

移动机器人的边界识别和遍历矫正

胡天佑, 项馨仪, 郑健海, 周俊, 邬杨波

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 设计和研究了移动机器人的磁边界识别和遍历矫正。采用烧结 NdFeB 作为磁边界材料; 对于边界磁场信息的识别, 选用 UGN3503 霍尔传感器来实现; 对于机器人的遍历, 采用迂回式遍历。对于通常移动机器人的遍历中产生的累计误差问题, 提出一种矫正的方案, 采用磁边界作为机器人纠正误差的标志, 该磁边界同时也作为机器人工作区域的边界。这与当前其他矫正遍历误差方式相比, 有效地降低了边界系统的复杂性, 同时也提高整个运作系统的稳定性。

关键词: 磁边界; 移动机器人; 遍历; 矫正

中图分类号: TP242.6

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2014)03-0085-03

Identification of the boundary and correction of the traverse of the mobile robot

Hu Tianyou, Xiang Xinyi, Zheng Jianhai, Zhou Jun, Wu Yangbo

(College of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In this paper, we design and research of magnetic boundary identification and traversal correction of mobile robot. For the establishment of a magnetic boundary, adopt sintered NdFeB materials as magnetic boundaries; for the boundary magnetic field information recognition, choose UGN3503 hall sensor to achieve; for traversing robot, use alternate type traversal. For the cumulative error problem, put forward a correct solution, using magnetic boundary as a symbol of robot to correct the error, at the same time, the magnetic boundary is the boundary of the robot work area. At current, this compared with other correction way to traverse the error, reduced the complexity of the boundary system effectively, at the same time, improve the stability of the whole operation system.

Key words: magnetic boundary; mobile robot; traverse; correction

在移动机器人自主寻迹时, 边界识别是其重要环节之一。边界识别技术, 是指移动机器人通过各种传感器来检测或推算边界信息, 控制自身在规定的范围内活动。通过调查和研究, 现有的户外轮式移动机器人都将边界识别作为首要研究内容, 目前采用的方法可分为如下几类: (1) 采用通电电缆包围整个工作区域, 机器人通过探测边界线所形成的磁场来推算边界信息, 此种方法需在不同区域埋线并增设电源, 但在执行上造成了一定的困难; (2) 采用预先在边界放置与周边环境色差较大的标示物, 机器人通过光学传感器来检测边界, 此种方法算法复杂, 容易出错; (3) 采用定位传感器如 GPS、超声波、视觉导航系统等确定机器人的位置, 进而确定边界。以上方法均设备复杂、成本较高, 而且往往难以达到精确定位的效果。

本文针对以上边界识别技术所存在的缺陷, 提出一种改进的机器人边界识别方法以解决上述问题, 同时设计了遍历矫正方案来减小运动过程中产生的累积误差, 提高了定位精度, 降低了方法的难度。系统由按一定规律排布的永磁体边界与安装于机器人上的线性霍尔传感器构成。经实验验证, 该系统不仅具有实用性而且稳定。

1 机器人的硬件平台设计

移动机器人控制系统由单片机主控模块、传感器采集模块、电源模块和运动控制模块组成。单片机主控模块是移动机器人的控制核心^[1], 负责处理传感器采集的数据, 经处理后发给运动控制模块执行; 传感器采集模块主要是线性霍尔传感器检测磁场边界采集的电压数据; 运动控制模块是移动机器人的运动执行部分, 负责接收单片机主控模块的运动指令, 由直流电机完成前

进、转弯和后退的指令,然后通过传感器多次采集的数据能够实现遍历矫正;电源模块是移动机器人的能量来源,为单片机主控模块和运动控制模块提供所需能量。移动机器人控制系统总体框架如图1所示。其中,控制系统的核心控制芯片采用Cygnal公司生产的C8051F020单片机。运动控制模块的电机驱动芯片选择L298N型号。磁边界材料选择磁性较强的钕铁硼(NdFeB)磁体。传感器采集模块采用UGN3503霍尔传感器来识别边界信息。

