

### 3 传感器节点 $\nabla$ 型结构的移动机器人寻迹算法<sup>①</sup>

肖 勇

(太原科技大学 电子信息工程学院, 太原 030024)

**摘 要:** 针对智能车竞赛电磁组寻迹算法, 提出一种有别于传统的新型结构摆放传感器节点的方式, 并在此结构下提出了一种寻迹规则对设定路径进行识别. 为了检验所述算法, 设计并实现了基于 MCF52259 核心控制单元的移动机器人寻迹系统, 在识别较复杂路径时取得良好的实验效果.

**关键词:** 移动机器人; 寻迹算法; MCF52259 核心控制单元

#### Navigation Algorithm of Three Sensor Node $\nabla$ Structure Based on the Mobile Robot

XIAO Yong

(Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** Regarding an intelligent vehicle competition navigation algorithm based on mobile robot, the article describes a method that sensor node can be placed by a new structure, which differs from the traditional one. Under the structure, rules of navigation for recognizing the set path are defined. In order to verify the above algorithm, mobile robot navigation system based on MCF52259 MCU was designed and put into practice. The algorithm has obtained good effect on recognizing complicate path.

**Key words:** mobile robot; navigation algorithm; MCF52259 MCU

随着机械制造、自动控制、计算机等技术的发展, 移动机器人作为多学科融合的产物, 已在民用及军用得到广泛的应用.

全国大学生智能汽车竞赛规则是在满足一定的设计条件下, 使智能汽车模型实现自主识别设定路径并以较快速度完成比赛. 是体现移动机器人寻迹及硬件设计能力的大学生课外科学竞赛, 对推动机器人的研究具有很大的促进意义.

本文针对全国大学生智能汽车竞赛(电磁组)智能汽车自动寻迹问题提出一种  $\nabla$  型结构传感器布置方法. 该方法是在小车上同一水平面三角形定点布置 3 个电感作为路径偏差的探测传感器, 寻迹的路径是一根通有 100mA、20kHz 频率交变电流的导线. 传感器利用电磁感应原理, 感应信号强度与传感器和导线距离成反比, 以此测得小车与路径的偏差, 进而实现小车的自动寻迹.

根据该寻迹方案, 本文给出了路径偏差的检测方

法, 设计了智能汽车的硬件电路和行的控制策略, 实验验证了寻迹方法的可行性.

#### 1 移动机器人寻迹方案

##### 1.1 传感器节点安置

设定路径的准确识别是移动机器人实现快速、稳定寻迹行驶的关键. 其中传感器节点的数量及安装布局对寻迹效果的影响最大. 以传统单排“一”字形水平安装方式, 它具有信号采样时间短, 算法实时性好, 控制简单灵活, 但在高速情况下更容易引起路径的误判和车身抖动, 造成寻迹丢线, 最终偏离设定路径; 若传感器节点过多, 能提高寻迹精度, 但相对而言会造成冗余, 系统负担增大, 反而对实际寻迹效果有制约.

节点  $\nabla$  型结构的布局方式, 如图 1、2 所示, 定义移动机器人当前行进方向为  $Y$  轴方向, 在平面内垂直于当前行进方向为  $X$  轴方向. 移动机器人上方固定 3

<sup>①</sup> 收稿时间:2015-05-11;收到修改稿时间:2015-06-23

个 10mH 电感作为传感器节点, 其中 A、B 节点在移动机器人前置支架上, O 节点在移动机器人行迹中心, 3 个节点安装于同一水平面, 高度为  $h$  .

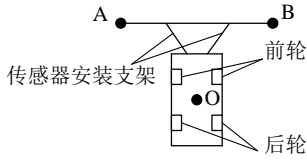


图 1 移动机器人传感器节点安置图

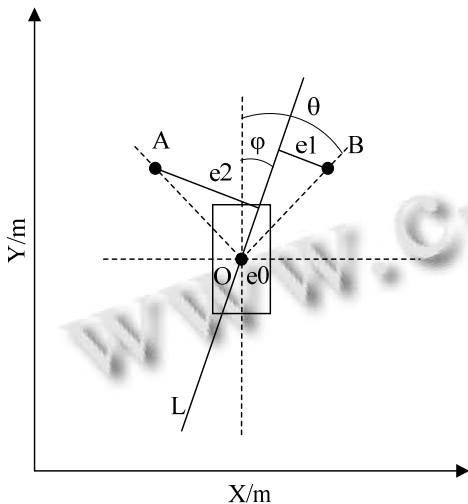


图 2 移动机器人运动模型图

图1、2中的各参数意义如下:

A、B、O: 传感器安置节点(O 点安装于移动机器人行迹中心);

L: 设定路径;

$\theta$ :  $\vec{OB}$  与 Y 轴方向的夹角;

$\varphi$ : 路径 L 与 Y 轴方向的夹角;

$e_i(i=0,1,2)$ : 各传感器节点与设定路径 L 的水平距离。

### 1.2 设定路径寻迹原理

设线圈中心到导线的距离为  $r$ , 并认为小范围内磁场分布式均匀的, 根据法拉第定律, 线圈中的感应电动势可近似为:

$$E = \frac{K}{r} \tag{1}$$

式中,  $E$  为线圈中感应电动势;  $K$  为比例系数;  $r$  为线圈中心到截流导线的距离。

根据感应线圈不同的轴线摆放方向, 可以感应不同的磁场分量. 由于本设计中采用线圈轴线水平的摆放方式, 所以感应电动势反映了磁场的水平分量, 设

定路径的截流导线对于电感均可等效为无限长导线, 根据比奥-萨法尔定律可得单个电感的电压值可表示为:

$$U = K \frac{h}{h^2 + x^2} \tag{2}$$

那么可以得出:

$$\begin{bmatrix} e_0 \\ e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{Kh}{BU} - h^2} \\ \sqrt{\frac{Kh}{BU} - h^2} \\ \sqrt{\frac{Kh}{BU} - h^2} \end{bmatrix} \tag{3}$$

式(2)(3)中,  $e_i(i=0,1,2)$  为各传感器节点与截流导线的水平距离;  $U$  为单个电感电压值;  $K$  为固定的比例系数, 与电磁学常量有关;  $B$  为实际运算放大电路放大倍数;  $h$  为传感器安放高度。

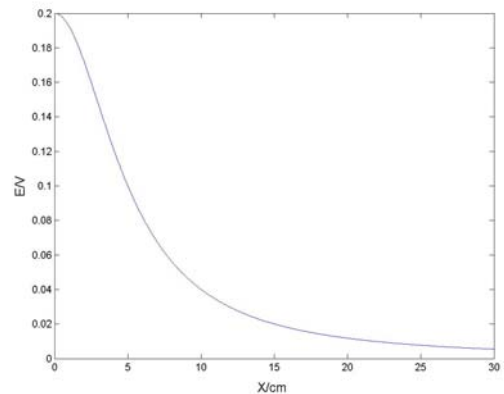


图 3 单个节点感应电动势路径偏移量的函数关系

本文所述的寻迹原理是这样的: 分别采集每个节点探测的感应电动势信息, 计算出路径偏移量  $e_i(i=0,1,2)$ , 然后通过偏移量信息进行计算速度和转向控制量, 对移动机器人进行速度和转向的调整, 控制路径偏移量  $e_0$  趋于 0 寻迹, 并判断是否正确寻迹。

与 A、B 节点可由感应电势差区分方向不同, O 节点为相对单节点测量, 其测量值是位置  $x$  的偶函数, 不能区分正负. 实际寻迹过程中, 当  $e_1 - e_2 > 0$  时, 移动机器人应该向左转向, 且控制量应该随电势差的增大而增加, 否则向右转向. 当机器人行进在设定路径上时, 假设前一状态正确寻迹, 即  $e_0 = 0$ , 当此时有  $e_1 = e_2$  时, 根据经验我们速度控制量应该最大, 而方向控制量保持不变。

所以可以设计控制量为:

$$u_i = K_i(e_1 - e_2) \tag{4}$$

$$u_s = -K_{s1}(e_0 + |e_1 - e_2|) + K_{s2} \tag{5}$$

式(4)(5)中,  $e_i(i=0,1,2)$  为各传感器节点与截流导线的水平距离;  $u_i$  为转向控制量;  $u_s$  为速度控制量;  $K_i$ 、 $K_{s1}$ 、 $K_{s2}$  为转向和速度控制量的调节参数, 可根据实际行驶状态自行确定. 整个过程流程如图 4.



