱、球门颜色取消. 这使以前的基于球门、立柱地标的足球机器人自定位方法失效了. 本文提出了一种利用了里程计、罗盘和全景摄像头多种传感器信息的视觉图像特征匹配的足球机器人自定位方法. 首先, 机器人通过里程计和罗盘取定一个可能位姿. 然后, 由视觉处理系统把机器人的可能位姿当作变换因子对实时拍摄到的场景图像作旋转、平移变换. 最后, 将变换后的图像中的白线与参考图像中的白线相比较, 选择使图像匹配程度最大的变换因子作为机器人自定位的结果. 实验结果表明该自定位方法达到了较高定位精度并能满足比赛的高实时性要求.

关键词: 足球机器人; 全景视觉系统; 自定位; 图像匹配

中图分类号: TP242.6 **文献标识码:** A

Self-localization of omni-directional soccer robot based on multi-sensor

DENG Ben-zai, HUANG Miao, LI Gen, WANG Guo-wei

(College of Electrical and Information Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha Hunan 410114, China)

Abstract: Because of the increasing intelligence level of soccer robot, the international committee of robot soccer removes from the playing field the landmark information of column and goal which had been used for self-localization by many algorithms. We propose a new self-localization algorithm which utilizes the information from the compass and the odometer, and adopts the image feature-match method. First, the robot takes a possible pose via compass and odometer; and then, the vision system makes use the possible pose as a conversion factor to transform the real-time shooting image. By comparing the white lines of transformed images with the white lines of the reference image, the algorithm determines the conversion factor which makes the two images most similar as the self-localization pose. The results show that this algorithm provides high precision and meets the strong real-time requirements.

Key words: soccer robot; omni-direction vision system; self-localization; image matching

1 引言(Introduction)

自定位是足球机器人作出像人踢足球一样的智能行为的基础和关键. 对于足球机器人自定位方法有很多, 例如: 三角定位^[1]、路标定位^[2]、多信息融合定位^[3]方法等. 但随着对足球机器人智能要求进一步提高, 机器人足球比赛环境改变的情况下, 各定位方法就暴露出了其缺点. 文献[3]提出了基于路标观测信息和里程计信息的多信息融合自定位方法. 该方法在机器人足球比赛场地环境还有标杆、立柱等可以当路标的情况时该方法是有效地, 但当比赛场地上的这些可当路标的特殊物去掉时该方法就会失效. 文献[4]提出了一种基于图像不变特征信息相似度匹配的粒子滤波的室内移动机器人自定位方法. 受文献[4~8]的启发, 本文提出了一种首先从罗盘和里程计获得足球机器人在场地上一个可能位姿. 然后利用这一可能位姿对机器人视觉系统实时

采集的图像进行旋转、平移. 最后将转换后的场景图像与参考场景图像就场地标线这一特征信息进行匹配, 找出相似度最大的, 从而完成机器人自定位.

2 机器人位姿预估计(Pose estimation for robots)

2.1 里程计工作原理(Operational principle of odometer)

里程计作为相对定位的有效传感器已经成为自主移动机器人的缺省配置, 里程计可以提供短距离范围内机器人定位和导航所必需的位姿信息, 但在较长距离的运动中需要其他传感器提供校正信息.

里程计的主要工作原理是根据安装在3个驱动轮电机上的光电编码器encode来检测车轮在一定时间内转过的弧度, 进而推算机器人相对位置的变化.

设车轮直径为 d , 每转光电编码器输出的脉冲数为 p 线/转, Δt 时间内光电编码器输出的脉冲数为 N ,

则机器人车轮旋转角速度 ω 如式(1)所示:

$$\omega = (N \div p) \times \Pi \times d / \Delta t, \quad (1)$$

2.2 三轮全向移动机器人运动学模型(Motion model of omni-directional mobile robots)

如图1所示, 设场地坐标系为 xoy , 机器人坐标系为 XOY . 机器人坐标系固联于机器人的几何中心. 机器人的位置和姿态用 $(x, y, \theta)^T$ 表示, 其中: (x, y) 为其原点 O 在场地坐标系中的位置, θ 为机器人坐标系 X 轴与场地坐标系 x 轴间的夹角, 取逆时针为正.

