

文章编号:1001-9081(2010)11-3091-03

基于信息融合的移动机器人定位与路径规划

罗元,邵帅,张毅

(重庆邮电大学 智能系统及机器人研究所,重庆 400065)

(meshaoshuai@126.com)

摘要:针对镜面反射引起的声呐测距不准的问题,设计一种加权融合的方法对声呐和摄像头的信息进行融合,使移动机器人能够精确地完成在拐角区域下的自身定位,并给出了机器人的路径规划。通过在先锋3机器人平台上进行的实验结果证明,该方法能够使移动机器人安全、平滑地通过拐角区域。

关键词:移动机器人;自定位;路径规划;信息融合;拐角区域

中图分类号: TP242.6 **文献标志码:** A

Location and path planning of mobile robots based on data fusion

LUO Yuan, SHAO Shuai, ZHANG Yi

(Research Institute of Intelligent System and Robotics, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Focusing on the range error of sonar due to specular reflection, a method of weighted fusion was designed to fuse the data of sonar and camera and make the mobile robots complete the location accurately at the area of corner. A path planning for the robot was then given. After testing experiments, the results show that the method can make the robot passing through a corner safely and smoothly.

Key words: mobile robot; localization; path planning; information fusion; corner

0 引言

在移动机器人的导航技术中,对周围环境的感知和精确的自身定位是极其重要的一步。所谓定位,就是机器人借助传感器确定自身在环境中的位姿。在机器人完成自身定位后,要到达指定目标需要进行路径规划。路径规划是指移动机器人按照某一性能指标搜索一条从起始状态到目标状态的最优或近似最优的无碰路径^[1]。

通常用于移动机器人的定位系统有里程计、陀螺仪、声呐、红外传感器等。由于超声波测距有不受光线影响、价格低廉、信息处理简单可靠、测距精度高等优点,被广泛应用于移动机器人的定位和导航系统中^[2]。但是,由镜面反射引起的测距不准确限制了声呐的应用。特别是当移动机器人进入走廊型、门形等拐角区域时,声呐发出的超声波束入射角较大,若目标物体表面较光滑,则发生镜面反射后的回波就不能直接被声呐检测到,结果是产生一个比实际距离大的距离数据,它导致机器人对位置不能做出精确的判别,从而导航失败^[3]。

近年来,多传感器信息融合技术在移动机器人的导航和运动控制中得到了越来越多的应用,但主要体现在移动机器人避障^[4]和以视觉路标为基础的导航等方面^[5-6],而针对室内拐角区域下的自定位和运动策略研究较少。为此,本文采用一种声呐和摄像头的信息融合技术,能有效地解决镜面反射对测距精度产生的影响,使移动机器人精确地完成在拐角区域下的自身定位。在此基础上对移动机器人的运动过程进行路径规划,最终使机器人能够安全、平滑的通过门形和走廊形等拐角区域,实现导航。

1 声呐与摄像头的信息融合

1.1 基于声呐的移动机器人自定位

定位问题是移动机器人研究的关键技术之一。所谓“定位”是确定移动机器人在其作业环境中所处位置的过程。根据移动机器人所处的不同环境,应设计其相应的定位和路径规划策略。本文针对拐角区域,通常情况下,可以将其分为如图1所示的两种类型^[7]。

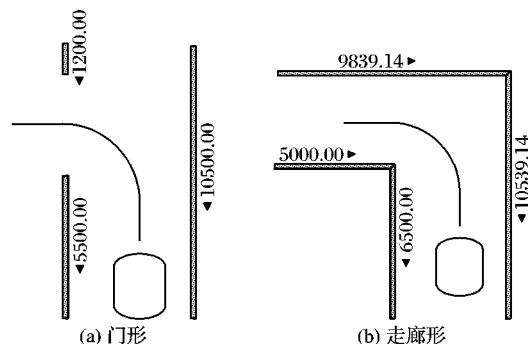


图1 门形和走廊形

以门型为例,如图2所示,使用安装在和门所在墙壁同侧的声呐对环境信息进行获取。在移动机器人向前运动的过程中应首先调整机器人的位姿使其和侧面墙壁保持平行,通过比较A声呐测得的距离 d_1 和B声呐测得的距离 d_2 ,当两者相等时即确定机器人和墙壁的平行关系。调整过位姿以后,机器人继续向前行进,当声呐C发出的超声波扫过门的前沿时,所采集到的距离信息会产生一个跳变。当相邻两点之间数据差大于 d_{\min} ,即 $d_{i+1} - d_i \geq d_{\min}$ 时,认为发生了一个距离“跳变”,

