

基于多传感器信息系统的三轮全向机器人的研究

◆胡天林 林春 李继芳 叶添杰 陈前 李艳 魏闻 黄元庆
(厦门大学物理与机电工程学院, 福建厦门, 361005)

摘要

本文介绍基于多传感器信息系统的三轮全向机器人的研究, 建立了机器人三轮全向移动模型, 底盘的三个全向轮呈 120° 分布, 可实现机器人在二维平面内的任意方向移动; 设计了多传感器信息系统, 通过陀螺仪实现机器人的位姿信息获取, 通过双编码器的正交模型实现机器人的位移信息获取, 通过机器视觉实现目标物体的甄别, 最后给出机器人识别篮球的案例实验结果。

关键词: 机器人, 陀螺仪, 编码器, 机器视觉

机器人运动模型与传感器信息获取是研究移动机器人的两个重要问题。关于移动平台行进的方案, 常见的有轮式、腿足式、履带式等。腿足式常见于仿人机器人, 行进速度一般; 履带式机器人着地面积大, 行进稳定, 但灵活性不足; 轮式机器人移动灵活, 但越野爬坡性能一般。不同设计结构的底盘具有各自的特点, 本文仅对轮式机器人的底盘设计作探讨。

轮式机器人根据是否存在迂回半径分为全向和非全向方式^[1]。本文所设计的机器人底盘采用全向方式。每个轮子具有两个移动方向的自由度, 三轮结构可实现机器人在二维平面内任意方向的灵活移动。

移动机器人的自身定位是提高移动机器人自主能力的关键问题之一^[2]。在大部分环境中, 机器人须完全通过自身的传感器系统感知环境, 以实现自身定位。机器人的定位方式包括: 通过编码器获取里程信息; 通过超声波传感器获取障碍信息; 通过线阵激光传感器扫描获取深度信息; 通过机器视觉甄别目标物体等。本文采用机器视觉方案识别目标物, 通过陀螺仪与编码器实现机器人的位移及位姿数据的采集。

1 三轮全向移动机器人的底盘设计

1.1 底盘模型

每个全向轮由若干个小滚轮组成, 各个滚轮的母线形成一个完整的圆周。机器人既可以沿轮面的切线方向移动, 也可以沿轮子的轴线方向移动。轮子的运动是这两种运动

的合成, 从而实现任意方向的运动。

底盘轮子装配模型如图1所示, 三个轮子互成 120° , 相对于车体中轴线对称。在理想情况下, 三个轮子的物理尺寸、重量完全一致, 上层负载均衡。三个轮子转动轴线的交点与移动机器人的重心相重合。



图1 全向轮装配模型

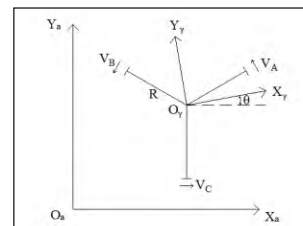


图2 运动模型

图2为底盘的运动模型。定义绝对坐标系 $X_aO_aY_a$ 表示机器人在环境中的位置, 机器人的运动自坐标系为 $X_aO_aY_a$, θ 表示机器人的姿态角, 也即运动自坐标系相对于绝对坐标系的旋转角度; ω 表示机器人的自转角速度; R 为三个轮子相对于机器人系统中心的半径。 V_A 、 V_B 、 V_C 分别表示三个轮子沿驱动方向的速度。底盘系统的运动学方程如下^[3]:

$$V_A = -\dot{x}_a \sin\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) + \dot{y}_a \cos\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) + R\omega \quad (1)$$

$$V_B = -\dot{x}_a \sin\left(\theta - \frac{\pi}{6}\right) - \dot{y}_a \cos\left(\theta - \frac{\pi}{6}\right) + R\omega \quad (2)$$

$$V_C = \dot{x}_a \cos\theta + \dot{y}_a \sin\theta + R\omega \quad (3)$$

将以上方程写成矩阵形式, 得到:

