

# 一种基于电磁传感器的智能车循线算法<sup>①</sup>

林生生, 孟泽民

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

**摘 要:** 以飞思卡尔杯全国大学生智能车竞赛为背景, 研究了电磁式智能车如何从有限的道路信息中提取车身与实际跑道中心的偏差. 传统的计算方法是根据左右两个电感的电压值进行差值计算或者是归一化计算以此得到一个数值表示车体中心偏离跑道中心的程度. 但是这些算法计算出来偏差都存在不够线性的弊端, 对于需要依靠偏差来进行车体舵机转角和电机加减速的智能车控制系统来讲这是一个很大的问题. 本文提出一种新的计算方法, 从理论上通过 Maple 仿真证明了能够解决归一化算法和差值算法的弊端. 通过实验证实算法的可行性.

**关键词:** 电磁式智能车; 循线算法; Maple 仿真; 归一化算法; 电磁传感器

## Follow-line Algorithm for Smart Car Based on Electromagnetic Sensors

LIN Sheng-Sheng, MENG Ze-Min

(Information Engineering College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** The Freescale Cup National Undergraduate Smart Car Competition for the background, how electromagnetic smart car road information from the limited body to extract the deviation from the actual center of the runway. Traditional method is based around two inductive voltage value or the difference calculating a normalized value calculated in order to obtain a deviation from the track center of said body center level. However, these algorithms are present enough deviation calculated from linear defects, the need to rely on steering angle deviation for the body and the motor acceleration and deceleration of the intelligent vehicle control system is concerned this is a big problem. This paper presents a new method of calculating theoretically proved through simulation Maple normalization algorithm to solve the difference algorithm and drawbacks. By applying this algorithm to the actual competition, which validate the algorithm.

**Key words:** electromagnetic smart car; follow line algorithm; Maple simulation; normalization algorithm; electromagnetic sensor

本文是以飞思卡尔杯全国大学生智能汽车竞赛为背景. 电磁式智能车的比赛在 45cm 宽的赛道中心铺设直径 0.1~0.3mm 的导线, 导线通有 20kHz, 100mA 的交变电流. 电磁式智能车通过计算前方导线偏离车体中心的距离来做出相应的方向速度控制策略. 但是由于电磁传感器的局限性, 电磁式智能车不能做到还原赛道全貌从而得到完整的赛道信息. 在高速情况下如果系统计算出来的偏差与实际偏差出入很大那么赛车就很可能采取错误的控制策略而冲出赛道. 所以我们需要一种有效地计算方法能够在有限的已知条件里

提取道路信息.

孙书咏<sup>[6]</sup>提出的一种基于三电感的检测方法, 该方法能够做到正确循线, 但该方法需要添加额外的硬件开销来识别归一化衰减的部分而且该方法存在检测范围狭窄, 信号在零点附近容易产生抖动等缺点. 刘源<sup>[7]</sup>等提出的一种基于六个电感的检测方法同样也存在检测范围窄, 硬件开销大, 软件设计过于冗余的缺点. 本文提出一种新的循线算法, 该算法基于车体前方两个横向安放电感, 在硬件结构上做到最简化, 减轻了系统维护负担. 通过对传统的归一化算法的改

<sup>①</sup> 收稿时间:2013-07-25;收到修改稿时间:2013-08-19

进避免了以往程序设计上对特殊情况的过多考虑,使得整个软件系统做到最大限度精简。

## 1 检测原理概述

电磁智能车通过检测跑道中心的交流信号来计算车体和跑道中心的偏差。如图1所示,我们把两个水平电感固定在支架上伸出车体前方探测导线的走向。

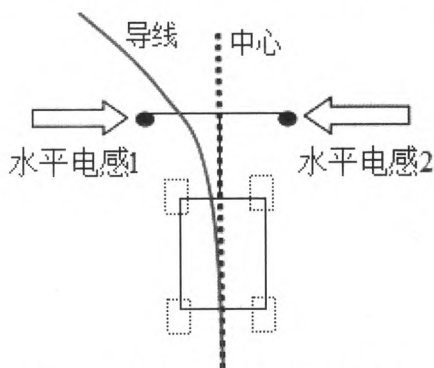


图1 车体与传感器布局示意图

忽略传感器自身产生的磁通量的影响,传感器中的磁通为:

$$\Phi = \frac{us \cos \theta}{\sqrt{2\pi r}} I \cos \omega t$$

据此我们根据法拉第电磁感应定理可以得出感应磁场变化的电感将产生电动势 E。

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} = \frac{Nus\omega \cos \theta}{\sqrt{2\pi r}} I \sin \omega t$$