收稿日期:2010-04-30;修回日期:2010-06-30。

基金项目:国际科技合作计划项目(2010DFA12160);重庆市科委自然科学基金资助项目(CSTC 2008BB2081)。

作者简介:罗元(1972-),女,湖北宜昌人,教授,博士,主要研究方向:信号与信息处理、数字图像处理;邵帅(1986-),男,河南洛阳人,硕士研究生,主要研究方向:移动机器人导航;张毅(1966-),男,重庆人,教授,博士生导师,主要研究方向:机器人、数据融合。

其中 d_{\min} 根据实际的具体环境设定^[8]。且 C 声呐发出的超声波和机器人自身坐标系 X 轴的夹角 θ 以及 C 声呐在机器人上的坐标 (x_c, y_c) 都是已知的。所以当声呐 C 检测到距离的跳变时,通过 d_2 和 θ 便能唯一地确定机器人和门之间的位置关系:

$$d = d_2 \quad (1)$$

$$l = \tan \theta [d + (N/2) - x_c] + y_c \quad (2)$$

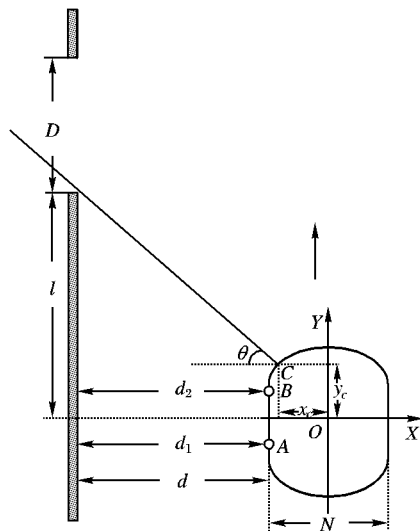


图2 基于声呐的移动机器人自定位

但由于超声波镜面反射的原因,对实验精度带来很大影响。如图3所示为机器人保持和墙壁平行并超门的方向行驶时, B 声呐和 C 声呐所采集到的距离信息。其中, B 声呐发出的超声波对墙壁的入射角为 0° , C 声呐为 40° , 各声呐每隔 30ms 采样一次。通过对比,可以发现由于镜面反射,并且 C 声呐发出的超声波和墙壁之间存在 40° 的入射角,反射后的回波不能直接被声呐检测到,导致采集到的距离信息不准确,无法精确地实现自身定位。

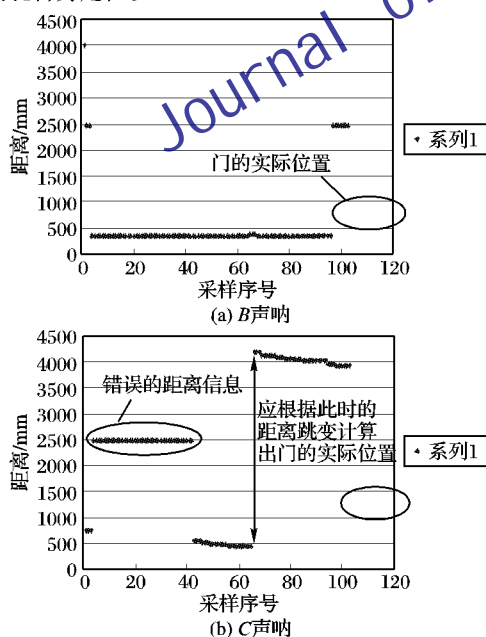


图3 声呐采集到的距离信息

1.2 基于摄像头的移动机器人自定位

如图4所示,使用摄像头 E 对门的边缘进行识别,计算出门的边缘在摄像头视野内所处的角度 θ ,从而判断出机器人和门之间的位置关系:

$$l = \tan \theta (d + N/2) + y_E \quad (3)$$

其中: β 为摄像头朝向和机器人自身坐标系 x 轴的夹角, α 为摄像头的水平视角。调整摄像头的朝向,使

$$\beta = \alpha/2 \quad (4)$$

则可以根据摄像头的小孔成像模型计算出 θ 的大小^[9],如图5所示,其中 W 为摄像头采集到的图像宽度, x_{cg} 为门的边缘在图像中所处的位置。

$$\theta = \arctan\left(\frac{x_{cg}}{W} \cdot \tan \alpha\right) \quad (5)$$

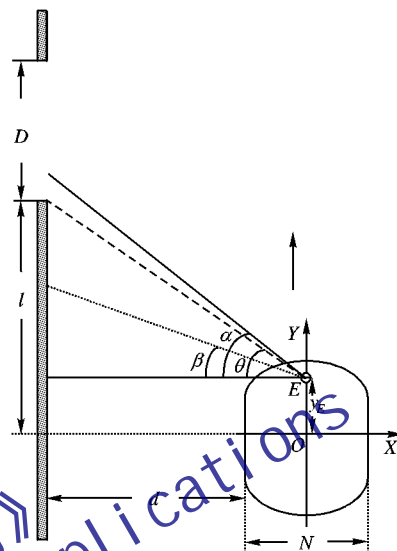


图4 基于摄像头的移动机器人自定位

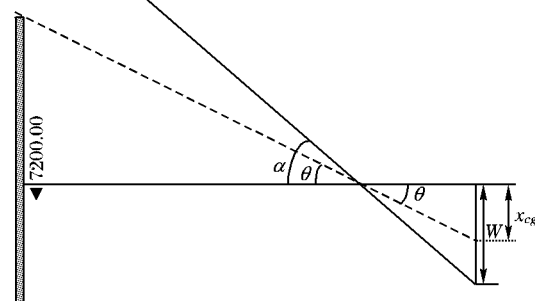


图5 摄像头的小孔成像模型

1.3 声呐和摄像头的信息融合及路径规划

信息融合是指充分利用不同时间与空间的多传感器信息资源,采用计算机技术对按时序获得的多传感器观测信息在一定准则下加以自动分析、综合、支配和使用,获得对被测对象的一致性解释与描述,以完成所需的决策和估计任务,使系统获得比它的各组成部分更优越的性能。

多传感器融合要靠各种具体的融合方法来实现。目前尚无一种通用的方法对各种传感器都能进行融合处理,一般要依据具体的应用场合而定,现有的许多处理方法归纳起来主要有以下几种方法: $D-S$ 证据推理、贝叶斯方法、模糊逻辑、卡尔曼滤波、人工神经网络、产生式规则、加权平均法等。

加权法是一种最简单的实时处理信息的融合方法,将来自于不同传感器的冗余信息进行加权,得到的加权平均值即为融合的结果,其中权值可以根据经验、测量次数和数据的精度来确定。该方法的优点是简单直观,计算量少,适合实时处理^[10]。

本文就是采用一种加权的方法对声呐和摄像头采集到的

数据进行融合,首先对声呐和摄像头采集到的数据进行对准,根据式(1)~(5),把两者采集到的信息都转化为对距离值 l 的估计。当声呐没有检测到距离的跳变时,定义 $l = \infty$;同理当摄像头没有检测到门的边缘时, $l = \infty$ 。在完成声呐和摄像头数据的预处理后,根据式(6)~(7),采用加权的方法对两者数据进行融合,其中 x_k^1, x_k^2 分别为声呐和摄像头在第 k 时刻的局部状态估计值, w_1, w_2 分别为两者的权值, \hat{x}_k 为融合后的状态估计值。权值应根据实验所处的具体环境并且通过大量对比实验分析而确定,考虑到超声波存在发散角,所以当机器人距墙壁较远时,声呐数据的权值应相应调低;而摄像头采集到的图像受光线影响较大,当光线较暗时,也应对其权值作适当的调整。

