

基于电磁传感器的智能车自主寻迹系统设计

师 克, 王洪军, 李永科

(军械工程学院光学与电子工程系, 石家庄 050003)

摘 要: 第五届全国大学生“飞思卡尔”杯智能竞速车竞赛增加了基于电磁信号的智能车路径识别方式。文中主要介绍基于电磁检测传感器的能够自主识别道路的智能车, 使其能够按照沿通有频率为 20kHz, 幅度为 100mA 交流电的导引线预先规定的路线行进。

关键词: 飞思卡尔; 电磁感应定律; LC 选频放大电路; 二极管检波

Design of system of independent search of track based on electromagnetic sensors smartcar

SHI Ke, WANG Hong-jun, LI Yong-ke

(Department of Optical and Electronic Engineering, Ordnance Engineering

College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: The way that recognise the path used electromagnetic signal is added in the fifth competition of freescale. One smartcar who can independently recognise the path by the electromagnetic sensors is described in this paper. This car can run along the wire which have alternating current of 20kHz and 100mA.

Key words: freescale; law of electromagnetic induction; LC selective frequency amplifier circuit; diode detector

0 引言

“飞思卡尔”智能竞速车竞赛是教育部为了加强大学生能力和团队精神的培养而倡导举办的全国大学生科技竞赛。

以智能汽车为研究背景的科技创意性制作, 是一种具有探索性的工程实践活动。

1 路径识别系统的基本原理

路径识别系统包括硬件和软件两部分, 硬件用于道路信号的采集、滤波和放大。软件系统用于对采集回来的模拟信号进行分析, 从而判断出智能车所处赛道信息, 并将判断的结果作为舵机和驱动电机的控制基础。

智能车整体方框图如图 1 所示。

路径识别系统检测道路信息, 检测到的信息送至单片机分析, 判断出智能车现在所处的道路状况, 为智能车的控制提供数据。

1.1 路径识别系统的检测方案

1.1.1 导线周围的电磁场

智能车竞赛使用路径导航的交流电频率为 20kHz, 产生甚低频电磁波。甚低频频率为 3kHz ~ 30kHz, 波长为 10km ~ 100km。

导线周围的电场和磁场, 按照一定规律分布, 通过检测相应的电磁场的强度和方向可以获得导线相对于磁场导线的空间位置。

由毕奥-萨伐尔定律知: 通有稳恒电流 I , 长度为 l 的直导线周围会产生磁场, 距离导线距离为 r 处 P 点的磁感应强度为式(1)-(2)。

$$B = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{\mu_0 I}{4\pi r} \sin\theta d\theta$$

$$(\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{mA}^{-1}) \quad (1)$$

收稿日期: 2012-05-10

作者简介: 师克(1990-)男, 本科, 研究方向为自动化。

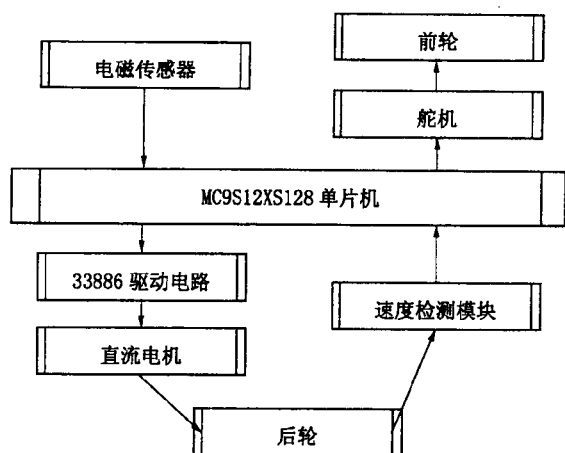


图1 智能车整体方框图

由此得：

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \quad (2)$$

对于无限长直流电来说，式(1)中 $\theta_1 = 0, \theta_2 = \pi$ ，则有

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} \quad (3)$$

应磁场的分布是以导线为轴的一系列同心圆。圆上的磁场强度大小相同，随着距离导线的半径 r 增加成反比下降。

1.1.2 磁场检测方法

实际生产生活中，有很多测量磁场的方法，选取最为传统的电磁感应线圈的方案。

通电导线周围的磁场是一个矢量场，如果在通电直导线两边的周围竖直放置两个轴线相互垂直的线圈，并且位于与导线相互垂直的平面内，则可以感应磁场向量的两个垂直分量，进而可以获得磁场的强度和方向。

