

磁导航智能车路径信息采集系统的设计与实现

王元哲^{1,2}, 谈英姿¹

(1.东南大学 自动化学院, 江苏 南京 210096;

2.北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191)

摘要: 针对飞思卡尔杯全国大学生智能汽车竞赛中的磁导航智能车, 研制了路径信息采集系统。硬件上提出了利用仪表用差动放大电路对信号进行放大处理的方法, 同时采用加速度传感器对车体姿态进行检测; 软件上通过对传感器输出量的归一化处理并结合曲线拟合, 提出了基于最小二乘法的有限数据量曲线拟合算法。该算法兼顾了处理器运算能力与系统控制的实时性, 以实现快速对车体位置的准确判断。测试结果表明该方案是有效的。

关键词: 差动放大电路; 归一化; 曲线拟合算法; 最小二乘法; 磁导航; 智能车

中图分类号: TP274+.5

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)01-0019-04

Design and realization of the path information collection system based on the magnetic navigation smartcar

Wang Yuanzhe^{1,2}, Tan Yingzi¹

(1.School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2.School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: Based on the magnetic navigation smartcar in the national college smartcar competition called the Freescale cup, the path information collection system is developed. In terms of hardware, a method uses the differential amplifier applied in meter to enlarge the signal, at the same time, uses the acceleration sensor to detect the attitude of the smartcar. In terms of software, through normalizing the sensor output and combined with curve fitting, a curve fitting algorithm based on the least square method using a limited amount of data is proposed and this algorithm gives consideration to both processing ability of the processor and the real-time ability of the system. Thus achieve the goal to judge the extract location of smartcar. The actual test of the magnetic navigation smartcar proves the program is effective.

Key words: differential amplifier; normalize; curve fit algorithm; least square method; magnetic navigation; smartcar

磁导航技术在智能交通领域中是一项非常有前景的技术, 以国家智能交通系统工程技术研究中心(ITSC)的研究成果为例, 其采用磁性参考/感知原理, 即以车道中心线上布设的离散磁道钉为车道参考标记, 通过车载磁传感器探测到磁信号而产生感应电压, 来判断车辆当前的位置情况。这是采用永磁体作为参照物的实例^[1-2]。

鉴于磁导航技术具有的实用价值, 飞思卡尔杯全国大学生智能汽车竞赛在原有的光电组与摄像头组的比赛项目上, 于2010年新增了通过感应赛道中心导线产生的交变磁场进行路径检测的电磁组^[3]。

根据电磁组的路径信息采集原理, 可以得出磁场传感器的基本设计方法和路径信息提取算法的基本要求。对于电磁组赛车, 交变磁场分布范围广泛, 传感器得到的数据是一系列有分布规律的离散点。可以根据离散点的轮廓、实际经验和误差要求选择一条曲线来近似逼近磁场在传感器处的分布情况。另外根据竞赛规则, 处理器必须采用飞思卡尔公司的HCS12系列单片机, 由于其数据处理能力不足, 必须选用一种数据处理量较小的算法来实现离散点的曲线拟合, 以保证控制的实时性。

以设计合理的路径信息采集系统来对车体位置进行准确判断, 同时选用一种路径信息采集算法从传感器

信号中准确提取出赛道信息是本文研究的重点。

1 磁导航智能车系统

磁导航智能车通过感应外界电磁环境对路径信息进行准确判断,从而通过舵机和电机对车体方向和速度进行控制,达到自主寻迹的目的。系统主要分为核心控制模块、路径信息采集模块、电机驱动模块和电源模块,其原理框图如图1所示。

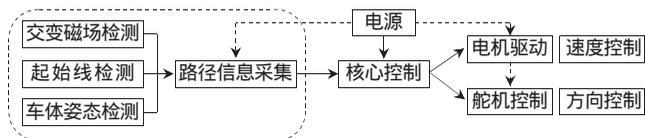


图1 磁导航智能车原理框图

本系统的磁场环境为埋在跑道中通用的 20 kHz、100 mA 交变电流的导线产生的交变磁场。利用交变磁场进行磁导航的技术在国内应用的实例较少,其中清华大学根据竞赛规则设计了一种电磁组赛车,该赛车使用两个传感器采集车体两边的磁场信号,以控制小车的走向。该设计方案是用运放、三极管等一些基本电子元件对车体进行粗略控制。如果采用更多的传感器、更精确的信号处理方法和单片机,再配合一定的算法则可以对道路的形状进行准确判断、优化控制策略和改善控制效果^[4]。