$$\hat{x}_k = w_1 x_k^1 + w_2 x_k^2 \quad (6)$$

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (7)$$

通过声呐和摄像头的信息融合完成自身定位后,为了使移动机器人平滑的通过门形区域,需要进行局部路径规划。移动机器人穿门时的姿态应保持与门所在平面垂直(应保证门宽 D 大于车体宽度 N),才能保证穿行时不易发生碰撞,如果门形空间相对宽裕,允许车体姿态有所改变,按照垂直姿态情况进行轨迹规划依然适用^[4]。考虑到平滑性并实现路径的最优化,使机器人转过 $1/4$ 圆弧并尽量贴着门的前沿通过门形区域,如图6所示,根据 l 和 d 可以确定机器人的内轮转弯半径 r 和转弯起始点 A 。

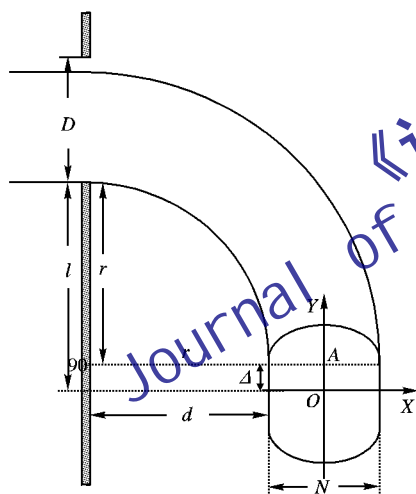


图6 路径规划

当 $l > d$ 时,机器人需先向前行驶 Δ 距离再进入转弯动作:

$$\Delta = l - d \quad (8)$$

机器人的中心到达 A 点后,以 r 为内轮转弯半径转过 $1/4$ 圆弧:

$$r = d \quad (9)$$

通过控制机器人的左右轮速来实现转弯,转弯运动过程中左右轮速的关系为:

$$\frac{V_R}{V_L} = \frac{r + N}{r} \quad (10)$$

在机器人完成 $1/4$ 圆弧的转弯动作后,保持左右轮速相等继续向前行驶最终使机器人平滑的通过门形区域。

当 $l \leq d$ 时,机器人直接进入转弯动作,按照式(10)控制左右轮速,内轮转弯半径为:

$$r = l \quad (11)$$

完成 $1/4$ 的圆弧运动后,保持左右轮速相等使机器人向

前行驶直到完成穿门动作。

2 实验

以先锋3移动机器人为实验平台,超声测距系统共有16个超声传感器,分布在机器人的前后左右。各超声传感器的测量距离范围为10 cm至4 m,图7所示为先锋3机器人前半部分的超声测距系统,各声呐在机器人自身坐标系上的位置从0号到7号,在 X 方向上依次为(单位:mm):

$$\text{robotSonarX}[8] = \{-136, -119, -78, -27, 27, 78, 119, 136\}$$

在 Y 方向上依次为(单位:mm):

$$\text{robotSonarY}[8] = \{69, 114, 148, 166, 166, 148, 114, 69\}$$

所用实验平台装有Canon VC-C4摄像机,图像采集卡是PXC200,采集速率为30 fps,摄像头窗口大小为320像素×240像素,水平视角 α 为 40° 。摄像头在机器人上的位置坐标为(0,120),并将其朝向转到 -70° 即确保式(4)成立, $\beta = 20^\circ$ 。