导线中的电流按一定规律变化时，导线周围的磁场也将发生变化，则线圈中将感应出一定的电动势。根据法拉第定律，线圈磁场传感器的内部感应电动势 E 与磁场 $B(t)$ 、电磁线圈的圈数 N 、截面积 A 的关系有：

$$E = - \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (4)$$

感应电动势的方向可以用楞次定律来确定。

由于本设计中导线中通过的电流频率较低，为20kHz，且线圈较小，设线圈中心到导线的距离为 r ，认为小范围内磁场分布是均匀的。则线圈中感应电动势可近似为：

$$E = \frac{d\phi(t)}{dt} \approx \frac{k}{r} \frac{dI}{dt} \approx \frac{k}{r} \quad (5)$$

即线圈中感应电动势的大小正比于电流的变化

率，反比于线圈中心到导线的距离。其中常量 K 为与线圈摆放方法、线圈面积和一些物理常量有关的一个量，具体的感应电动势常量须实际测定来确定。通过以上的计算可以得出，感应电动势与 r 的关系，由此即可得磁场检测方案。

1.1.3 双水平线圈检测方案

不同的线圈轴线摆放方向，可以感应不同的磁场分量。先讨论一种最简单的线圈设置方案：双水平线圈检测方案。便于讨论，在跑道上建立如下的坐标系：假设沿着跑道前进的方向为 z 轴，垂直跑道往上为 y 轴，在跑道平面内垂直于跑道中心线为 x 轴。

设在车前方安装两个水平的线圈。这两个线圈的间隔为 L ，线圈的高度为 h 。左边的线圈的坐标为 (x, h, z) ，右边的线圈的位置 $(x-l, h, z)$ 。由于磁场分布是以 z 轴为中心的同心圆，所以在计算磁场强度的时候仅仅考虑坐标 (x, y) 。

由于线圈的轴线是水平的，所以感应电动势反映了磁场的水平分量。根据公式(5)可以知道感应电动势大小与 $\frac{h}{h^2 + x^2}$ 成正比。

假设 $h = 5\text{cm}$ ， $x \in (15, +15)\text{cm}$ ，感应电动势 $E = \frac{h}{h^2 + x^2}$ 随着线圈水平位置 x 的变化。

如果只使用一个线圈，感应电动势 E 是位置 x 的偶函数，只能反映到水平位置的绝对值 x 的大小，无法分辨左右。为此，可以使用相距长度为 L 的两个感应线圈，计算两个线圈感应电动势的差。

$$E = E_1 + E_2 = \frac{h}{h^2 + x^2} - \frac{h}{h^2 + (x-1)^2} \quad (6)$$

下面假设 $L = 30\text{cm}$ ，计算两个线圈电动势差值 E_d 如图2所示。

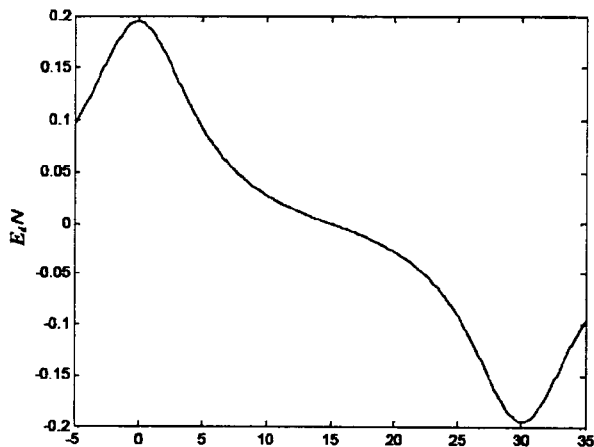


图2 感应电动势差值 E_d 与距离 x 之间的函数

从图2可以看出,当左边线圈的位置 $x = 15\text{cm}$ 时,两个线圈的中心恰好处于跑道中央,感应电动势差值 E_d 为0。当线圈往左偏移, $x \in (15, 30)$,感应电动势差值小于零;反之,线圈右移, $x \in (0, 15)$,感应电动势大于零。因此在位移0~30cm之间,电动势差值 E_d 与位移 x 是一个单调函数。可以使用这个量对于小车转向进行负反馈控制,从而保证两个线圈的中心位置跟踪赛道的中心线。通过改变线圈高度 h ,线圈之间距离 L 可以调整位置检测范围以及感应电动势的大小。

1.2 传感器选择

根据法拉第电磁感应定律,通过线圈的磁通量的变化将导致线圈产生电动势,在磁场区中放置变线圈可检测交变磁场。相比于磁通门、霍尔传感器和磁阻传感器,线圈传感器具有尺寸规格小,重量轻,价格低,分辨率高,便于调试和安装等优点,采用线圈传感器。

