

# 基于电磁场检测的寻线智能车设计

Design of Intelligence Automotive Trace-keeping Based on Detection of Electromagnetic Field

张昊颢 马旭 卓晴 清华大学 (北京 100084)

**摘要:** 本设计以“飞思卡尔”杯全国大学生智能车竞赛为背景,提出了一种根据电磁场信号引导小车循迹行驶的方案。本文介绍了这一方案的基本思想,所依据的物理原理,给出了对电感线圈得到的信号进行调理放大和控制小车舵机运行的电路,并根据方案实际制作了小车。实践证明该方案是可行的。

**关键词:** 智能车; 磁场; 线圈; 磁感应强度; 感应电动势

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5517.2009.11.009

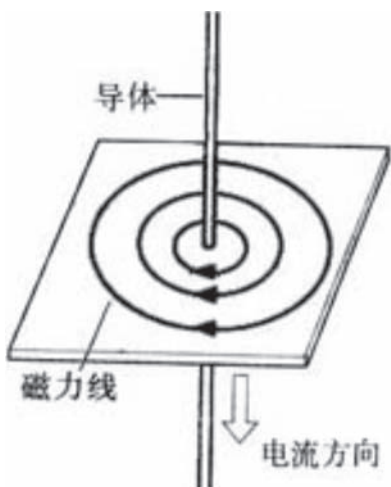


图1 直线电流磁场分布

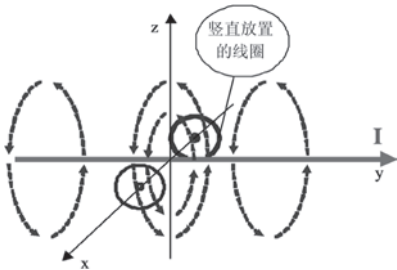


图2 直导线两侧的线圈

## 引言

以往的智能车竞赛分为光电组 and 摄像头组,其中光电组主要是使用光电传感器如红外传感器采集路径信息,摄像头组主要通过采集图像信息识别路径。本文则采用通电导线产生的电磁场对智能车进行引导。使用磁场信号引导车沿一定轨迹行走的优点主要体现在磁场信号具有很好的环境适应性,不受光线、温度、湿度等环境因素的影响。

## 设计原理

根据电磁学,我们知道在导线中通入变化的电流(如按正弦规律变化的电流),则导线周围会产生变化的磁场,且磁场与电流的变化规律具有一致性。如果在此磁场中置一由线圈组成的电感,则该电感上会产生感应电动势,且该感应电动势的大小和通过线圈回路的磁通量的变化率成正

比。由于在导线周围不同位置,磁感应强度的大小和方向不同,所以不同位置上的电感产生的感应电动势也应该是不同。据此,则可以确定电感的大致位置。

首先,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:

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

$$(\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2)$$

由此得

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

对于无限长直流电来说,上式中 $\theta_1=0$ ,  $\theta_2=\pi$ ,则有

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r}$$

且磁感应强度方向为垂直纸面向里。于是,它的磁力线是在垂直于导线的平面内以导线为轴的一系列同心圆,圆上的磁感应强度大小相同。

对于通有电流的弧形导线,根据毕奥-萨伐尔定律明显可以得出弧线内侧的磁感线密度大于弧线外侧的结论。如果在通电直导线和弧形导线两边的正上方竖直放置两个与电流方向一致的线圈如图2示,则两个线圈中会通过磁通量。

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。根据法拉第电磁感应定律,感应电动势的大小和通过导体回路的磁通量的变化率成正比:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

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,令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:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{k}{r} \frac{di}{dt}$$

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 $k$ 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。具体的感应电动势须实际测定来确定。

本设计中顺着电流方向竖直放置线圈,这是由于对于放置在导线上方 $h$ 处的,与导线水平距离为 $x$ 的线圈(如图4示)中产生的感应电动势大小与 $\frac{h \cos \theta}{x^2 + h^2}$ 成正比,其中 $\theta$ 是传感器所在平面与导线的夹角。由于车身可能会与导线成一定的夹角,因此 $\theta$ 不一定为0。

图4是按照 $\theta=0^\circ$ ,  $h=5\text{cm}$ 时画出的线圈中感应电动势与导线的水平距离 $x$ 的关系,可以看出竖直放置的线圈中的感应电动势分布简单,衰减快,远处对近处的干扰小,非常适合作为检测小车当前位置的传感器。