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin(\theta + \frac{\pi}{6}) & \cos(\theta + \frac{\pi}{6}) \\ -\sin(\theta - \frac{\pi}{6}) & -\cos(\theta - \frac{\pi}{6}) \\ \cos\theta & \sin\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ R \\ R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_a \\ \dot{y}_a \\ \omega \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\text{设 } P = \begin{bmatrix} -\sin(\theta + \frac{\pi}{6}) & \cos(\theta + \frac{\pi}{6}) & R \\ -\sin(\theta - \frac{\pi}{6}) & -\cos(\theta - \frac{\pi}{6}) & R \\ \cos\theta & \sin\theta & R \end{bmatrix}$$

$$V_Y = [V_A \quad V_B \quad V_C]^T$$

$$a = [\dot{x}_a \quad \dot{y}_a \quad \omega]^T$$

则式(4)可简写为:

$$V_Y = P \cdot a \quad (5)$$

其中, V_Y ——全向轮线速度矢量

P ——转换矩阵

a ——底盘移动期望速度矢量^[4]

2 传感器信息系统的设计

本文设计的传感器系统由陀螺仪、编码器、摄像头等硬件组成。

2.1 陀螺仪

陀螺仪是一种在航空航天方面应用非常广泛的传感器, 主要用来测量物体运动的角速度, 以判别物体的运动姿态及控制运动轨迹^[5]。通过陀螺仪来直接获取角加速度, 加以积分可得到机器人的旋转角度。

本文采用数字陀螺仪 ADS16135, 测量范围为 $300^\circ/s$, 带宽 335Hz, 具有噪声密度低、可自初始化等特点。通过 SPI 通信协议降低主控的任务开支。

2.2 编码器

在底盘上安装两个从动轮, 对应装配两个编码器。从

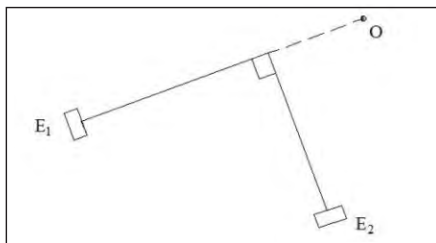


图3 双编码器正交模型

动轮与编码器机械同轴。如图3所示, 编码器的轴向成正交, 假定机器人的系统中心 O 在编码器 E_1 的轴线方向延

长线上。机器人的移动存在基本平移、旋转平移、自旋转等三种情况^[6]。

2.2.1 基本平移模型

在上述情况下, 认为机器人只有简单平移、未发生任何旋转, 如图4所示。

假设 t_0 时刻, 机器人的姿态角为 θ , 系统运动中心坐标 (X_0, Y_0) 。在距离 t_0 时刻极短的 t_1 时刻内, 从动轮 E_1 行走的路程为 L_1 , E_2 行走的路程为 L_2 , 令 d 为系统中心的移动距离, 有

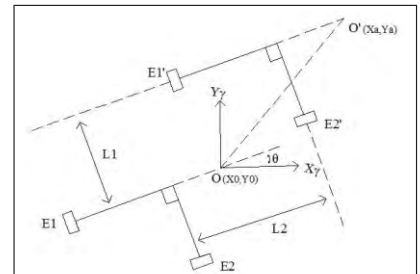


图4 基本平移模型

$$d = OO' = \sqrt{L_1^2 + L_2^2} \quad (6)$$

则在 $(t_1 - t_0)$ 时间内, 机器人移动的坐标为

$$\begin{cases} x_d = x_0 + d \sin(\theta + \beta) \\ y_d = y_0 + d \cos(\theta + \beta) \end{cases} \quad (7)$$

由于

$$\beta = \arctan(L_1/L_2)$$

式7可整理得到:

$$(x_d, y_d) = (x_0, y_0) + (L_1, L_2) * X \quad (8)$$

其中

$$X = \begin{bmatrix} \sin\theta & -\sin\theta \\ \cos\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

2.2.2 平移旋转模型

与基本平移相比, 平移旋转模型中机器人不仅发生了平移, 同时发生了一定角度的旋转。假设旋转角度为 γ , 该情况与上述基本平移类似, 只是此时 θ 应由 $\theta + \gamma$ 来替代。

因此有

$$(x_d, y_d) = (x_0, y_0) + (L_1, L_2) * X' \quad (9)$$

其中

$$X' = \begin{bmatrix} \sin(\theta + \gamma) & -\sin(\theta + \gamma) \\ \cos(\theta + \gamma) & \cos(\theta + \gamma) \end{bmatrix}$$