2 路径识别系统的硬件设计

2.1 硬件电路的设计方案

智能车路径识别系统的硬件设计原理就是根据电磁感应定律,对导线周围的电磁场进行分析,采用最优的信号采集策略,并对采集到的信号进行放大、滤波等处理。

2.1.1 信号选频放大电路设计

图3所示为线圈传感器信号采集电路,如图3中I部分所示。

使用电感线圈可以对其周围的交变磁场感应出响应感应电动势。这个感应电动势信号具有信号弱、噪声多等特点,其感应电压只有几十个毫伏。在检测幅值之前必须进行有效的放大,放大倍数一般要大于100倍。而且在一般环境下,周围存在着不同来源、不同变化频率的磁场。

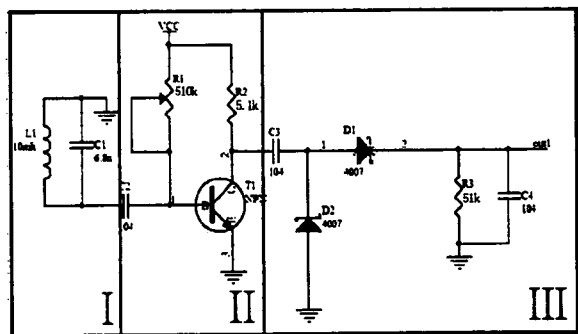


图3 线圈传感器信号采集电路

使用LC串并联电路来实现选频电路(带通电路)。比赛选择20kHz的交变磁场作为路径导航信号,在频谱上可以有效地避开周围其它磁场的干扰,

因此信号放大需要进行选频放大,使得20kHz的信号能够有效的放大,并且去除其它干扰信号的影响。

2.1.2 磁场检波电路设计

放大后的感应电动势的幅值 E 可以有多种检测方法,最简单的方法就是使用二极管检波电路将交变的电压信号检波形成直流信号,然后再通过单片机的A/D转换电路进行采集,获得正比于感应电压幅值的数值。如图中II部分所示。

图中给出了倍压检波电路可以获得正比于交流电压信号峰峰值的直流信号。为获得更大的动态范围,倍压检波电路中的二极管用肖特基二极管。这类二极管开启电压在0.1V~0.3V,小于普通的硅二极管(0.7V),可以增加输出信号的动态范围和增加整体电路的灵敏度。上述电路中, E 是感应线圈中的感应电动势, L 是感应线圈的电感量, R_0 是电感的内阻, C 是并联谐振电容。上述电路谐振频率为:
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$
已知感应电动势的频率 $f_0 = 20\text{kHz}$,

感应线圈电感为 $L = 10\text{mH}$,可以计算出谐振电容的容量为 $C = 6.3 \times 10^{-3}$ 。工程实践中,实际电路选用6.8nF的电容作为谐振电容。为了验证RLC选频电路的效果,对比了在有和没有谐振电容两种情况下的电感输出的感应电压。在距离导线50mm的上方放置垂直于导线的10mH电感,使用示波器测量输出电压波形。

观察得出,增加有谐振电容后,感应线圈两端输出感应电压信号不仅幅度增加了,其它干扰信号也很小。这样无论导线中的电流波形是否为正弦波,由于本身增加了谐振电容,所以除了基波信号之外的高次谐波均被滤波除掉,只有基波20kHz信号能够发生谐振,输出总是20kHz正弦波。

为能够更加准确测量感应电容式的电压,还需要将上述感应电压进一步放大,一般情况下将电压峰峰值放大到1V~5V左右,就可以进行幅度检测,所以需要放大电路具有100倍左右的电压增益。只用一阶共射三极管放大电路就可以满足要求,如图3中I、II部分所示。当然,也可以选用运算放大器进行电压放大。但是需要选择单电源,低噪音,动态范围大,高速运放不太容易,所以不太推荐使用运算放大器进行信号放大。

2.2 硬件调试

实际上,上述电路在增加了倍压检波电路后,可以得到与交流信号峰峰值成正比的直流信号。电路的焊接完毕后,调整R1电位器,使得三极管集电极电压处于2.5V左右即可。

在上面电路中输出部分 C_4, R_3 是起到检波滤波作用的, 它们的数值乘积对应滤波时间常数, 增加滤波时间常数可以减少输出信号的波纹, 提高信号的信噪比, 但是会使检波电路响应速度变慢。如果滤波时间常数减少, 虽然会提高电路的响应速度, 但是输出信号的波纹会增加。因此, 需要合理选择滤波时间常数。经过上述对硬件电路的调试, 基本可以得到可靠的传感器检测数据。