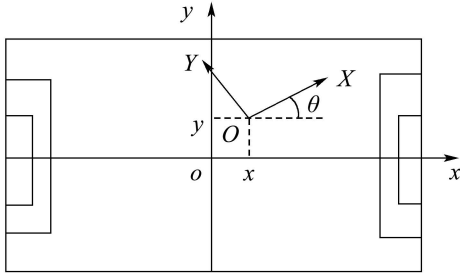


图1 坐标系

Fig. 1 Coordinate system

场地坐标系与机器人坐标系间的变换矩阵为

$$\text{Rot}(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

机器人运动模型及轮子的分布结构如图2所示.

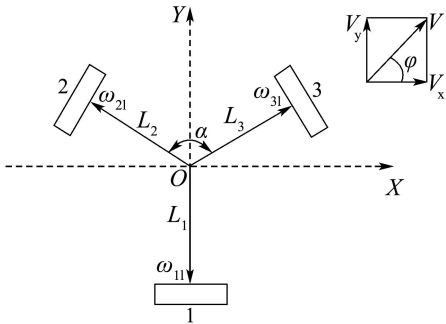


图2 三轮式机器人运动模型

Fig. 2 Motion model of tricycle robots

本文采用的全向轮是 90° 瑞士轮. 设机器人的速度为 $(V_x, V_y, \varphi)^T$, 其中 V_x, V_y 分别为机器人的运动速度在机器人坐标系 X 轴和 Y 轴的分量; φ 是机器人自转的角速度. 设 $\omega_{11}, \omega_{21}, \omega_{31}$ 分别为3个驱动轮绕车轮轴线的转动角速度, 以图2中所示方向为正方向; R 为驱动轮半径; L_1, L_2, L_3 分别为机器人车体中心到3个全方位轮中心的水平距离, $L_1 = L_2 = L_3 = L$; α 为两前轮之间的夹角. 假设满足轮子运动学约束, 包含如下两个约束: 一是坚持滚动接触的概念, 即当运动在适当的方向发生时, 轮子必然滚动; 二是坚持无横向滑动的概念, 即在正交轮子的平面, 轮子必须无滑动. 通过几何分析可得

$$\begin{bmatrix} \omega_{11} \\ \omega_{21} \\ \omega_{31} \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} -1 & 0 & L \\ \cos \frac{\alpha}{2} & \sin \frac{\alpha}{2} & L \\ \cos \frac{\alpha}{2} & -\sin \frac{\alpha}{2} & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \varphi \end{bmatrix}. \quad (3)$$

又由于

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \varphi \end{bmatrix} = \text{Rot}(\theta) \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

又可得

$$\begin{bmatrix} \omega_{11} \\ \omega_{21} \\ \omega_{31} \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} -\cos \theta & -\sin \theta & L \\ \cos(\frac{\alpha}{2} + \theta) & \sin(\frac{\alpha}{2} + \theta) & L \\ \cos(\frac{\alpha}{2} - \theta) & -\sin(\frac{\alpha}{2} - \theta) & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

式(5)中: \dot{x} 是机器人在全局坐标系中机器人在 x 方向的速度, \dot{y} 是 y 方向的速度, $\dot{\theta}$ 是旋转角速度. 式(5)即为三轮全方位机器人主动轮滚子的逆运动学方程.

2.3 计算机器人位姿(Pose of robots calculation)

假设 $k-1$ 时刻机器人位置为 (x_{k-1}, y_{k-1}) , 那么 k 时刻机器人的位置 (x_k, y_k) 根据全向三轮移动机器人运动学模型可得

$$\begin{cases} x_k = x_{k-1} + \dot{x} \times \Delta t, \\ y_k = y_{k-1} + \dot{y} \times \Delta t, \end{cases} \quad (6)$$

然后根据数字罗盘获取 k 时刻机器人在世界坐标系下朝向角 θ_k , 就得到了 k 时刻机器人估计位姿 x_k, y_k, θ_k .

3 三轮全向移动机器人位姿位置更新(Pose update for omni-directional mobile robots)

基于全景视觉的机器人位置更新步骤如下:

Step 1 对实际场地以 $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ 为一格进行区域化;

Step 2 计算第2节中所获得的机器人预估计位姿落在实际场地的那块区域, 并建立一个与该区域的相邻区域所组成的搜索区域, 其中每个区域的中心坐标代表一个机器人预估计位姿;

Step 3 建立一个行距为(场地宽度/5 cm)列距为(场地长度/5 cm)的2维查找表, 表中的元素分别对应场地上 $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ 的一块区域, 元素的取值为: 当该元素对应的场地区域为白色标志线则该元素取值为0, 否则该元素取值为与最近白色标志线的距离值;