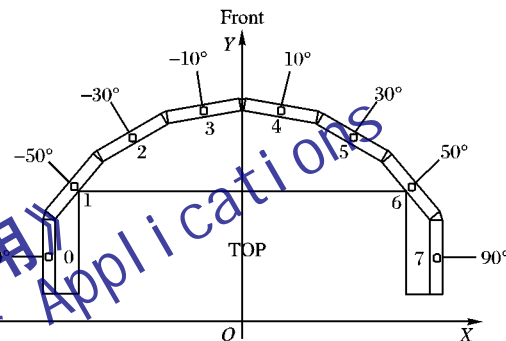


图7 先锋3机器人前半部分的超声测距系统

先锋3机器人宽度 $N = 38$ cm,门形区域宽度 $D = 45$ cm。机器人和门所在墙壁之间距离较近,超声波发散角对实验精度的影响较小;实验室光线比较充足,但由于摄像头的径向畸变,对实验精度造成了一定的影响。所以经过多次对比实验,设置声呐和摄像头在数据融合中所占的权值 w_1, w_2 分别为0.6,0.4,实验效果比较理想。如图8所示为机器人的穿门过程序列。实验表明,移动机器人在本文设计方案下安全平滑的完成了进门动作,并且运动过程较为理想,如图9所示,只使用声呐的误差较大,融合后的误差在 ± 3 cm以内。

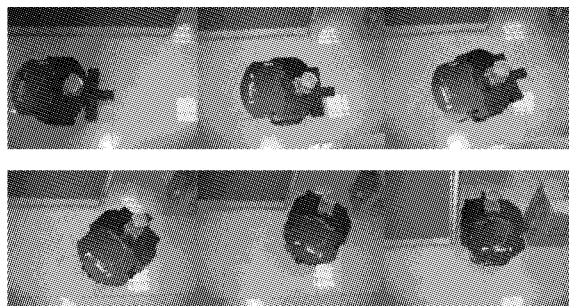


图8 门形穿越过程序列

3 结语

本文提出了一种基于超声传感器和摄像头信息融合的定位方法,解决了超声波镜面反射所带来的问题,并针对拐角区域做出了机器人的局部路径规划。通过实验,使机器人安全平滑地通过了拐角,证明了该方案的可行性。实验中由于超声波的发散角以及光线等因素影响了实验的精确度,因此如何改进融合算法、提高实验精度有待进一步的研究。

(下转第3096页)

其中 $f(\cdot)$ 为传输函数。

3) 计算输出与期望输出之间的误差,判断是否小于期望误差,是则训练结束;否则继续下一步。其误差的计算公式如下:

$$E = \frac{1}{2}(d - o)^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^l (d_k - o_k)^2$$

4) 计算各层反传信号,调整权值和阈值。

5) 检查是否完成一次训练,是则返回 2); 否则继续下一步。

6) 检查是否达到最大循环次数,是则结束训练;否则返回 2)。

经过多次训练后得到最后一组权值和阈值,组成前馈神经网络,然后进行 FPGA 的设计。

3 实例仿真

在设计中采用了 ModelSim 仿真器对部分节点进行了仿真测试,图像采集在时钟 clk 下能够完成图像数据采集,并通过 DMA 把采集到的图像数据写入相应的存储地址,最后完成图像数据的输出。图 6 为乒乓操作的功能仿真图,图 7~8 为图像采集读取和写入仿真波形图。



图6 乒乓操作仿真波形图

4 结语

该系统采用了双 Nios II 软核 CPU 构架和模块化设计方法,大大地提高了 FPGA 的使用效率,在图像采集和处理模块中,分别采用了乒乓选择方式和面积换速度的原理,极大地提高了数据处理的速率,BP 神经网络压缩算法可较好地保存图像品质。最后,采用 verilogHDL 硬件描述语言实现,具有系

统结构简单,硬件流程清晰,具有高集成度、高信噪比、低功耗、低成本,以及速度快等优点。通过验证本系统可以稳定工作,图像采集速率可达到 29 fps 左右,基本达到高速图像采集的要求,可广泛应用于工业、农业等,具有较高的实用价值。

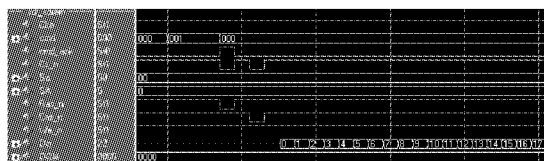


图7 图像采集读取仿真波形图

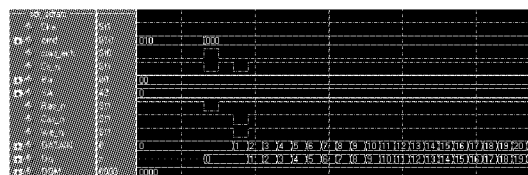


图8 图像采集写入仿真波形图

参考文献:

- [1] 姚远, 韦宏卫. FPGA 应用开发入门与典型实例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008: 1-9.
- [2] 孙凯, 程世恒. Nios II 系统开发设计与应用实例[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007: 23-41.
- [3] 李成, 贺泽. 基于 FPGA 的图像采集模块的设计[J]. 电子设计工程, 2009, 17(3): 34-37.
- [4] 刘明东, 杨亮亮, 李国刚. 基于 Nios II 多核驾驶疲劳检测系统设计[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(6): 1410-1412.
- [5] 何明星, 路巍. 基于多软核技术的数字示波器的实现[J]. 微计算机信息, 2009, 25(8): 40-41.
- [6] 侯忠, 阎保定, 侯韶剑, 等. 基于双 Nios II 软核处理器的机器人控制器设计[J]. 工业控制计算机, 2008, 21(10): 25-26.
- [7] 王海滨, 杨晓非. 基于 FPGA 的高速图像采集系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2009, 13(3): 28-30.
- [8] 杨隽, 周旋, 张敏瑞. BP 神经网络图像压缩算法乘累加单元的 FPGA 设计[J]. 现代电子技术, 2009, 38(4): 38-41.

(上接第 3093 页)

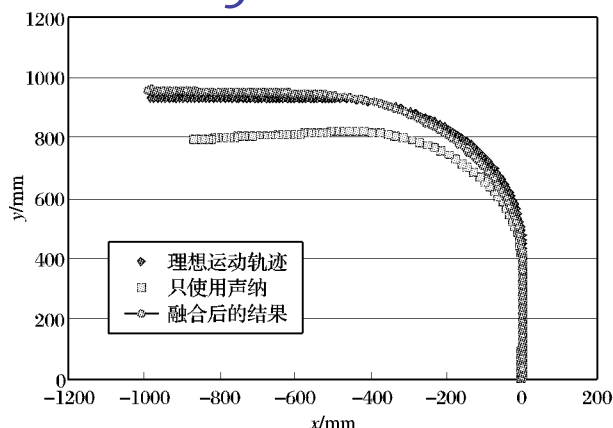


图9 运动轨迹对比

参考文献:

- [1] 贺锋, 秦晓丽, 方勇纯. 一种基于遗传算法的移动机器人自定位方法[J]. 模式识别与人工智能, 2009, 22(1): 142-147.
- [2] 马斌良, 黄玉美, 史恩秀, 等. 基于信息融合的移动机器人侧向定位的研究[J]. 传感器与微系统, 2008, 27(11): 24-27.
- [3] 刘国良, 谢箭, 颜世佐, 等. 狭窄环境地形图建立的融合算法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(1): 6-8.

- [4] HAN S M, PARK S K, JUNG J H, et al. Mobile robot navigation by circular path planning algorithm using camera and ultrasonic sensor [C]// IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Washington, DC: IEEE, 2009: 1749-1754.
- [5] JOO J H, HONG D H, KIM Y G, et al. An enhanced path planning of fast mobile robot based on data fusion of image sensor and GPS [C]// ICROS-SICE. Washington, DC: IEEE, 2009: 5679-5684.
- [6] YU M, LI S Q. A method of robot navigation based on the multisensor fusion [C]// Intelligent Systems and Application. Washington, DC: IEEE, 2010: 1-4.
- [7] LU T, YUAN K, ZOU W, et al. Study on navigation strategy of intelligent wheelchair in narrow spaces [C]// The Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation. Washington, DC: IEEE, 2006: 9252-9256.
- [8] 黄明登, 肖晓明, 蔡自兴, 等. 环境特征提取在移动机器人导航中的应用[J]. 控制工程, 2007, 14(3): 332-335.
- [9] 罗元, 张百胜, 李玲. 基于粒子群算法的单目移动机器人地图创建[J]. 微计算机信息, 2009, 25(14): 221-222.
- [10] 陈东. 三维激光和单目视觉间的联合标定与数据融合[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.