

# 磁导航智能车定位计算方法研究

于 寒, 沈世斌\*

(南京师范大学 电气与自动化学院, 江苏 南京 210042)

**摘 要:**讨论了以电磁信号为航标的智能车位置检测的原理与方法,对前端垂直双传感器布局的控制信号提取方法进行了建模分析,以智能车前行方向与导航线夹角为控制变量,分析了常用的传感器信号处理方式,提出了一种线性度较好的控制信号处理算法,并与常用方法进行了仿真对比分析.实验表明,论文方法较好地实现了磁导航智能车运动方向与速度的闭环控制.

**关键词:**电磁导航;智能车;定位算法

**中图分类号:**TP242.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-0569(2014)01-0055-06

## 0 引言

机器人技术是对国民经济和国防建设具有重要意义的高技术领域,是我国许多战略新兴产业发展的重要基础.在计算机技术、控制技术、检测技术等新技术发展的推动下,机器人技术正向众多领域迅速扩展<sup>[1-3]</sup>.智能车是一种轮式移动机器人,可广泛应用于智能家居、智能导游、工业生产等领域,特别是在近年来兴起的以原型系统和数学模型相结合的智能交通研究领域<sup>[4]</sup>,智能小车都扮演着极为重要的角色.智能车的研究内容涉及导航定位、运动规划、作业控制等技术和方法,其中的导航定位技术与方法,是智能车功能实现的重要保障.因此,开展智能小车的定位技术研究,具有较强的现实意义和科学价值.

磁导航智能车是基于电磁感应技术的自主寻线小车,利用埋在路面下的通有交变电流的载流导线进行定位导航,从而实现运动方向控制.随着全国大学生“飞思卡尔杯”智能汽车竞赛的规模和影响越来越大,磁导航竞速智能车的定位技术吸引了国内众多高校师生的目光,文献[5]提出了一种基于三传感器的定位检测方法<sup>[5]</sup>,文献[6]对定位检测传感器布局进行了研究<sup>[6]</sup>,文献[7]对传感器检测特性进行了分析<sup>[7]</sup>,有的文献提出了智能车设计方案<sup>[8]</sup>和讨论了舵机控制和电机控制的具体实现方法<sup>[9]</sup>,取得了一系列研究成果<sup>[10,11]</sup>,但均未涉及传感器信号的线性化处理问题.本文以全国大学生“飞思卡尔杯”智能车竞赛的赛道为对象,对磁导航技术的基本原理进行了梳理,讨论了基于双传感器布局的建模方法,提出了一种线性度较好、控制性能优越的信号处理方案.

## 1 智能车结构与定位航标

本文所用的智能车硬件系统以飞思卡尔公司的32位微处理器MK60N512VMD100为控制核心,由导航检测模块、驱动控制模块、速度检测模块、系统调试模块、电源监测模块等组成,基本硬件框架如图1所示.

智能车的定位航标为铺设在道路下的直径为0.2~0.8 mm的漆包线,其中通有20 kHz,100 mA的交变电流.由于导航线的延展形状未知,智能车只能通过检测导航线周围产生的交变磁场来确定行驶路线.

收稿日期:2013-10-15.

基金项目:南京师范大学创新项目.

作者简介:于寒(1993-),女,主要从事机器人技术方面的学习与研究.

通讯作者:63018@njnu.com.

本系统使用安置在小车前端的两个电感作为传感器,将道路下方的导航线所产生的磁场转换为电压值并进行放大,通过 A/D 模块转换为数字量送给微处理器,计算出小车前进方向与导航线的偏离角度,结合由测速装置获得的小车速度数据,对小车舵机的转向大小、方向和直流电机的转速进行调整,构成行驶过程的闭环速度控制,以实现小车的路径自动识别和快速行进.

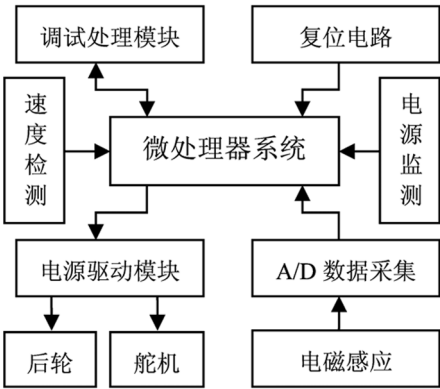


图 1 系统硬件框图

2 磁导航原理

由麦克斯韦电磁场理论可知,通有交变电流的导线周围会产生交变电磁场,并在导线周围空间呈辐射状立体分布. 在某一确定时刻,磁场的大小反映了检测点与导线中心点的距离,以此可以确定小车在道路上的位置,从而控制小车的舵机打角以及电机速度,实现电磁引导自动循迹的目的.

