

# 基于飞思卡尔电磁导航智能车的传感器布局分析及设计 The sensors' layout analysis and design based on the Freescale electromagnetic navigating smartcar

赫玉莹 李科尧 范恒超

HE yu-ying LI Ke-jiao FAN Heng-chao

(中南大学信息科学与工程学院, 湖南长沙 410083)

(Department of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha, China 410083)

**摘 要** 在飞思卡尔智能车竞赛平台的基础上, 对电磁导航车的传感器布局进行了研究, 并对传感器采集信号进行处理, 通过理论计算、分析以及搭建调试, 提出了优化的布局和设计, 兼顾灵敏性和前瞻性要求。

**[Abstract]** In Freescale intelligence car competition platform, we studied the sensor layout of the electromagnetic navigating car and process the signal collected by the sensor. Through the theoretical calculation, analysis and debugging setup, we put forward the optimization of the layout and design considering the sensitivity and prospect requirements.

**[关键词]** 电磁导航车; 传感器布局; 灵敏性; 前瞻性

**[Keywords]** electromagnetic navigation car; sensor layout; sensitivity; prospect

飞思卡尔智能车竞赛是一项具有探索性和团队性质的工程实践活动, 以智能汽车为研究背景, 参赛者需从系统工程角度出发, 在具体约束条件下进行学科交叉和集成基础上的综合运用<sup>[1]</sup>。其中电磁组类, 车模通过感应由赛道中心电磁导引线产生的交变磁场进行路径检测。电磁导引线直径为 0.1~1.0mm, 通有 20KHz、100mA 的交变电流。

本届电磁组比赛在道路型式上, 除原有直道、S 道、回环道, 上下坡外, 增加 90 度直角弯道; 对赛道的宽度没有限制, 且车模必须经过赛道上所有要求通过的路段标志, 这就对电磁传感器检测的精度和准确度提出了较高的要求, 并要具备一定的前瞻性。

基于这种情况, 本文对电磁传感器的布置进行分析, 并对其详细的检测结果进行讨论说明和验证。

## 1 赛道磁场建

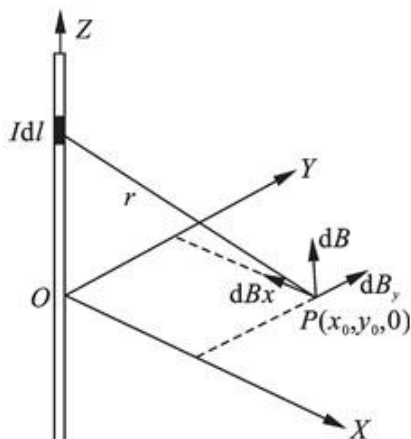


图1 长直导线的磁场分析示意

按照电磁场理论, 当导线中通过交变电流, 便会在周围形成磁场。导线周围的电场和磁场按照一定规律分布<sup>[1]</sup>。

如图 1 所示, 对导线外任意一点  $P(x_0, y_0, 0)$  进行分析, 在此坐标系下, 矢量积<sup>[2]</sup>:

$$\vec{dl} \times \vec{r} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ dx & dy & dz \\ x_0 - x & y_0 - y & z_0 - z \end{vmatrix}$$

磁感应强度沿坐标轴方向的分量为:

$$dB_x = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{-y_0 dz}{r^3}; \quad dB_y = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{y_0 dz}{r^3} \quad (式 1)$$

对其结果进行积分, 当长直导线无限长时, 有:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi \cdot r} \quad (式 2)$$

在此, 我们用 MATLAB 软件对长直导线周围的电磁场分布进行仿真, 得到仿真结果如下图 2 所示。

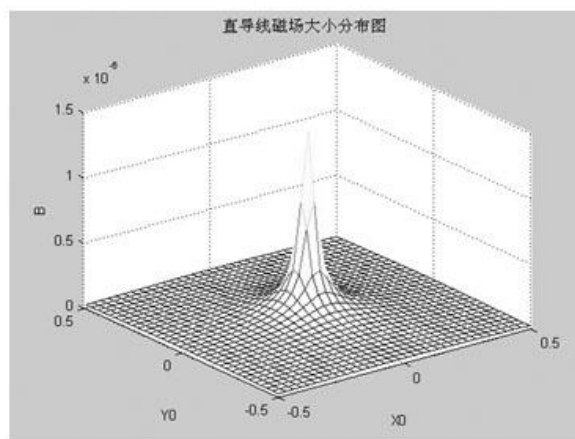


图2 matlab 电磁场仿真图

## 2 传感器选择

检测磁场的传感器有很多, 常见的有磁阻抗磁场传感器、磁通门传感器、霍尔传感器、磁敏二极管、磁敏三极管等<sup>[3]</sup>。由于这些传感器的检测原理不同, 所以检测后的效果也有一定差别, 还需要考虑适用环境和经济性等其他因素。

根据比赛现场设置, 把赛道导引线看成载流 100mA 的无限长直导线, 当距离导线 5mm 时, 由式 2 可得:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi \cdot r} = \frac{4\pi \times 0.1}{2\pi \times 0.05} \times 10^{-7} = 4 \times 10^{-3} \text{G} \quad (式 3)$$

磁阻传感器具有高灵敏度, 分辨率达到 27μG, 且多轴的磁阻传感器还可检测出磁场的方向, 看似它是最佳的选择, 但其检测精度较低且价格比较高, 因此, 在比赛中我们选择使用传统可靠的电磁感应线圈, 采用市面上的工字电感, 同时还需要配合添加合适的谐振电容和放大电路。经过多次的实验和调试发现, 采用电磁感应线圈具有更好的灵活性和可控性。