Step 4 视觉系统识别出机器人载全景视觉摄像头捕获到得实时图像中的白色点, 并处理白色点在机器人坐标系下的坐标;

Step 5 视觉系统在Step 2中所建立的搜索区域中选取一个未被使用过的机器人预估计位姿来对图像中白色点在机器人坐标系下的坐标转换到场地坐标系下的坐标. 可以通过由式(2)得到的坐标系变换

公式(7)把机器人视觉图像中像素点为白色的点的坐标(X_r, Y_r)转换到世界坐标系下的坐标(x_w, y_w).

$$\begin{cases} x_w = X_r \times \sin \theta_k + Y_r \times \cos \theta_k + x_{k,i}, \\ y_w = X_r \times \cos \theta_k + Y_r \times \sin \theta_k + y_{k,i}. \end{cases} \quad (7)$$

Step 6 视觉系统判断白色点转换到场地坐标系下的坐标属于那块区域, 然后查找出该区域与2维查找表中相对应的元素的值. 此时该值表示白色点转换到场地坐标系的坐标与场地白色点的距离误差. 并计算出所有白点转换到场地坐标系的坐标与场地白色点的距离误差平均值, 计算公式如式(8). 回到Step 5直到遍历了完搜索区域空间.

$$f_i = (\sum_{j=1}^N D_j) / N, \quad (8)$$

其中: D_j 为第 j 个白点转换后的距离误差, N 为识别出的白点的数量, f_i 为误差平均值(下标 i 为搜索区域中机器人预估计位姿的编号).

Step 7 判断最小距离误差平均值是否小于预先设定的阈值;

Step 8 如果大于预先设定的阈值, 则将与搜索区域相邻的区域添加到搜索区域, 并回到Step 5;

Step 9 如果小于预先设定的阈值, 选择使距离误差平均值最小的机器人预估计位姿来更新机器人的位置.

以上步骤为一个机器人自定位周期, 该周期的重复执行就实现了机器人的动态实时的自定位. 流程图如图3所示.

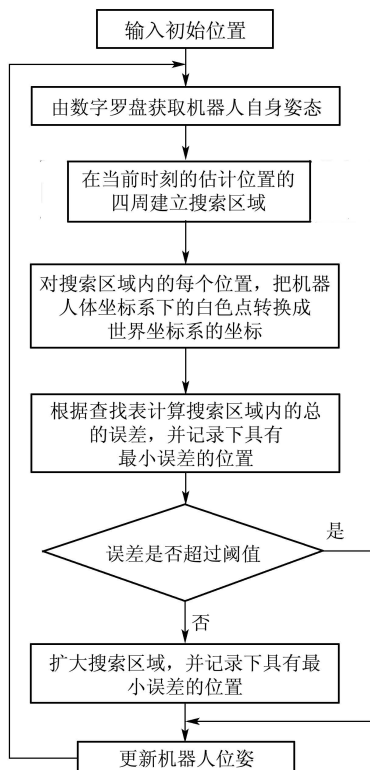


图 3 自定位流程图

Fig. 3 Flow sheet of self-localization

4 实验结果与分析(Experiment results and analysis)

实验是在 MT-OR 三轮全向足球机器人平台上进行的, 该机器人实验平台配备有笔记本电脑、PCMCIA 图象采集卡、CCD 全景摄像机、运动控制卡等. 采用 visual studio 2003 编程环境编程实现.

笔记本处理器主频是 2.0 GHz, 图象采集卡每秒采集 30 帧图像. 采用该方法的自定位结果通过监视界面显示(如图 4), 图中 $x, y, angle$ 的值分别为机器人在场地坐标系下的横坐标(cm)、纵坐标(cm)、方向(度).

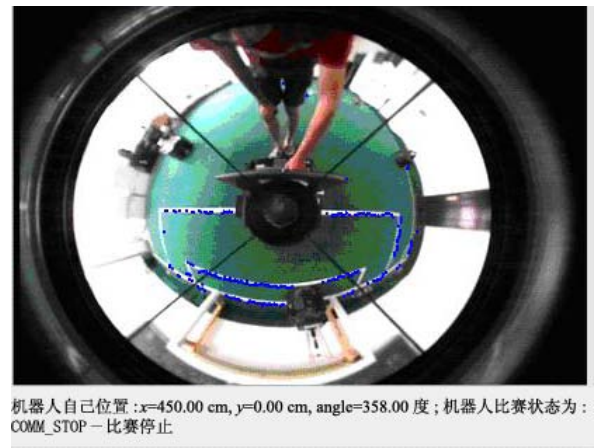


图 4 机器人在(450, 0, 0)实际位姿时自定位结果

Fig. 4 Result of self-localization when robot at the rightpose (450, 0, 0)

实验中记录了大量的机器人自定位试验数据, 部分试验数据如表 1.