从毕奥 - 萨法尔定理可得出,电流回路中任一电流元在空间任一点产生的磁感应强度是遵循一定的规律的,即空间任一点的磁感应强度可以看成是导线上电流元产生的磁场之和:

$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\vec{l} \times \vec{a}}{a^3} \tag{1}$$

公式(1) 中的积分路径要遍及整个载流导线,只有在特定的曲线条件下才可以求得最后解析解. 从本文的应用角度出发,检测点与导航线的距离相对于导航线的长度相比较小,因此可以将上式按无限长直导线进行简化,故可得与导航线距离为  $r$  的点的磁感应强度为:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \tag{2}$$

由上式可知,导航线产生的磁场分布是以导航线为中轴的一系列同心圆,同圆上的磁场强度大小相同,并随与导航线的距离  $r$  的增加成反比下降.

由于导线的周围空间充满了交变的电磁场,如果在里面放置一个电感线圈,电磁感应会使线圈中产生交变的电压. 在导线位置和导线中电流既定的条件下,线圈中感应电压是空间位置的函数. 由于本文使用的导航信号频率为 20 kHz,由电磁波波长计算公式:

$$c = \lambda f \tag{3}$$

可得导航线辐射的电磁波长约为 15 km,与周边环境存在的电磁波差别较大,故可使用电感器作为导航线磁感应强度的检测传感器.

由法拉第电磁感应定律可知,电感产生的感生电动势变化与其磁通量的变化率有关,即:

$$E = \lambda \frac{d\Psi}{dt} = \lambda \frac{dBS}{dt} \tag{4}$$

由于线圈较小,导航线的信号频率较低,则可以认为通过电感线圈的磁场分布是均匀的.令线圈中心到导线的距离为 $r$ ,则根据公式(2),有电感线圈中的感应电动势为

$$E \approx \frac{\alpha}{r} \quad (5)$$

式(5)中的 $\alpha$ 与线圈摆放方法、电感线圈的大小有关,在导航信号确定的情况下,是一个常量,可通过测试确定.

将检测电感两端的电压经过放大后送给AD转换器,则单片机采集到的传感器的值为:

$$Value = \beta E = \frac{K}{r} \quad (K \text{ 为常比例系数}) \quad (6)$$

### 3 导航控制量计算

磁导航智能车的传感器的布局方法较多,本文采用双电感检测方式,将检测电感放置在小车的前方横杆两端且垂直于小车中心线.

在导航控制过程中,可以将控制变量输入分为两类,第一类将车体中心线到导航线的距离作为控制变量输入,第二类是将车体中心线与导航线的夹角作为控制变量输入.通过观察小车的运动可知,小车车体中心线与导航线呈一定的夹角,而整体车身不会相对于导航线平移,所以可以采取将车体中心线与导航线的夹角作为控制变量的方法进行建模.

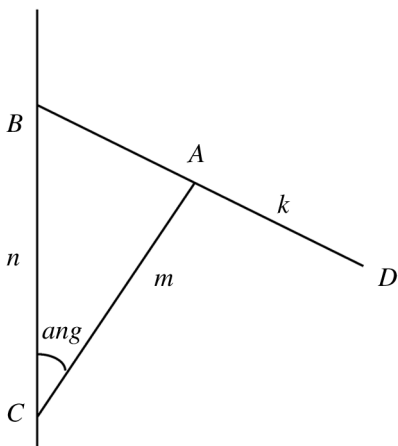


图2 智能车前进方向与路径示意

如图2所示,设 $BC$ 为道路中心的导航线, $BD$ 为车身前的横杆, $A$ 点为横杆中心在跑道平面内的垂直投影, $AC$ 为小车中心线在跑道平面内的垂直投影.若 $BC$ 与 $AC$ 的夹角记为 $ang$ , $BD$ 的长度记为 $L$ , $BC$ 的长度记为 $S$ , $AC$ 的长度记为 $M$ ,横杆距离跑道的高度记为 $H$ ,采集到的横杆两端的传感器的值分别为 $LeftValue$ 和 $RightValue$ ,当车体以 $C$ 点为固定点,顺时针旋转时, $ang > 0$ .记横杆左端端点位于导航线正上方的临界角度为

$$ang\_car = \tan^{-1}(L/(2 * M))$$

故可根据临界角度,分两种情况进行讨论如下:

当车体与道路中心的导航线偏角较小,即 $0 \leq ang < ang\_car$ 时,可由公式(6)以及立体几何相关知识分析得知:

$$LeftValue\_1 = \frac{K \times H \times \cos(ang)}{H^2 + (S \times \sin(ang\_car - ang))^2} \quad (7)$$

$$RightValue\_1 = \frac{K \times H \times \cos(ang)}{H^2 + (S \times \sin(ang\_car + ang))^2} \quad (8)$$