2 路径信息采集系统的硬件设计

路径信息采集系统通过对路径的检测来获取路径信息,从而对车体的方向和速度进行精确控制。该系统主要包括交变磁场检测、起始线检测和车体姿态检测三个部分,其原理如图1中虚线框所示。

2.1 交变磁场检测

交变磁场检测主要是对特定的交变磁场环境进行检测。本文选用 LC 选频振荡电路检测交变磁场,然后通过放大电路的放大和检波电路的检波处理,得到与振荡信号峰峰值成正比的直流电平,以便于 A/D 转换。其原理框图如图2所示。



图2 交变磁场检测原理框图

(1)选频部分

采用 LC 振荡电路的原理进行设计。根据 LC 振荡电路谐振频率计算公式和市场上电感电容型号,选用一定量值的电感和电容。电感选型时要注意其 Q 值和内阻, Q 值会影响其谐振增益和交变磁场的检测。

(2)放大部分

信号的放大有多种方法:基本放大电路、带电压偏置的放大电路、运算放大电路等。对于基本放大电路信号,其静态工作点易受温度变化的影响,输出信号可能会出现失真^[5]。这就需要带电压偏置的放大电路,偏置

电路给三极管提供合适的工作点,保证三极管在放大交流信号时工作在放大区,同时能够保证静态工作点的稳定,使工作点少受或基本上不受环境温度的影响。但是由于带电压偏置的放大电路的三极管静态工作点的调节较为繁琐,且在多路信号需放大的情况下电路设计较为复杂。因此,从对信号进行精确放大的角度考虑,本文选用仪表用差动放大电路对信号进行放大处理。其电路原理图如图3所示。

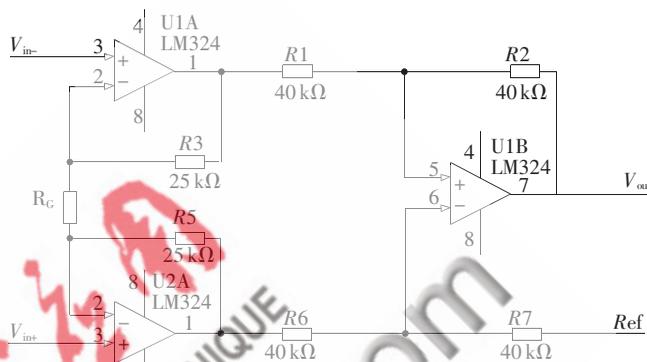


图3 差动放大电路图

该放大电路输出电压与输入电压的关系如下:

$$V_{out} = G[(V_{in+}) - (V_{in-})] \quad (1)$$

$$\text{式中, } G = 1 + \frac{50\text{k}\Omega}{R_c}$$

采用这种由三运放组成的仪表用差动放大电路可以提高输入电阻,提高共模抑制比,运放 U1A、U2A 性能相近,简化了温度补偿电路。该放大电路具有低失调电压、低漂移、低输入偏置电流、高共模抑制比等特点^[6]。

(3)检波部分

检波部分选用倍压整流检波电路的设计方案。该电路可以获得正比于交流电压信号峰峰值的直流信号,便于 A/D 转换。

2.2 起始线检测

根据竞赛规则,起始线处放置永磁体作为标志。起始线检测即是对永磁体检测。本文采用霍尔元件方案,当垂直方向上穿过霍尔元件的磁场强度方向改变时,霍尔元件的输出端将产生电平跳变,通过检测该电平跳变来检测起始线。

2.3 车体姿态检测

对于车体姿态检测,本文采用 Freescale 公司量程为 $\pm 1.5\text{g}$ 的低重力加速度传感器 MMA7361L,用于测量车体相对于水平面的倾斜程度。

MMA7361L 是一款低功耗、低重力三轴加速度传感器,具有信号调理、稳定补偿等功能^[7]。将其固定在车身上可以实时检测车体相对于地面的倾斜角度,主要用在车辆上坡和下坡的判断。

3 路径信息采集系统的软件设计

本设计将 7 个传感器水平并排放置,距地面高度约

为 5 cm。假设线圈在水平方向上与导线距离为 r ，线圈高度为 h ，如图 4 所示。

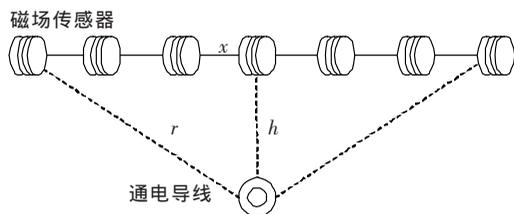


图 4 磁场传感器排布

根据安培环路定理，距导线 r 处的磁感应强度反比于距离 r 。而线圈的轴线是水平的，感应电动势反映了磁场的水平分量，因此感应电动势：

$$E \propto \cos \theta \times \frac{1}{r} = \frac{h}{r} \times \frac{1}{r} = \frac{h}{x^2 + h^2} \quad (2)$$

