

电磁导航的智能车设计制作研究

翟忠林, 朱元豪

武汉理工大学, 湖北武汉

430070

摘 要 本文介绍了基于电磁导航智能车的方向调节控制方案, 对比分析不同传感器布局方案并得出较理想的布局模型, 并根据特定布置形式的电感式传感器在不同路径上的特征值, 采用修正的 PID 调节方式, 使小车转向稳定连续且能适应不同的速度及跑道特征。

关键词 智能车; 电磁导航; 调试; 设计; 单片机; 前瞻
中图分类号 U491 **文献标识码** A

文章编号 1674-6708 (2011) 49-0091-03

0 引言

智能车有着广阔的应用领域。随着飞思卡尔公司在中国举办智能车大赛开展的深入, 全国很多高校参与了智能车的比赛研究, 这极大的推动我们在智能车方面的发展。目前, 智能车的导航模式主要有摄像头采集道路图像方式, 通过激光管检测离散的点获取道路信息的方式和检测道路磁场以判别路径方向的路径检测方式。对于电磁导航型智能车, 其磁场连续分布, 控制相对简单。位于道路中心的导线通有固定频率的电流, 利用滤波器采集交变的磁场, 可以方便地滤除干扰, 因此电磁导航型智能车有较强的抗干扰能力^[1]。对于电磁导航型智能车, 做好高速的时方向控制一直是难题, 也是控制电磁导航智能车的关键。

1 传感器的布局

磁场具有很强的方向性, 传感器的布局方式直接影响道路信息的检测。典型的布局方式有横向放置和纵向放置。横向放置的传感器 (如图 1 中电感 2、3) 不具有前瞻性, 但能检测到车子相对赛道的位置。纵向放置的传感器 (图 1 中传感器 0、1、4、5) 具有较大的前瞻性, 特别是具有一定仰角的电感 (图 1 中 0、1) 其前瞻性更加显著, 可作为方向控制的主要传感器。可根据前后多排放置传感器计算弯道曲率^[2]决定舵机摆角的大小, 使小车在不同曲率的弯道中都有适合的摆角, 运行平稳。

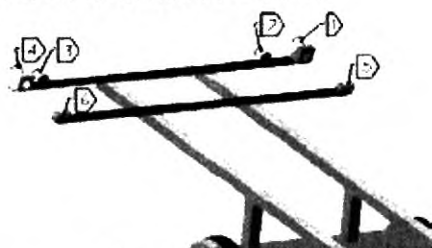


图 1 典型传感器布局图

2 方向与速度调节策略

模型智能车采用舵机作为转向执行器。本文采用 S-D5 数码舵机作为控制方向的执行器。只要改变控制 PWM 信号的占空比即可实现平稳连续的转向^[3]。PWM 控制信号可根据传感器信号由 PID 算法计算得出。



图 2 S-D5 舵机

方向控制的 PID 调节; 离散的位置式 PID 的计算表达式^[4]为:

$$U_k = K_p \cdot e_k + K_i \sum_{j=0}^k e_j + K_d (e_k - e_{k-1}) \quad (1)$$

(式中:

k 为采样序号, $k = 0, 1, 2, \dots$;

U_k 为第 k 次采样时刻的计算机输出值;

e_k 为第 k 次采样时刻输入的偏差值;

U_{k-1} 为第 $k-1$ 次采样时刻输入的偏差值;

K_i 为积分系数;

K_d 为微分系数。

如果采样周期足够小, 式 (1) 的近似计算可以获得足够精确的结果, 离散控制过程与连续过程十分接近。但由于它给出了全部控制量的大小, 每次输出均与过去状态有关, 计算时要对 e_k 进行累加工作量大; 并且, 因为计算机输出的 U_k 对应的是执行机构的实际位置, 如果计算机出现故障, 输出的 U_k 将大幅度变化, 会引起执行机构的大幅度变化, 使智能车严重震荡, 冲出赛道而损毁。这在实际调试中是不允许的。

相对与位置式 PID, 增量式 PID 具有计算量小, 响应迅速的优点。

增量式 PID 的计算表达式可简写为:

$$\Delta u_k = A e_k + B e_{k-1} + C e_{k-2} \quad (2)$$

其中, A 、 B 、 C 为与采样周期, 比例系数等有关的参数, 其具体值应在实际应用中测试得到。增量式 PID 是指数字控制器的输出只是控制量的增量, 与位置式 PID 相比, 其计算量小的多, 同时由于没有误差的积分项 $e(k)$, 又可消除当误差存在时发生积分饱和的危险。

由于传感器的感应电动势随距离导线的距离变化并不是线性变化的, 传统的增量式 PID 调节并不能很好的完成方向调节的控制。为了获得足够高的控制精度和降低控制的滞后性, 单片机采集信号的采样周期 T 很小, 在增量式 PID 计算中相邻三次的差值一般说来相差很小。也就是说, 如果取相邻三次的差调用式 (2) 去计算的话, 微分积分的效果会非常的弱, 整个式子基本等同于只有比例部分。因此, 在实际编程中, e_{k-1} 和 e_{k-2} 不是真正意义上的上次和上上次的差值, 而是前 N 次和前 M 次的差值。差值采样间隔时间 $tk-1=N \times T$, $tk-2=M \times T$ 。 $tk-1$ 和 $tk-2$ 的选取一般以车子所能达到的最高车速为依据。以在差值采样间隔时间内, 车子以最高车速跑过的距离为车身轴距的 1 倍 ~1.5 倍为宜。如果间隔时间太小, 则会出现上述积分微分不理想的情况, 间隔时间亦不能太长, 否则 MCU 所得到的信号不能很好的反映但前的道路变化情况, 时间滞后大, 引起小车震荡或转向不足。