上式推导出的感应电动势是理想电动势的一个方向的分量。在本文中假设垂直导线且平行地面的为 x 轴分量,即我们所需的电动势分量  $B_x$ 。如下图2所示。

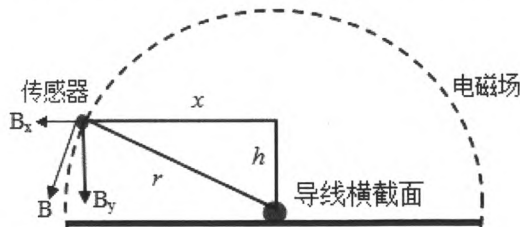


图2 电动势分量示意图

为了简化式子我们令:

$$K = \frac{Nus\omega}{\sqrt{2\pi r}} I \sin \omega t$$

则电动势 E 的表达式可以写为:

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

根据以上推导我们可知传感器的输出和  $\frac{h}{h^2 + x^2}$  成正比。

## 2 算法原理

### 2.1 归一化算法和差值算法

由此我们设水平电感1的感应电动势  $E_1 = h/(h^2 + x^2)$ , 水平电感2的感应电动势  $E_2 = h/(h^2 + (l-x)^2)$ , 利用数学工具 Maple 画出两个电感电势的差值。如下图3中的绿色部分所示。从图中我们可以直观地看出差值算法存在很严重的非线性问题,当车的中心偏离道路中心时,差值的趋势是先增大后急剧减小。所以差值算法不能反映车身相对道路中心真实的情况。因此,有人引入了归一化的方法。在两个电感电动势差值的基础上再除以两个电感的和值,即  $Y = (E_1 - E_2)/(E_1 + E_2)$ 。其中和值的趋势如下图3中黑色部分所示。对于归一化的结果我们同样进行仿真。

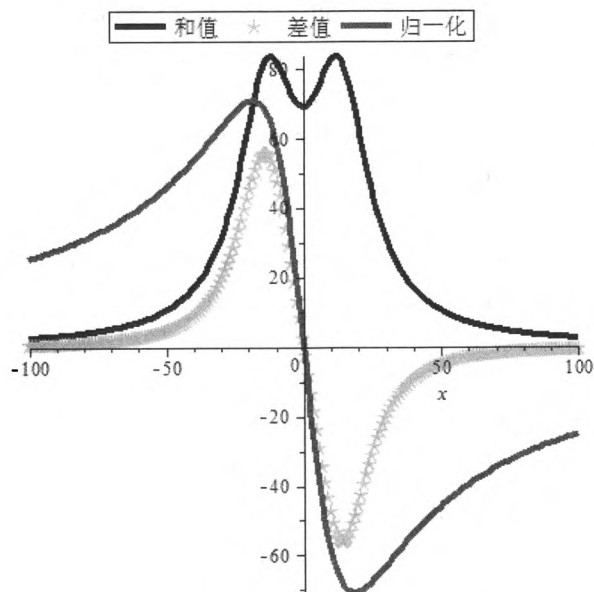


图3 两个电感电动势的差值和和值

图3的红色部分就是我们对归一化算法仿真的结果。从图中我们可以看出归一化后计算出来的偏差在一定程度上缓和了衰减。但是归一化后的偏差仍然存在非线性不单调的缺点,对于非单调的部分必须在后续的程序里进行单独的特殊处理,这样做会给系统的软件设计带来负担。所以,我们亟需一种输出结果单

调的计算方法.

## 2.2 归一化算法改进

事实上我们通过观察图 3 中差值与和值曲线的变化趋势不难发现他们都随着与导线的距离变大而衰减, 只是衰减的快慢不一样而已. 归一化的计算方法实际上是利用和值的衰减来补偿差值衰减的一种做法. 如果我们能找到另一种更有效的方法来补偿差值的衰减, 那么我们就有可能得到一个理想的计算结果.