2.3 传感器排布方案设计

为了增加道路的检测精度, 须对传感器进行合理的排布。①单纯一字型布局电感器参数线性度很好, 但在转弯时会有角度而造成感应值的减小。②八字形传感器。在直道易抖动。③混合型传感器排列方式既可以在直道上保持良好的稳定性, 也可以增加弯道的预测能力。进弯道时角度和位置同时起作用, 利于转弯, 效果明显。

2.4 识别起跑线

以上的电磁传感器只能识别特定信号的电磁信号, 即通有频率为 20kHz, 幅度为 100mA 交流电信号, 而起跑线是靠两片永磁铁标定识别的, 所以选择干簧管检测起跑线比较恰当。干簧管的通断产生中断信号, 从而判断出起点位置。

3 路径识别系统的软件设计

软件系统主要包括单片机采样系统模块和路径识别控制模块。虽然历年以来的赛道都各不相同, 但可以粗略地将赛道分几个类型: 直道、弯道、小 s 弯道、大 s 弯道和交叉弯。

为了让智能车可以将赛道区分开来, 在不同的地方应用不同的策略, 将其流程规划如图 4 所示。

4 系统的整体调试

调试是一个功能实现的过程, 是一个逐步把理论实体化的过程。在整个智能车路径识别系统的调试中, 应依次进行硬件和软件的调试。

硬件的调试相对于软件的调试更提前, 通常将

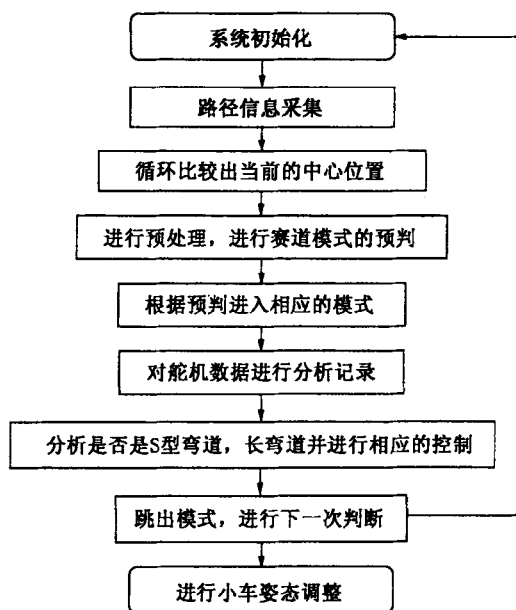


图4 道路识别系统流程

硬件系统参数固定。对于软件的调试可以通过无线串口与计算机之间的链接, 可以获得智能车的相关参数, 如舵机的中心、舵机的左右极限。相应的硬件决定了软件的编写和运行, 具有唯一性和不可移植性。只有对所编写的程序进行不断的调试和优化, 及时掌握软件的进程, 才能使得软件程序相对硬件整体为最优化程序。

参考文献:

- [1] 张阳, 腾勤. 基于 HCS12 的嵌入式系统设计[M]. 电子工业出版社, 2010.
- [2] 马仕伯, 马旭, 卓晴. 基于磁场检测的寻线小车传感器布局研究[M]. 清华大学出版社, 2009.
- [3] “飞思卡尔”竞赛秘书处. 电磁组竞赛车模路径检测设计参考方案[Z]. 2010.
- [4] 邵贝贝. 单片机嵌入式应用的在线开发方法[M]. 清华大学出版社, 2007.
- [5] 卓晴, 黄开胜, 邵贝贝. 学做智能车——挑战“飞思卡尔”杯[M]. 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [6] 薛涛, 宫辉, 曾鸣, 等. 单片机与嵌入式系统开发方法[M]. 清华大学出版社, 2007.

责任编辑: 么丽苹

信息天地

上海市中国软件名城创建暨软件产业工作会召开

上海市中国软件名城创建暨软件产业工作会近日在沪召开, 工业和信息化部副部长杨学山、上海市委常委副市长艾宝俊出席会议。

杨学山指出, 去年 9 月部市签署合作备忘录以来, 在上海市委市政府的高度重视和大力支持下, 上海市软件和信息技术服务业发展以及名城创建工作取得了显著成效, 积累了很多宝贵经验, 起到了良好的示范带动作用。当前软件和信息技术服务业正在

经历新一轮的质变, 市场需求持续旺盛, 云计算、物联网等新业态兴起, 为国内企业占领细分市场, 实现跨越式发展提供了良好的发展机遇, 但核心竞争力的不足等也为企业发展带来了挑战。希望上海市把握软件和信息技术服务业新一轮质变的发展机遇, 紧密结合上海的战略目标和产业发展实际, 不断提升产业发展质量, 高标准建设中国软件名城, 为城市转型升级和经济社会发展提供一体化支撑服务。