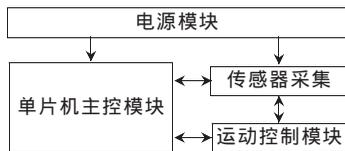


图1 移动机器人控制系统总体框架

1.1 C8051F020 单片机简介

C8051F020 单片机是完全集成的混合信号系统级 MCU 芯片,采用全速、非侵入式在系统调试接口,提供 C 编译调试环境,可以大大提高产品开发速度和效率。芯片内置有 8 路 12 位 A/D 转换器、8 路 8 位 A/D 转换器、2 路 12 位 D/A 转换器、2 路 UART、SPI、I²C、电压比较器、内部晶振、看门狗、电压监视器、温度传感器、多路 PWM 输出,支持 20 个中断源、64 个可编程 I/O 口、4 KB RAM、64 KB 在系统编程 Flash 存储器等外部设备,简化了 MCU 芯片外围电路的设计。

1.2 边界识别的硬件设计

由于移动机器人采用强磁体作为边界,对传感器的灵敏度要求不高,因此选用线性霍尔传感器 UGN3503U 来识别磁边界。该传感器具有低噪输出、随磁场强度线性变化、性能稳定、成本低等特点。为保证机器人能够始终有效地检测边界且减少霍尔元件的数量,将霍尔传感器分为左右对称的两大部分。每一部分中的任意两个相邻霍尔传感器的距离为矩形永磁体宽面长度的一半。左右两大部分的霍尔传感器间距为两倍永磁体宽面长度。由于霍尔传感器对垂直自身的磁感线最为敏感,因而任意一个霍尔传感器的传感部分均与永磁体的宽面平行,任意一个霍尔传感器与永磁体的上宽面间距相等且约为 1 mm。边界识别的磁传感器原理图如图 2 所示。

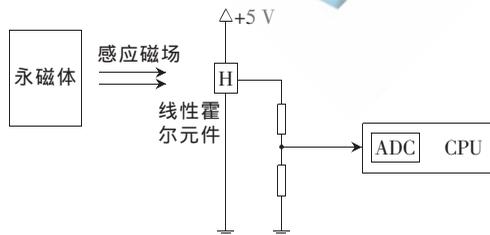


图2 边界识别的磁传感器原理图

2 磁边界的建立与识别

目前,移动机器人工作区域的磁边界大多采用有源的导线产生。而机器人工作时整个系统会在边界上产生

能量消耗,不符合现在倡导的低碳经济的要求。因此,本文就功耗问题,采用无源的永磁体作为机器人的工作边界,不需要增设额外的电源。永磁体可埋于地底,对环境的影响较小。考虑到每种永磁体都具有不同的特性,在选择某种磁性材料时,根据应用场合不同,应该考虑最大磁能积、矫顽磁性、最大工作温度、剩磁及材料的硬度等因素。烧结 NdFeB 永磁材料的剩磁 B_r 与其他材料相差不多,但其最大磁能积却是其他永磁材料的几倍,且长期使用不会退磁。因此,移动机器人边界采用烧结 NdFeB 磁体作为边界材料。

该边界识别方法简单、精度高,同时可利用永磁体的特殊排列规律来实现定位,保证了机器人的工作范围。移动机器人的磁边界由上下宽面为磁极、充磁方向沿厚度方向的矩形永磁体组成。多个永磁体的排列规律如图 3 所示, L 为矩形永磁体的宽面长度,相邻磁体的间距与磁体宽面长度相等,且所有永磁体的朝上宽面为同一磁极。



图3 磁边界的矩形永磁体摆放特征示意图(俯视图)

按上述规律放置的烧结 NdFeB 磁体,由于相邻两个永磁体间距较远,相邻两磁体中每个单独的磁体各自保持独立的磁场分布,不发生相互作用。另外,磁铁周围磁场强度随距离的增大而减小,移动机器人可以通过识别磁场的强弱来判断其是否到达边界。因此,本文采用一种理想的矩形磁边界模型来模拟实际机器人的工作情况。该矩形边界等间隔放置烧结 NdFeB 磁体,磁体尺寸为 30 mm×10 mm×5 mm,间隔也为 30 mm。边界底部采用软磁条将单个独立的磁体按照一定的排列方式固定,将原本离散分布的磁边界转变成相对连续的磁边界。磁边界模型如图 4 所示。

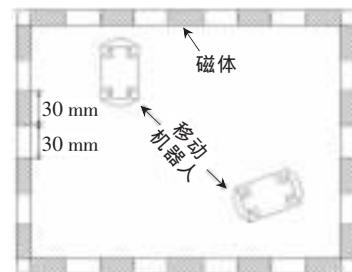


图4 磁边界模型

当移动机器人上的线性霍尔传感器未处在磁体的正上方,线性霍尔传感器的输出电压为 2.5 V。该电压经过两个等值电阻分压后传给模/数转换器,此时单片机主控模块检测模/数转换器采集到的电压为 1.25 V,判断机器人未处于边界。当移动机器人上的线性霍尔传感器移动至磁体上方,线性霍尔传感器的输出电压发生突变,该电压经过两个等值电阻分压后传给模/数转换