当车体与跑道中心漆包线偏角较大,即  $ang\_car \leq ang \leq \frac{\pi}{2}$  时,同理可知:

$$LeftValue\_2 = \frac{K \times H \times \cos(ang)}{H^2 + (S \times \sin(ang - ang\_car))^2} \quad (9)$$

$$RightValue\_2 = \frac{K \times H \times \cos(ang)}{H^2 + (S \times \sin(ang\_car + ang))^2} \quad (10)$$

故可以根据上述公式,将微处理器获得的相应传感器的值进行分析运算,即可得到车体与导航线的偏角大小,从而实现智能车的运动控制.

## 4 导航控制信号处理

为简单起见,本文只讨论利用导航信号控制舵机转角的信号处理方法,常用的算法如下:

### ① 算法一:两端传感器值作差

最为基础的一种处理方法就是将左右两端的传感器值直接相减. 设处理后的结果为  $Result$ , 则有

$$Result = LeftValue - RightValue \quad (11)$$

据此,本文进行了仿真分析,得到  $Result$  与智能车和导航线的夹角  $ang$  的关系如图 3 所示.

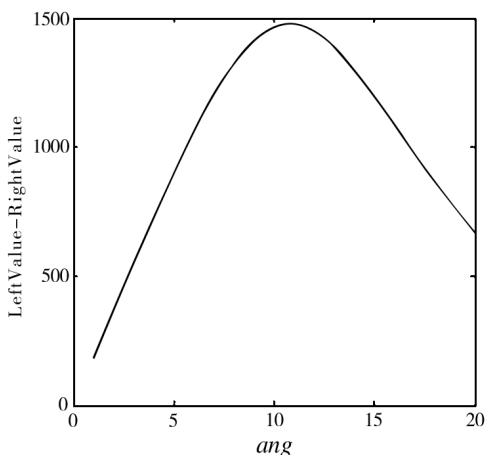


图3 算法一仿真结果

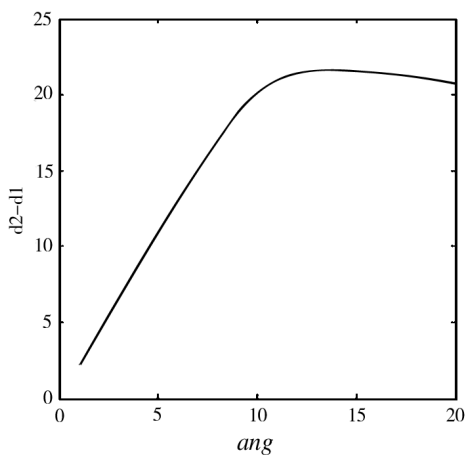


图4 算法二仿真结果

从图中可见,  $Result$  与智能车和导航线的夹角  $ang$  间是非线性的.

### ② 算法二:两端传感器值线性化后作差

当左右两边电感与导航线都成垂直关系时,可记左右两边电感与中心漆包线的水平距离为  $d1$  和  $d2$ .

则此时将  $LeftValue$  与  $RightValue$  进行线性化处理可得:

$$d1 = \sqrt{\frac{K \times H}{LeftValue}} - H \times H \quad (12)$$

$$d2 = \sqrt{\frac{K \times H}{RightValue}} - H \times H \quad (13)$$

即

$$Result = d2 - d1 \quad (14)$$

据此得到  $Result$  与  $ang$  的仿真关系如图 4 所示.

由上述仿真图像易知,上述常见的两种方法仅使  $Result$  和  $ang$  在小范围内成线性关系,为此,本文提

出了具有较好线性度的算法如下:

③ 本文提出算法:传感器值取倒数后作差

在前述条件不变的条件,先将两端传感器的值取倒数,然后再进行减法处理,即:

$$Result = 1/RightValue - 1/LeftValue$$

(15)

由此得到的 *Result* 与 *ang* 的关系仿真如图 5 示.

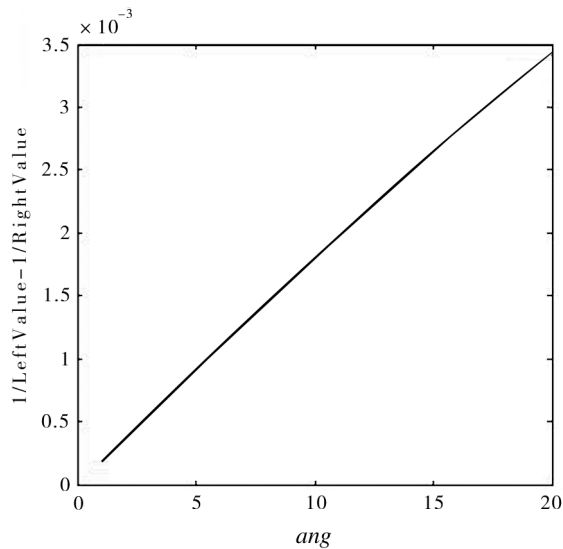


图 5 本文算法的仿真结果

当车体往左偏转,即 *ang* 的值为负值时,同理分析易知,在  $ang \leq 0$  时, *Result* 与 *ang* 同样满足类似的线性关系.