图 4 寻迹算法流程图

## 2 移动机器人路径检测硬件方案

在电磁检测技术中, 由于采集的信号是反应磁场分量大小的感应电动势, 且为了避开周围其他磁场的干扰, 所以关键的并非探测, 而是对连续信号的合理放大和适当滤波处理. 本文使用 LM358 双运放放大电路, 它采用单电源供电, 在信号入口采用 LC 谐振电路后通过一个高精度的 3296 电位器将信号缩小, 进入一个电压跟随器. 跟随器一方面增大了电路的带负载能力, 使得信号不会过度衰减, 同时也做到了隔离信号源的作用, 使得信号可以更稳定地放大, 实测在调整机械结构后, 最大可以在离设定路径 20cm 处检测到大小为 0.9V 的感应电压, 正常情况的感应电压可以达到 2.1V, 而且随着位置变动, AD 采用的数值变动明显, 且固定一个位置时, 其电压稳定性也很好. 电路原理如图 5.

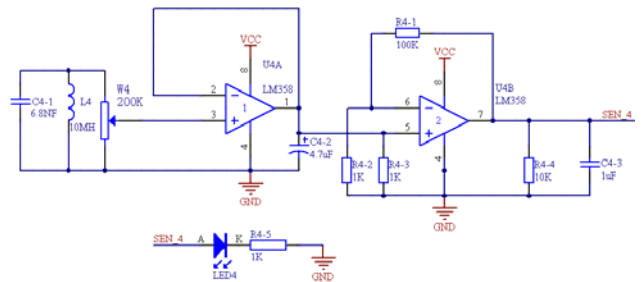


图 5 LM358 双运放放大电路原理图

## 3 移动机器人控制系统架构及控制策略

### 3.1 移动机器人硬件系统

本文为实现寻迹算法所采用移动机器人的硬件系统以 Freescale 公司出产的基于 V2 ColdFire 微架构的 32 位微控制器 MCF52259 为核心控制单元, 由电源管理模块、传感器探测模块、速度检测模块、转向控制模块和速度控制模块组成. 控制系统总体设计结构如图 6 所示. 其工作过程是: 电源管理模块负责对控制系统硬件电源提供输入, 3 路传感器探测节点探测路径信息, 速度检测模块检测当前车速, 并将这些信息输入到 MCU 控制系统进行处理. 通过控制算法对移动机器人发出控制命令, 速度控制模块和转向控制模块负责对机器人运动轨迹和速度进行实时控制.

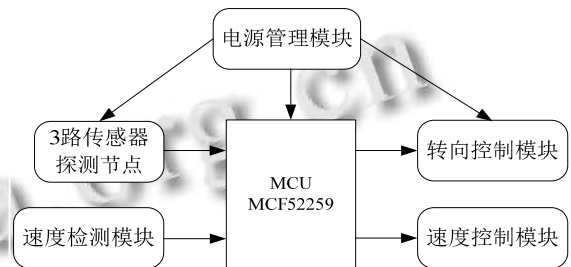


图 6 控制系统总体硬件框图

### 3.2 PID 控制器设计

为了实现移动机器人速度和方向的控制, 在控制算法上我们选取了 PID 控制器. PID 控制器由比例单元(P)、积分单元(I)和微分单元(D)组成. 其输入与输出  $u(t)$  的关系为:

$$u(t) = k_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \tag{6}$$

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p \left[ 1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right] \tag{7}$$

式(6)、(7)中,  $k_p$  为比例系数;  $T_i$  为积分时间常数;

$T_d$  为微分时间常数. 给出速度控制单元如图 7 所示:

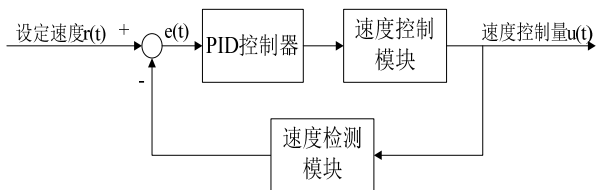


图 7 速度控制单元框图

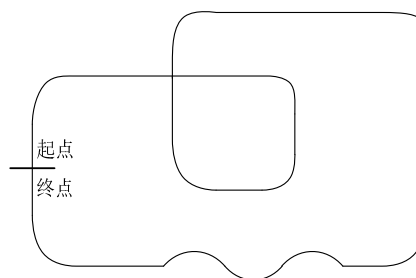


图 8 实验寻迹路径图

#### 4 实验结果与分析

通过分析不同传感器节点安置方式在不同复杂路径下的寻迹情况, 相对于其他布局方式, 本文所设计的 3 个传感器节点  $\nabla$  型结构布局方式, 在直道及大曲率半径连续弯道方面基本没有车身抖动情况, 并避免了频繁的大角度修正情况, 系统过冲小, 能够较稳定、快速地完成寻迹工作, 具体情况如表 1 所示.

表 1 不同传感器节点安置方式下不同路径寻迹系统运行情况分析

传感器节点结构	十字交叉	大曲率半径连续路径	直线路径
“一”字型结构	易造成干扰, 冲出路径	干扰小	较快速寻迹
多传感器结构	干扰小	检测临界值灵敏, 易抖动	较快速寻迹
$\nabla$ 型结构	干扰小	可近直线快速寻迹	较快速寻迹

为了验证移动机器人应用此寻迹算法后系统的稳定性及快速性, 我们在空旷的实验室自行搭建了总长 30m、宽 50cm 的寻迹路径. 如图 8 所示, 实验所用寻迹路径的中心铺有一根通有 100mA、20kHz 频率交变电流的截流导线, 我们以本文提出的寻迹算法在路径上进行多次试跑. 其中重点设计了“十字交叉”、“大曲率半径连续弯道路径”等复杂寻迹段以检测本文提出的寻迹算法能否准确识别路径并进行快速寻迹.

经过多次实验后, 我们总结和整理了整体设计思路和实验数据, 采用此算法能实现对速度和方向更精确地控制, 增加了系统稳定性, 减少移动机器人因检测临界值灵敏而产生的抖动情况, 更流畅地通过各种复杂路况, 如“交叉路径”、“大曲率半径连续弯道路径”等, 其平均运行速度可达到 2.68m/s.

#### 5 结语

本文针对全国大学生智能车竞赛电磁组智能车寻迹方式提出一种区别于传统“一”字型传感器节点摆放方式的新型结构, 此结构采用 3 个传感器节点以  $\nabla$  型结构布局, 并设计了一种移动机器人寻迹规则对设定路径进行识别, 并达到了良好的实验效果. 在系统硬件方面采用 MCF52259 单片机作为主控制器, 无刷直流电机作为执行元件完成了系统硬件和软件方面的设计. 实验结果表明, 系统具有良好的稳定性和快速性.

#### 参考文献

- 卓晴, 黄开胜, 邵贝贝. 学做智能车: 挑战“飞思卡尔”杯. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- 杨雪, 高成恩, 高攀, 尤一鸣, 熊慧. 基于电磁场检测的寻迹智能车系统设计. 单片机与嵌入式系统应用, 2011, 11(12): 61-64.
- 廖华丽, 周祥, 董丰, 王延旗. 基于模糊控制的 AGV 寻迹算法. 哈尔滨工业大学学报, 2005(7).
- 罗均, 李锐, 樊鹏程. 移动机器人寻迹算法研究. 计算机工程与应用, 2010, 46(11): 63-66.
- 马春城, 郭循钊. 智能寻迹模型车的控制策略及算法研究. 电子设计工程, 2014, 22(4): 104-107.
- 王孝武. 现代控制理论基础. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- 韩毅, 杨天. 基于 HCS 12 单片机的智能寻迹模型车的设计与实现. 计算机工程与设计, 2008, 29(18): 4735-4738.
- Lee T, Song K. Tracking control of robots using saturation feedback controller. Proc. 1999 IEEE Int Conf Robot and Automat. May, 1999. 2639-2644.