表 1 自定位位姿记录

Table 1 Record of self-localization pose rules

实际位姿	自定位位姿	所耗时间/ms
(500, -200, 303)	(530, -210, 303)	109
(500, 200, 347)	(510, 220, 347)	110
(300, 0, 173)	(310, -10, 173)	313
(0, 0, 350)	(0, 10, 350)	125
(0, -200, 354)	(0, -230, 354)	79
(0, 200, 2)	(0, 230, 2)	281

通过对记录的实验数据进行统计分析显示, 本自定位方法: 最大定位误差为 x 方向 60 cm、 y 方向 60 cm, 平均误差为 15 cm; 完成一次定位过程(图像处理 and 定位计算)所耗时间平均约 120 ms. 实验时发现: 白线的识别效果是不太好时将出现较大误差, 白线的识别效果比较好时定位误差较小但会增加计算时间. 因此实验结果表明整体上可以说采用该自定位方法进行自定位能达到较高的定位精度并能满足中型组足球机器人实时性要求.

5 结束语(Concluding remarks)

在高度动态的 RoboCup 中型组比赛中, 如何快速

准确的实现全景视觉处理成为左右比赛结果的关键. 本文提出的视觉处理算法以及在此基础上实现的自定位方法较好的满足了要求, 并在实际模拟比赛中取得了不错的效果. 但机器人自定位的精度还有提高的空间, 今后将利用机器人已有的多传感器条件引入信息融合研究方法, 进一步提高足球机器人的自定位精度.

参考文献(References):

- [1] 刘光宇, 刘国栋, 韩云生. 一种基于全景视觉系统的Robocup机器人定位方法[J]. 江南大学学报(自然科学版), 2009, 8(3): 279 – 282. (LIU Guangyu, LIU Guodong, HAN Yunsheng. A localization method for robocup robot base on omni-vision system[J]. *Journal of Southern Yangtze University(Natural Science Edition)*, 2009, 8(3): 279 – 282.)
- [2] 刘俊承, 原魁, 周庆瑞, 等. 基于路标的机器人自定位方法[J]. 科学技术与工程, 2005, 5(17): 1265 – 1269. (LIU Juncheng, YUAN Kui, ZHOU Qingrui, et al. An approach for robot self-localization based on landmark[J]. *Science Technology and Engineering*, 2005, 5(17): 1265 – 1269.)
- [3] 尚文, 马旭东, 戴先中. 融合多传感器信息的移动机器人自定位方法[J]. 东南大学学报, 2004, 34(6): 784 – 788. (SHANG Wen, MA Xudong, DAI Xianzhong. Mobile robot self-localization based-on multi-sensory information fusion[J]. *Journal of Southeast University*, 2004, 34(6): 784 – 788.)
- [4] 赵逢达, 孔令富. 一种基于图像匹配的移动机器人定位方法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(20): 215 – 217, 225. (ZHAO Fengda, KONG Lingfu. Approach for mobile robot localization based on images matching[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(20): 215 – 217, 225.)
- [5] HEINEMANN P, HAASE J, ZELL A. Combined monte-carlo localization and tracking algorithm for robocup[C] // *Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. New York: IEEE, 2006, 10: 1535 – 1540.
- [6] ROFER T, JUNGER M. Vision-based and reactive monte-carlo localization[C] // *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. New York: IEEE, 2003, 9: 856 – 861.
- [7] LI B. *The main algorithm research on financial time series data mining*[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2001.
- [8] 西格沃特R, 诺巴克什I R. 自主移动机器人导论[M]. 李人厚译. 西安: 西安交通大学出版社, 2006. (SIEGWART R, NOURBAKHSI I R. *Autonomous Mobile Robots*[M]. LI Renhou, translated. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2006.)

作者简介:

邓本再 (1956—), 男, 教授, 研究方向为电力系统自动测控技术研究、机器人, E-mail: dengbz107@163.com;

黄苗 (1982—), 男, 硕士研究生, 研究方向为机器人视觉技术, E-mail: huangiao1982@163.com;

李亘 (1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为智能控制与模式识别;

王国伟 (1984—), 男, 硕士研究生, 研究方向为智能控制、运动控制.