故可以得出,第三种算法的 *ang* 与 *Result* 有非常好的线性关系,可以减小控制器的执行时间和控制偏差,本文所进行的实验也充分证明了这一点.

5 结语

本文对磁导航定位的基本原理进行了分析,讨论了基于双电感传感器的控制信号计算方法,在分析常用的信号处理方式的基础上,提出了一个线性度及控制性能更为优越的定位信号处理方案. 经过适当变化,本文所提出的方法也可以简单推广到其它传感器方式中. 随着磁导航智能车应用的快速发展,特别是在智能交通系统中,如何设计性能更好的传感器及其处理方案,以实现智能车的精确定位控制,是下一步需要深入研究的课题.

参考文献:

[1]Stephan K D, Michael K, Michael M G, etc. Social implications of technology: the past, the present, and the future[C]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(Special Centennial Issue):1752 - 1781.

[2]McCarthy N. Autonomous systems: social, legal and ethical issues, technical report[R], ISBN: 1903496489, Royal Academy of Engineering, 2009.

[3]黄永安,熊蔡华,熊有伦. 智能机器人与应用的现状与发展趋势[J]. 国际学术动态,2009,(4):38 - 39.

[4]Sommer C, German R, Dressler F. Bidirectionally coupled network and road traffic simulation for improved IVC analysis [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011, 10(1):3 - 15.

[5]孙书咏. 电磁轨道智能车赛道检测方法研究[J]. 西安邮电学院学报, 2011, 16(6):39 - 41.

- [6]李仕伯,马旭,卓晴. 基于磁场检测的寻线小车传感器布局研究[J]. 电子产品世界, 2009, (12): 41 – 44.
- [7]尹继武. 磁导航智能车中的水平检测线圈特性分析[J]. 陕西理工学院学报:自然科学版, 2010, 26(4): 18 – 21.
- [8]张茜,杨旭海,薛令阳. 基于电磁传感器的智能车控制系统设计[J]. 电子元器件应用, 2012, 14(12): 12 – 16.
- [9]张利民, 张乐乐, 刘颖涛. 基于电磁传感器的智能车控制算法研究[J]. 工业控制计算机, 2012, 25(2): 59 – 60.
- [10]唐亚伟,秦玉平. 基于数据挖掘的分类算法综述[J]. 渤海大学学报:自然科学版, 2011, 32(4): 372 – 375.
- [11]秦玉平,王丽君,刘伟. 查找算法平均查找长度的计算方法[J]. 渤海大学学报:自然科学版, 2011, 32(4): 353 – 357.

## A novel computing method for localization of electromagnetic navigation intelligent vehicle

YU Han, SHEN Shi – bin \*

(School of Electrical & Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing Jiangshu, 210042)

**Abstract:** Focusing on the localization issue of electromagnetic navigation intelligent vehicle, a novel control signal processing algorithm with well linearity is proposed. Regarding on this subject, the position detection principle and method of intelligent vehicle which take the electromagnetic signal as the navigation mark has been discussed at first. And then, the modeling analysis to the control signal extraction method for the front vertical double sensor layout has been on. Taking the include angle, deduced by smart car forward direction and navigation line, as control variable, and the normal sensor signal procession method is analyzed finally. To verify the localization performance, the common localization method is also employed in the experiment. The experiment indicates that the proposed method can realize closed – loop control both motor motion and speed of the electromagnetic navigation smart vehicle.

**Key words:** electromagnetic navigation; intelligent vehicle; location algorithm

(上接第4页)

## The probability of ruin in double – type insurance generalized compound Poisson risk model

WANG Zhi – fu, TIAN Feng, JIN Shu, PAN Xu, WANG Yan

(College of Mathematics and Physics, Bohai University, Jinzhou 121001, China)

**Abstract:** The generalized compound Poisson risk model was generalized to double – type insurance compound Poisson risk model. Explicit expressions of ruin probability  $\psi(u)$  and security coefficient under the condition that the claims obey an exponential distribution or a combination of several exponential distribution and the initial capital is  $u$ .

**Key words:** ruin probability of generalized compound Poisson risk model; exponential distribution; combination of several exponential distribution