对于直导线,当装有小车的中轴

线对称的两个线圈的小车沿其直线行驶,即两个线圈的位置关于导线对称时,则两个线圈中感应出来的电动势大小应相同、且方向亦相同。若小车偏离直导线,即两个线圈关于导线不对称时,则通过两个线圈的磁通量是不一样的。这时,距离导线较近的线圈中感应出的电动势应大于距离导线较远的那个线圈中的。根据这两个不对称的信号差值,即可调整小车的方向,引导其沿直线行驶。

对于弧形导线,即路径的转弯处,由于弧线两侧的磁力线密度不同,则当载有线圈的小车行驶至此处时,两边的线圈感应出的电动势是不同的。具体的就是,弧线内侧线圈的感应电动势大于弧线外侧线圈的,据此信号可以引导小车拐弯。

另外,当小车驶离导线偏远致使

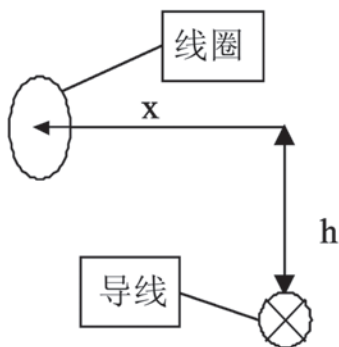


图3 线圈和导线相对位置示意图

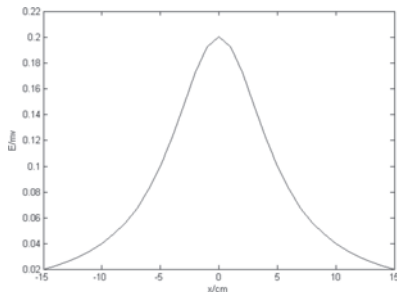


图4 线圈中感应电动势与它距导线 $x$ 的函数关系图

两个线圈处于导线的一侧时,两个线圈中感应电动势也是不平衡的。距离导线较近的线圈中感应出的电动势大于距离导线较远的线圈。由此,可以引导小车重新回到导线上。

由于磁感线的闭合性和方向性,通过两线圈的磁通量的变化方向具有一致性,即产生的感应电动势方向相同,所以由以上分析,比较两个线圈中产生的感应电动势大小即可判断小车相对于导线的位置,进而做出调整,引导小车大致循线行驶。

## 设计方案

本设计使用一普通玩具小车作为车模,采用PWM信号驱动,当PWM信号脉宽处于(1ms,1.5ms)区间时舵机控制小车向左行驶,脉宽处于(1.5ms,2ms)时小车向右行驶,脉宽约为1.5ms时小车沿直线行驶。本方案使用两个10mH的电感置于车模头部作为确定小车位置的传感器。然后,设计了一个模拟电路,采集、调理、放大由电感得到的电动势信号。具体电路如图5所示。

该电路采用电压并联负反馈电路,电感信号从PL进入。考虑到单独电感感应出的电动势很小,本设计使用电感和电容谐振放大感应电动势。由于使用的是10mH的电感,导线中电流频率为20kHz,因此使用6.3nF的电容。这样在电容上得到的电压将会比较大,便于三极管进行放大。整个电路的具体放大倍数需要根据实际负载进行计算。本设计的小车控制电路如图6所示。

首先,把由两个电感得到的感应电动势经调理、放大后得到的电压输

出 $u_1$ 和 $u_2$ 送入由运放组成的减法器中进行减法运算,然后再经由运放组成的电压跟随器送给下一级电路。经过分析,这一级电路的输出大致可由下式进行计算:

$$V_1 = 0.5V_{CC} + \frac{R_6}{R_5}(u_2 - u_1) = 0.5V_{CC} + 20(u_2 - u_1)$$

后一级电路由两个555定时器组成,其中下方的555构成一个占空比非常接近于1的脉冲发生器,作为上方555的触发脉冲。因为此触发脉冲的低电平信号非常窄,所以能很好的保证上方555构成的单稳态电路正常运行。波形如图7所示。该脉冲信号频率为:

$$f = \frac{1}{0.693RC} = \frac{1}{0.693 \times 10k \times 1 \times 10^{-6}} = 144$$

上方的555定时器构成一个单稳型压控振荡器,它的脉宽受输入 $V_1$ 的控制,输出即PWM信号。当 $V_1$ 较大时,即两个电感线圈中的感应电动势相差较大时,亦即小车偏离导线向左行驶时,则脉宽较大,舵机将控制小车向右行驶;当 $V_1$ 适中时,接近,即小车沿导线行驶时,则脉宽接近1.5ms,小车按直线行驶;当 $V_1$ 较小时,即小车偏离导线向右行驶时,则脉宽较小,舵机将控制小车向左行驶。从而,控制小车大致循着导线行驶。另外,改变构成减法器的