## 3 赛道位置解算

要想检测出赛道导引线的位置, 显然, 一个传感器是绝对无法实现的, 感应电动势  $E$  是位置  $X$  的偶函数, 通过一个传感器的检测数据, 只能确定智能车是否偏离了中心线, 无法确定偏离方向。首先考虑采用两个电磁感应线圈。

3.1 双水平线圈<sup>[4]</sup>

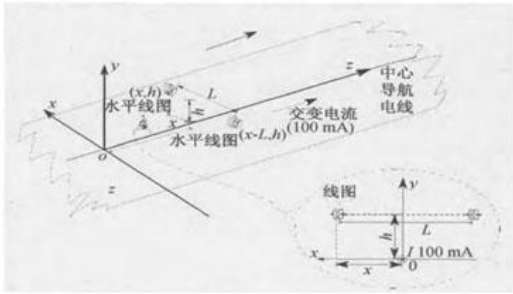


图3 水平线圈放置示意图

如图3中所示进行放置检测磁场大小,根据赛道磁场的建模分析,易得到:感应电动势大小与  $h/\sqrt{x^2+h^2}$  成正比。

假设:  $L=30\text{cm}$ ,  $h=5\text{cm}$ ,  $x \in (-15, +15)\text{cm}$ , 用坐标系可表示为:

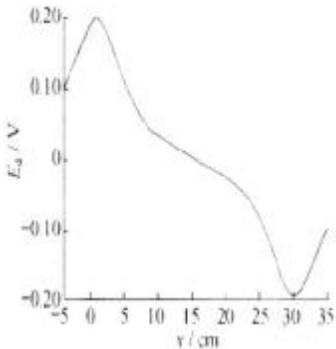


图4 感应电动势变化示意图

当导线水平穿过两个水平传感器正中间时,即  $X=15\text{cm}$ ,此时  $E_d=0$ ;当有一定偏移,根据上图可以得到相应的变化量,从而确定导线位置。

3.2 双竖直线圈

将线圈方向按竖直方向放置时,同理再由磁场建模分析,可以得到:感应电动势大小与  $h/\sqrt{x^2+h^2}$  成正比,显然在位置的解算上,不管是从灵敏度还是解算的复杂度上来说,该方式都劣于双竖直线圈方案。然而,其优点是能够判别  $x$  的正负,是作为前瞻性考虑的不二之选。

4 优化设计

通过在位置解算部分的分析,有以下三种基础方案:

- 1) 仅放置双水平线圈检测。
- 2) 将双水平与双竖直线圈合为一体,采用内八字方位放置两个线圈。
- 3) 同时使用双水平线圈和双竖直线圈。

显然,第一种方案在前瞻性方面具有明显的劣势。第二种方案在进行十字交叉路口的行进时,很容易形成误判,相交导线的磁场叠加成为它的死穴;第三种方案在保证稳定性的同时也具有较好的前瞻性。

因此,采用双竖直线圈来提取前方赛道信息,通过碳素杆将双竖直线圈放在较前方的合适位置,提高智能车的前瞻性,采用双水平线圈对导线位置进行解算。

下面,考虑一种特殊情况,当智能车处于如下图5所示的特殊情形,处于小车身处的两个传感器检测到附近有弯道,但前方的两个传

感器已处于另一个跑道上,这时,会误判为前瞻已检测到对应跑道,接着便会跟着前瞻传感器的检测执行相应动作,很容易发生串道。

针对这种情形,我们对现有的传感器布置在进行进一步改进。在伸长的碳素杆支架正中心,再添加一个传感器线圈,以保证小车在运行时的稳定性。

经过以上分析,传感器分布的优化图如图6所示。

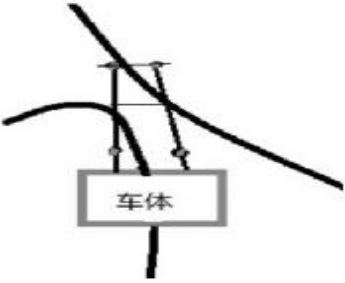


图5 误判特殊情况

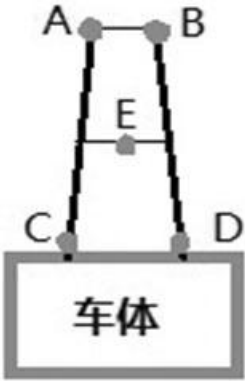


图6 传感器分布优化图

5 实验验证

通过智能车的搭建,和大量实验验证,该种传感器布局方案具有很好的可靠性,能够顺利检测并通过大S弯道、小S弯道,十字交叉道等,赛道误判率低于2%,赛道最大偏差不超过5cm,兼具稳定性和较好的前瞻,值得广大参赛队员借鉴和采用。

作者简介:赫玉莹,1997年出生,女,汉族,河南人,中南大学,学历为本科,研究方向为电气工程及其自动化。

[参考文献]

[1] 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.  
[2] 卓晴,黄开胜,邵贝贝.学做智能车[M].北京航空航天大学出版社,2007.  
[3] 刘迎春,叶湘滨.传感器原理设计与应用[M].国防科技大学出版社,2006.  
[4] 全国大学生“飞思卡尔”杯智能汽车竞赛组委会,电磁组竞赛车模路径检测设计参考方案[EB/OL].2009.  
[5] Gu C, He J, Zhu X H, et al. Efficient 2D DOA estimation of coherent signals in spatially correlated noise using electromagnetic vector sensors[J]. Multidimensional Systems and Signal Processing, 2010.