器。此时单片机主控模块检测任意一个模/数转换器采集到的电压发生突变,判断机器人到达边界。

3 边界的遍历与矫正

为了覆盖到工作环境的整个区域,需要对移动机器人的路径进行全区域覆盖规划,主要有随机路径规划、螺旋收缩路径规划与往复前进路径规划三种方式,本文采用往复前进路径规划进行遍历^[2]。采用往复前进路径规划来遍历的方案如图5所示,移动机器人沿规划的路径在工作区域上下边界和左右边界都采用往复前进,以直线方式行走至边界后掉头,然后沿反方向直线运行,如此反复迂回,直到整个区域被覆盖。

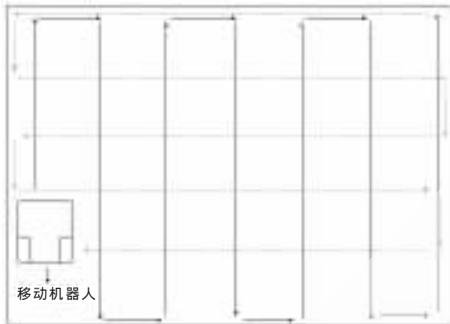


图5 往复前进路径规划的方案

本文根据往复前进路径规划遍历的方式,采用如下算法实现遍历。假设移动机器人处于矩形工作区域的左下角边界,其两前轮与工作区域一边界平行。当移动机器人到达与两前轮平行的工作区域另一边界时,先右转90°,再前进与移动机器人前后轮距等长的距离,接着右转90°按照原轨迹平行的路径前进。当到达与两前轮平行的原边界时,机器人先左转90°,再前进与移动机器人前后轮距等长的距离,接着左转90°前进,依次往复前进从而实现整个工作环境的覆盖和遍历。在上述假设的工作环境中,可以设定奇数次到达边界向右转向,偶数次到达边界向左转向。如式(1)所示,其中 n 为遇到边界的次数, y 为执行动作。

$$y = \begin{cases} \text{左转掉头}, n \text{ 为偶数} \\ \text{右转掉头}, n \text{ 为奇数} \end{cases} \quad (1)$$

当移动机器人到达工作区域的右上角边界时,通过控制系统左转90°来改变往复的路线,由上下往复变为左右往复,该路线切换可以通过上述边界识别奇偶次数的方法来实现。

移动机器人按照往复前进路径规划遍历会产生累计误差,每次往复都会偏离原来预定路径微小的量,随着往复次数的增加,微小量累加最终造成较大偏差。因此,本文对机器人迂回工作产生的遍历误差提出了一种新矫正方式^[3]。此矫正方式以磁边界上放置的烧结NdFeB磁体作为标志,通过线性霍尔传感器与磁体特殊的排列使移动机器人在行走过程中矫正其位置。如图6所示, L 为矩形永磁体的宽面长度。

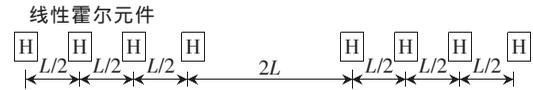


图6 线性霍尔传感器的摆放示意图(俯视图)

上述方式通过左右各4个霍尔传感器间的电压差实现误差矫正。由于磁边界磁场强度由中心向外逐渐减弱,线性霍尔传感器在离磁边界不同距离时输出的电压不同。当移动机器人到达边界时,可通过检测线性霍尔传感器的输出电压值来判断移动机器人两前轮是否与边界垂直。单片机主控模块首先通过模/数转换器顺次检测并记录8个线性霍尔传感器的电压,然后计算左边4个线性霍尔元件的电压之和与右边4个线性霍尔元件的电压之和,最后将两电压和相减求差,若其差小于设定的阈值,则判断移动机器人两前轮已经垂直边界。若其差不小于设定的阈值,则可通过运动控制模块调整移动机器人两前轮的位置与边界垂直。

4 实验结果与结论

模拟文中假设的工作环境,制作出移动机器人实物模型,将安装电源后的移动机器人放置在工作环境中进行实验与数据记录,通过实验,探究提出的遍历矫正方法的有效性。表1、表2和表3分别记录了移动机器人前后两轮所在直线垂直边界、向右倾斜边界和向左倾斜边界三种情况时的采集数据。