令 $h=5$ cm, $x \in (-15, 15)$ cm，则线圈感应电动势 E 随线圈水平位置 x 的变化情况如图 5 所示，其中纵坐标为 E/k (k 为常数)。靠近导线的位置，图像较陡，远离导线的位置，图像平缓。

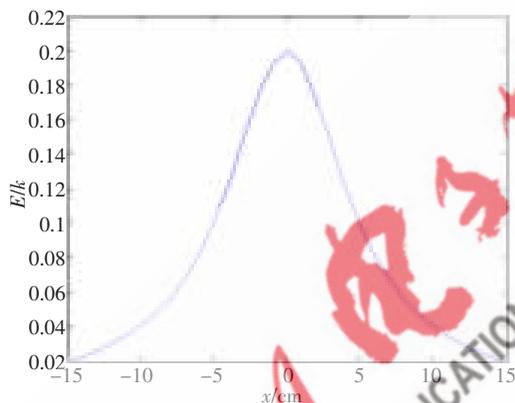


图 5 传感器输出信号分布图

路径信息的采集首先要确保传感器输出信号的准确性，准确性的确保应从相同条件下各个传感器输出信号的数值差异和信号数值分布两个方面来判断。本文在软件上主要采用归一化算法和曲线拟合算法来确保路径信息采集的准确性。

3.1 归一化算法

该算法是将所有传感器输出信号变换为无量纲的量，屏蔽各传感器在硬件和物理特性上的差异。具体算法流程是：首先测量每个传感器输出信号的最大值 (Max_1 、 Max_2 、 Max_3 、 Max_4 、 Max_5 、 Max_6 、 Max_7) 作为基准量，在赛车运行过程中，将 7 个传感器采集到的数据分别除以 7 个基准量，即可得到传感器归一化后的数值，该数值可用于赛道类型判断。

3.2 曲线拟合算法

从控制的需要，只需提取出导线所处的位置，也就是图像中峰值点的横坐标。因此只要拟合出一条曲线，使该曲线峰值点横坐标尽可能地逼近导线所处位置的

横坐标即可。本文采用最小二乘法进行曲线拟合。

取 7 组数据中最大的前 5 组数据进行二次曲线拟合，得到二次曲线方程为：

$$s(x) = \alpha_2 x^2 + \alpha_1 x + \alpha_0 \quad (3)$$

利用最小二乘法确定公式中的待定系数，可得：

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=0}^4 1 & \sum_{i=0}^4 x_i & \sum_{i=0}^4 x_i^2 \\ \sum_{i=0}^4 x_i & \sum_{i=0}^4 x_i^2 & \sum_{i=0}^4 x_i^3 \\ \sum_{i=0}^4 x_i^2 & \sum_{i=0}^4 x_i^3 & \sum_{i=0}^4 x_i^4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=0}^4 y_i \\ \sum_{i=0}^4 y_i x_i \\ \sum_{i=0}^4 y_i x_i^2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

然后根据式(4)求出 α_1 、 α_2 ，进而求出峰值点横坐标

$\frac{-\alpha_1}{2\alpha_2}$ ，即为导线处横坐标。而相对位置就是车体中心位置与导线位置之间的偏差，可作为闭环控制的偏差量。

采用最小二乘法对数据进行二次曲线拟合有如下优点：

(1)可以满足智能车控制的实时性需要。进行二次曲线拟合的计算量相比于其他曲线拟合方法较小，同时二次曲线拟合的公式可以事先求得，大大减少了运算量。

(2)对导线位置判断较为准确。虽然传感器信号的实际分布情况不是二次函数的形式，但是通过二次曲线拟合后得到的峰值点横坐标与实际峰值点横坐标接近。因此通过该算法可准确地提取出导线的位置。

4 路径信息采集系统的测试结果与分析

本文采用如图 4 所示的 7 个传感器一字型排列的方案，测试过程中同时对 2 个传感器和 13 个传感器一字排布的方案进行了测试，并对三种排布方案进行了优缺点的分析，其结果如表 1 所示。综合考虑后，选用 7 个传感器的方案最合适。

表 1 传感器排布方案比较

传感器数目	优点	缺点
2	硬件电路简单，控制方便	粗略控制，无法获得导线位置
7	传感器干扰较小，信息采集较准确	硬件设计较复杂
13	可提取出导线位置	硬件电路复杂，相邻传感器距离较近，相互干扰较大