2.2.3 自旋转模型

在此情况下, 机器人绕其系统中心原地旋转, 未发生任何平移, 如图5所示。

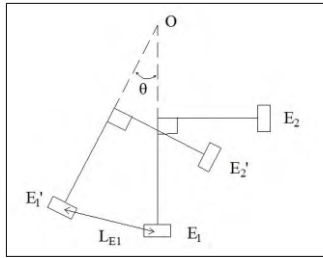


图5 自旋转模型

在 Δt 时间内，机器人转过角度 C （设逆时针方向为正），码盘 E_1 到系统中心 O 的距离为 R_{E1} ，此时码盘 E_1 绕系统中心 O 作圆周运动，设其圆周距离为 L_{E1} ，有

$$L_{E1} = \frac{C}{180 * \pi} * R_{E1}$$

码盘 E_2 具有同样的旋转模型（略）。

2.3 机器人视觉方案设计

机器视觉是机器人中的关键技术之一。机器视觉包括照明、图像采集及视觉算法，是多学科交叉的技术^[7]。本文设计的机器人参加国际智慧机器人大赛，其任务要求之一即为寻找篮球场中的红色篮球。

相对来说，篮球的特征明显、整体性强，对硬件没有过高的要求。因此，考虑到性价比，方案采用一般摄像头。图像处理软件为 Labview NI vision。



图6 复杂背景中的篮球



图7 单通道灰度图



图8 阈值分割



图9 按面积特征提取目标信息



图10 膨胀后的目标特征

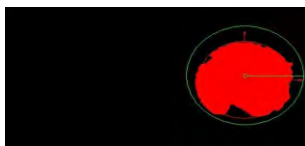


图11 坐标拟合

图6为摄像头采集回来的原图片。图片背景复杂，有暖气片、行人、置球座等信息。此图片为彩色模式。

图7为单通道图片。原图片是三通道的彩色图片，对其分解得到其中特征较为明显的红色分量的单通道图片，为下一步的灰度阈值分割做好准备。

图8为阈值分割后的特征信息。对图片7求出灰度直方图，得到合理阈值；通过此阈值进行图片分割；分割后，除了篮球特征信息，还包括相同灰度值范围的其他噪点信息。

图9为通过面积特征滤波后的图片。由于篮球区域面积很大，几乎将其他其余信息全部过滤。

图10为膨胀后的兴趣区域。经过区域膨胀后，篮球所有区域都连通。

图11为拟合后的图片。通过坐标拟合，得到篮球中心在摄像头视野坐标系中的位置。

3 结束语

本文设计了基于多传感器信息系统的三轮全向机器人。通过对三轮全向移动模型建立，机器人可实现对任意方向的运动控制；通过陀螺仪、双正交编码器的传感器系统，可实现机器人在空间坐标系中的自定位；通过机器视觉甄别目标对象，实现机器人的主动定位。

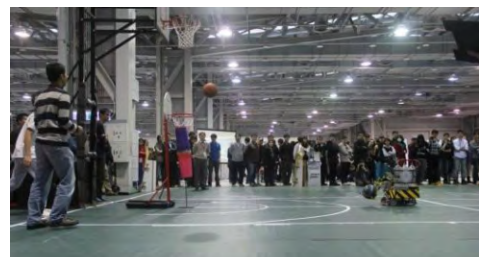


图12 机器人连续完成2次投篮动作

本文设计的机器人荣获2013全国机器人大赛暨RoboCup篮球项目组冠军、2013国际（台北）智慧机器人大赛季军。

参考文献

- [1] 姚冬冬, 闵华松. 三轮全向移动机器人的研究与设计[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(6):2163-2169.
- [2] 陈小宁, 黄玉清, 杨佳. 多传感器信息融合在移动机器人定位中的应用[J]. 传感器与微系统, 2008, 27(6):110-113.
- [3] Oliveira H P, Sousa A J, Moreirara A P, Costa P J. Dynamical Models for Omni-directional Robots with 3 and 4 Wheels [J]. International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, 2008:189-196.
- [4] 牟学刚, 朱劲, 蒋平. 三轮全向足球机器人结构设计与系统模型研究[J]. 机械与电子, 2006(5):38-41.
- [5] 程燕胜, 宗群, 吴宏硕. 基于 ARM+FPGA 的微陀螺仪数据采集处理系统[J]. 传感器与微系统, 2013, 32(8):75-77.
- [6] 宋静. 基于磁强计、加速度计和陀螺原理的姿态测试算法研究[M]. 太原: 中北大学, 2011.
- [7] Steger C, Ulrich M, Wiedemann C. 机器视觉算法及应用[M]. 北京: 清华大学, 2008.