按照这个思路我们先对归一化的式子进行求导. 为了直观的查看结果便于分析, 我们对求导结果进行绘图, 如图 4 所示. 图中的黑色部分就是归一化算法的求导结果. 很明显归一化算法的求导结果有正有负, 所以归一化的计算结果是不单调的, 但是通过观察我们发现如果我们把和项的幂升高, 求导结果就有可能符号一致. 如图 4 中红色曲线所示, 当幂升高到 1.5 次的时候求导结果在时域上都小于等于零.

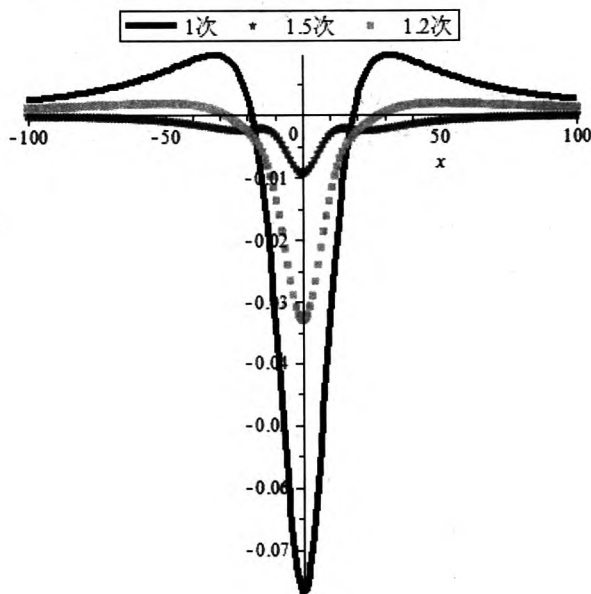


图 4 对应不同次数的求导结果

实际上只要和项的幂大于 1.5 次以上求导的结果符号都是一致的, 以此计算出来的偏差的确是单调的, 下面我们对偏差与距离的关系进行进一步的仿真. 仿真结果如图 5 所示. 从仿真结果来看用新的计算方法计算出来的偏差随距离的变化基本上呈线性变化, 这给后续的控制算法的编写提供了很大的便利.

虽然从理论上我们已得出结论: 提高和项的幂可以使得计算结果更加单调更加线性. 但这不代表着和

项的幂越大实际效果越好. 因为从建模的结果上我们看到和项的幂越大计算结果随距离的变化越缓慢.

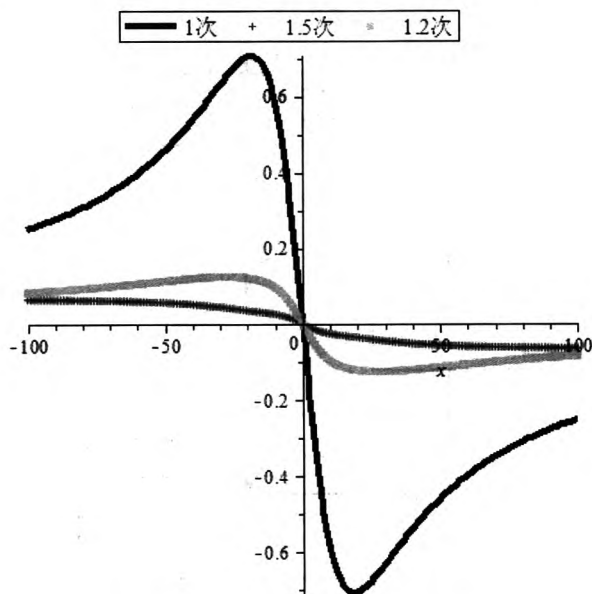


图 5 对应不同次数求得的偏差

我们可以假设不同算法的检测范围都是 20cm, 归一化的计算结果范围在  $(-0.6, 0.6)$ , 而加大和项的幂至 1.6 次后的计算结果范围只有  $(-0.2, 0.2)$ . 这就意味着检测的精度下降了. 而在控制目标高速移动的情况下算法的计算结果要尽可能的精细. 所以我们可以得出推论: 保证计算结果单调的最小次幂就是最佳的次数.