小车运行过程中，使用基于 NRF24L01 的无线模块和基于 LabVIEW 的上位机对设计方案进行在线调试。首先根据归一化算法，测得各传感器输出信号的最大值，即各传感器放置在导线正上方一定高度时的输出量作为基准量，各传感器的输出信号除以基准量作为归一化后的数据进行曲线拟合。为方便运算，本文将归一化后的数据乘以 126 作为最终数据。表 2 为赛车运行到某一弯道处时，各传感器输出量与归一化后的数据量之间的关系，同时设定各个传感器的横坐标。通过上位机观

测到的各传感器输出量如图 6 所示,各传感器输出量归一化后的数据量如图 7 所示。利用最小二乘法求得峰值点坐标值为 1.516(保留小数点后三位小数)。

表 2 归一化算法实际测试结果

传感器	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7
基准量	224	242	200	232	164	236	207
采样值	16	46	73	160	144	181	105
归一化	9	24	46	87	111	97	64
横坐标	0	1	2	3	4	5	6

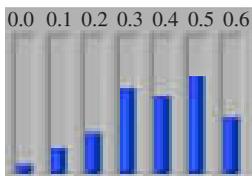


图 6 各传感器输出量

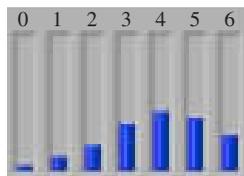


图 7 各传感器归一化后数据量

未处理之前,各传感器分布并无一定规律,而归一化处理后,各传感器数据按一定规律分布。曲线拟合算法可以准确提取出峰值点横坐标,这样智能车方向闭环控制中的位置反馈由一系列离散量变成连续量,反馈信息更加精确。

对于车体姿态的检测,车体在水平位置、上坡和下坡时加速度传感器输出信号分别如图 8、图 9、图 10 所示。根据本文中加速度传感器的放置位置,车体的前后倾斜程度影响传感器 X 方向的输出量,因此检测加速度传感器 X 方向上的输出量变化即可判断车体当前倾斜程度,进而改变控制策略。

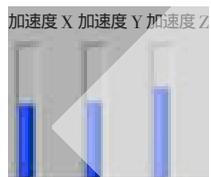


图 8 水平位置加速度传感器输出

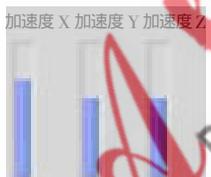


图 9 上坡时加速度传感器输出



图 10 下坡时加速度传感器输出

本文介绍了磁导航智能车路径信息采集系统的设计方案,从硬件和软件的角度对设计过程进行了较为详细的阐述。硬件上,采用仪表用差动放大电路对采集到

的较弱的信号进行精确放大处理,采用加速度传感器对车体姿态做出判断;软件上,采用归一化算法和曲线拟合算法对传感器采集到的信号进行进一步处理,从而提取出车体当前的准确位置。测试结果证明,本方案是可行有效的。但该设计方案还有一些可以改进之处,例如在对传感器布局时,可以将电感线圈按照两两垂直的方向排列,这样可以分别求得某一点处三个方向上的磁场分量;在软件的算法上也可以引入对赛道类型的预判策略。这些都是进一步研究的方向。

参考文献

- [1] 李斌,王春燕.中国智能公路磁诱导技术研究进展[J].公路交通科技,2004(11):66-69.
- [2] 徐海贵,王春香,杨汝清,等.磁传感系统在室外移动机器人导航中的研究[J].机器人,2007,29(1):61-66.
- [3] 飞思卡尔杯全国大学生智能车竞赛秘书处.第五届全国大学生“飞思卡尔”杯智能汽车竞赛比赛规则与赛场纪律 [EB/OL]. <http://www.smartcar.au.tsinghua.edu.cn/web/rule.html>; 2009.
- [4] 张昊颀,马旭,卓晴.基于电磁场检测的寻线智能车设计[J].电子产品世界,2009(11):48-50.
- [5] 刘京南,王成华.电子电路基础[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [6] Texas Instruments. Precision, low power instrumentation amplifiers [EB/OL]. <http://focus.ti.com/general/docs/lit/getliterature.tsp?genericPartNumber=ina128&fileType=pdf>, 2009.
- [7] Freescale Semiconductor Inc. MMA7361L Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer [EB/OL]. <http://www.freescale.com.cn/products/sensors/MMA7361L.asp>, 2008.

(收稿日期:2010-08-01)

作者简介:

王元哲,男,1990年生,学士,主要研究方向:嵌入式技术,运动控制。

谈英姿,女,1969年生,副教授,主要研究方向:人工免疫网络优化,智能系统建模仿真与控制,智能机器人,工业控制网络等。