表1 垂直识别边界(边界识别阈值 1.70 V)

传感器端口号	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
采集电压 $U_{\text{集}}/V$	2.04	1.34	1.35	2.07	2.06	1.87	1.06	1.40
实测电压 $U_{\text{测}}/V$	2.02	1.33	1.33	2.05	2.05	1.86	1.08	1.39
误差 $E/\%$	0.99	0.75	1.50	0.97	0.48	0.54	1.85	0.72
左右差值 D_V/V	$D_V = (U_{\text{集}0} + U_{\text{集}1} + U_{\text{集}2} + U_{\text{集}3}) - (U_{\text{集}4} + U_{\text{集}5} + U_{\text{集}6} + U_{\text{集}7}) = 0.41$							

表2 向右倾斜边界(边界识别阈值 0.77 V)

传感器端口号	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
采集电压 $U_{\text{集}}/V$	1.20	1.44	2.08	1.98	1.77	1.22	1.26	1.56
实测电压 $U_{\text{测}}/V$	1.19	1.43	2.06	2.00	1.75	1.23	1.25	1.54
误差 $E/\%$	0.84	0.70	0.97	1.00	1.14	0.81	0.8	1.29
左右差值 D_V/V	$D_V = (U_{\text{集}0} + U_{\text{集}1} + U_{\text{集}2} + U_{\text{集}3}) - (U_{\text{集}4} + U_{\text{集}5} + U_{\text{集}6} + U_{\text{集}7}) = 0.89$							

表3 向左倾斜边界(边界识别阈值 0.77 V)

传感器端口号	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
采集电压 $U_{\text{集}}/V$	1.15	1.22	1.19	1.44	1.80	2.08	1.18	1.15
实测电压 $U_{\text{测}}/V$	1.14	1.21	1.18	1.43	1.79	2.07	1.17	1.14
误差 $E/\%$	0.88	0.83	0.85	0.70	0.56	0.48	0.85	0.88
左右差值 D_V/V	$D_V = (U_{\text{集}0} + U_{\text{集}1} + U_{\text{集}2} + U_{\text{集}3}) - (U_{\text{集}4} + U_{\text{集}5} + U_{\text{集}6} + U_{\text{集}7}) = -1.21$							

由于左边4个线性霍尔元件的电压之和与右边4个线性霍尔元件的电压之和的差值 D_V 的值小于边界识别阈值1.70 V,移动机器人判断前后两轮所在直线基本与边界垂直,不作出任何矫正。

由于左边4个线性霍尔元件的电压之和与右边4

个线性霍尔元件的电压之和的差值 D_V 的值大于 0 且绝对值大于阈值电压 0.77 V, 移动机器人判断前后两轮所在直线向右倾斜边界, 向左转动进行误差矫正。

由于左边 4 个线性霍尔元件的电压之和与右边 4 个线性霍尔元件的电压之和的差值 D_V 的值小于 0 且绝对值大于阈值电压 0.77 V, 移动机器人判断前后两轮所在直线向左倾斜边界, 向右转动进行误差矫正。

上述实验结果说明本遍历矫正方法可以实现移动机器人即时矫正, 满足了调整的实时性和快速性, 在模拟条件下达到了很好的效果。

边界识别和遍历矫正都是移动机器人技术研究的主要问题, 本文就这两个主要问题展开了一系列设计和研究。文中研究的成果是在建立的模型系统中实现了移动机器人磁边界的识别和遍历, 并提出了一种新的由遍历产生误差的矫正方法, 并通过实验证实该方法的可行性。本文的研究成果可以用在割草、清洁工作等方面。

参考文献

- [1] 韩松. 基于 S3C2410 的嵌入式智能机器人设计[J]. 数据采集与处理, 2008, 23(3): 367-371.
- [2] 李智也. 移动机器人路径规划问题的解决方案[J]. 计算机工程, 2006, 32(1): 189-192.
- [3] 杨准清. 一种基于可视图法的机器人全局路径规划算法[J]. 沈阳工业大学学报, 2009, 31(2): 225-229.

(收稿日期: 2013-11-04)

作者简介:

胡天佑, 男, 1992 年生, 本科生, 主要研究方向: 移动机器人控制, 单片机系统设计。

项馨仪, 女, 1993 年生, 本科生, 主要研究方向: 单片机系统设计。

邬杨波, 男, 1973 年生, 副教授, 主要研究方向: 机器人控制, 电工电子技术及集成电路设计等。