## 3 算法概述

算法核心流程如下图 6 所示,  $Y$  表示计算结果,  $far\_di$  是符号标志位为全局变量,  $powf(float X, float A)$  函数返回  $X^A$ . 通过改变  $A$  的大小就可以改变  $X$  的幂. 首先, 采集左右传感器电压值  $E1$  和  $E2$ , 计算  $far\_sum=E1+E2$ ,  $far\_dif=E1-E2$ . 得到  $far\_sum$  后判断其大小是否小于阈值  $a$ , 如果  $far\_sum$  小于  $a$  我们称其为丢线, 之后进行丢线处理. 要进行丢线处理的原因是因为在实际工程运用中我们要考虑当两个传感器距离导线很远的时候输出的电压值不可靠, 甚至出现错误. 比如可能会出现离导线比较远的电感输出的电压比较大, 导致计算结果符号相反. 为了避免出现错误, 所以采取丢线处理, 在  $far\_sum$  小于某一个阈值的时候直接输出定值. 符号保持丢线前的符号. 如果和值大于阈值那就根据公式进行正常的计算, 公式如下:

输出 =  $\frac{\text{差值的绝对值}}{\text{和值的1.5次方}} \times \text{方向标志位} \times \text{放大倍数}$

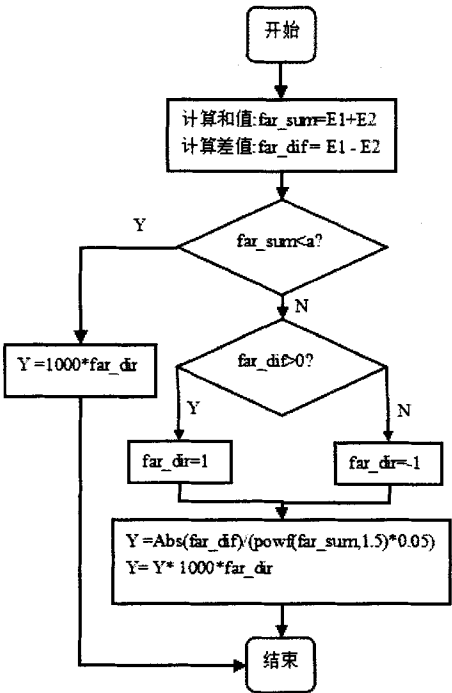


图 6 算法流程图

4 实验验证及结果分析

为了验证算法的可行性与优越性，我们分别进行了静态实验和动态实验实验。静态实验的目的是对比不同算法和方案的检测范围。动态实验最后的评价指标有两个，一是出界次数，即两个车轮同时出界的次数。二是在小车跑完全程的基础上计算出来的平均速度。动态试验的目的是综合评价方案的稳定性和有效性。

4.1 静态实验

静态实验的结果如表一所示，以两个电感为基础的改进型算法虽然在检测精度方面有所下降但在检测范围方面有较大的优势，对于整个系统来讲牺牲一小部分精度是可取的。

表 1 不同方案对应的静态实验结果

算法方案类别	检测范围/cm	检测精度/mm
两电感归一化算法	20	2
三电感归一化算法	30	2
六电感分段拟合算法	20	1
两电感改进归一化算法	30	3

4.2 动态实验

动态实验的结果如表 2 所示，和前三中方案相比改进后的算法不仅在速度方面更快而且更稳定。

表 2 不同方案对应的动态实验结果

算法方案类别	出界次数	平均速度/m/s
两电感归一化算法	2	2.35
三电感归一化算法	0	2.44
六电感分段拟合算法	1	2.18
两电感改进归一化算法	0	2.66

5 结语

针对以往电磁式智能车循线算法存在检测范围不够广的弊端,本文提出一种新型的算法使计算结果更加线性单调。采用新型的算法后系统的稳定性和有效性都有提升。

参考文献

1 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.电子产品世界,2009,12:41-44.

2 “飞思卡尔”竞赛秘书处.电磁组竞赛车模路经检测设计参考方案.2010.

3 邵贝贝.单片机嵌入式应用的在线开发方法.清华大学出版社,2004.

4 学做智能车:挑战“飞思卡尔”杯.北京:航空航天大学出版社,2007.

5 谭小刚,张卓然,杜鹏浩.基于电磁传感器的智能小车设计.湖北汽车工业学院学报,2012,26(3):73-76.

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

7 刘源,张文斌,刘雪扬,等.电磁导航智能车检测和控制系统的研究.传感器与微系统,2012,31(4):63-66.