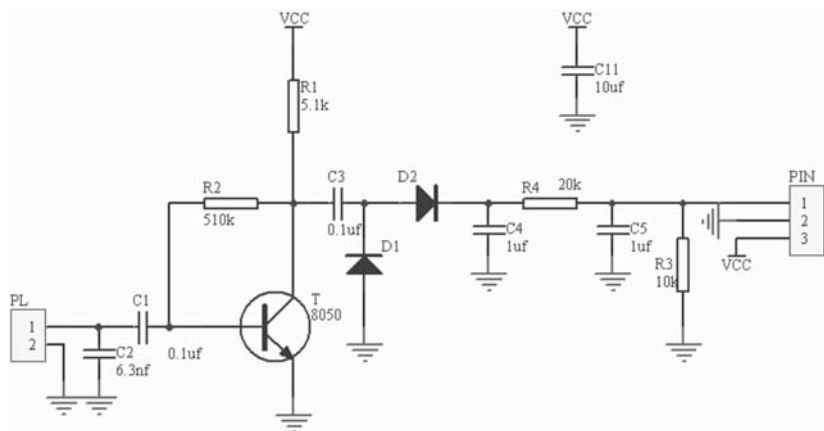


图5 检波电路图

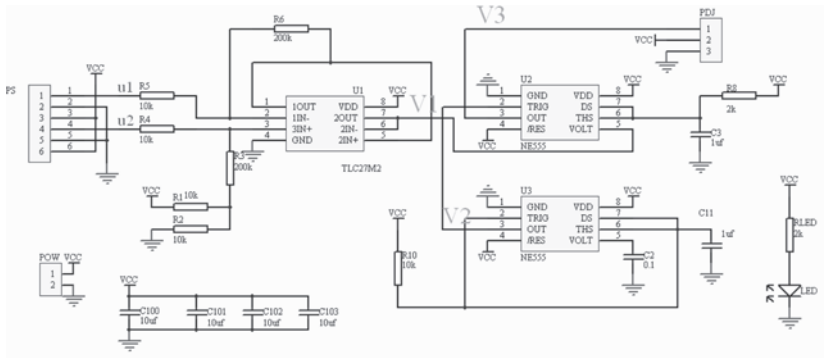


图6 小车的控制电路

电阻的值,可以调整小车反应的灵敏度,进而防止出现小车以导线为中轴线左右摇摆的现象。

#### 参考文献

- [1] 张三慧, 主编. 大学物理学(第三册)电磁学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] 张营. 智能车确定位置技术研究[D]. 上海: 上海交通大学机械与动力工程学院, 2008.
- [3] 555时基集成电路应用[DB/OL]. [http://www.autoo.net/icdata/data\\_47248.html](http://www.autoo.net/icdata/data_47248.html), 2009-04-22/2009-10-06
- [4] 邵贝贝. 单片机嵌入式应用的在线开发方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004
- [5] 卓晴, 黄开胜, 邵贝贝. 学做智能车[M]. 北京: 北航出版社, 2007.3

#### 点评

实际证明本文方案是可行的, 小车能循着由通有20kHz正弦电流导线构成的较大“8”字形路线行驶。本设计方案使用的均是基本的电子元件, 如果使用飞思卡尔的单片机, 可以实现更细的控制、更多的功能, 比如可以根据小车的速度控制小车的转向灵敏度。另外, 本设计方案只使用了两个电感线圈采集小车两边的磁场信号来控制小车的走向, 如果使用更多的传感器采集导线周围一定距离内的磁场信号, 再根据一定的算法, 则可以对道路的形状进行判断如对转弯路进行预判, 从而更好地控制小车循着路线行驶。

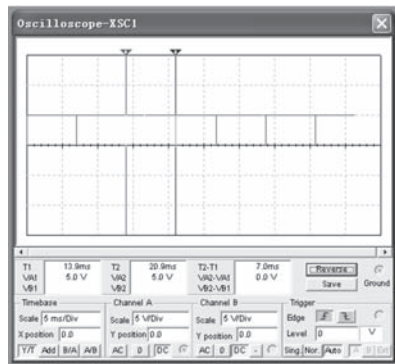


图7 555定时器产生脉冲波形图