由于外界信号的干扰, 引导线电流不稳定和车身在运行中的震动倾斜等引起传感器在距离引导线的垂直距离会变化, 电源电压不稳等原因, 小车在直道上稳定行驶时传感器的感应电动势也会有一定的波动。传感器的值在小范围内变化时可认为道路状况基本不变, 不应对小车的转角做大幅度调整。稍微设置一个合适的调节死区对车子高速时稳定运行是十分必要的。由于磁场具有极

强的方向性,不同摆放姿态的传感器在不同特征的道路上灵敏性(随导线距离变化感应电动势变化的幅度)有较大差异。为使车子适应不同的道路,必须根据道路特征选用不同姿势的传感器作为主控参数。

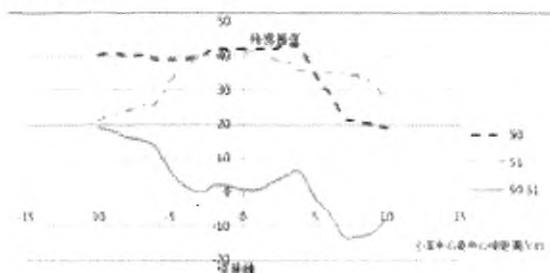


图3 纵向传感器在直道上随距中心线距离的变化曲线

由实际采集的一系列传感器的值做出图3,可以看出纵向放置的传感器所感应到的电动势随距中心引导线距离的变化非常小(20~40之间),不能作为主要信号来判断小车偏离赛道的程度。但可以作为小车所处赛道状态的判断,如果在一段时间内,传感器S0, S1都保持较小的值,且变化范围不大,则可认为小车在直道运行,把小车方向控制的主控权交给横向放置的传感器,配合调速子程序,使小车在直道上高速行驶。横向放置的传感器的感应电动势随小车中心距引导线距离的变化如图4所示。可见,横向对称布置的传感器对小车偏移量的变化非常敏感,其差值的变化趋势接近一条直线,与小车到赛道中心的偏移量有很好的线性关系,极大的方便了方向的编程控制。但是也应注意到, S2-S3的变化范围非常大,灵敏度很高,而直道上所需的调节量比较小,因此,若用PID控制,应降低这里的比例系数。一般说来,直道上的控制相对简单,不必使用PID控制,只要简单的比例控制即可满足控制要求。若小车由弯道进入直道时姿势不正,在开始阶段, S2-S3的绝对值就比较大,这时,尽管控制的比例系数比较小,但由于差值很大,小车舵机也会大幅度调整,过度调节的结果就是使小车的位置进一步偏斜从而使小车在直道上不停的震荡下去,速度难以提高。为解决这一问题,可引入限幅控制的思想。如前所述,可根据纵向姿势放置的传感器来判断直道,曲率小的大弯道和弯道。在已判定是直道的前提下,可对舵机转角做出上下幅值限制。若计算所得的舵机转角超过设定幅值,则让舵机以设定幅值摆舵,忽略过大值。这样即使小车偶然的偏离赛道,也不会引起整车沿直道的来回震荡^[5]。而且,由于没有了舵机大幅度摆舵的风险,可以适当提高比例系数,使小车偏离赛道中心不远时加大调节量,及早回到赛道中心,增加了小车运行的稳定性。

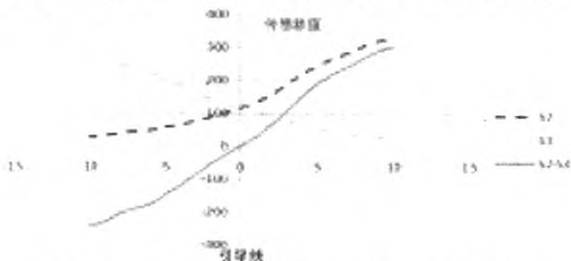


图4 纵向传感器在直道上随距中心线距离的变化曲线

小车由直道入弯时,可利用纵向传感器的前瞻性尽早得知弯道从而做出响应的动作,如提前减速,调整姿势为入弯做好准备等。在小车前轮逐渐接近入弯点时,横向放置的传感器差值S2-S3的绝对值并没有大的变化,而纵向放置且具有一定仰角的传感器S0和S1的变化比较明显,依据此现象可判定为直道入弯的条件,作为控速调节减速的依据。并把方向控制的主控权移交S0和S1。由于提前转向,小车切弯道的内侧通过,传感器的S2, S3的差值出现了反向变化,这并不影响小车的控制,因为此时传感器的S2, S3不再起主要控制作用。S0-S1, S2-S3的变化关系如图5所示,其中,在-60处,方向控制权已由S0-S1掌握,为切内道行

驶做好和姿势准备。从图5中还可以看出,在前轮没有入弯之前, S0-S1的差值已经比较明显。足以说明了纵向放置的传感器具有较远的前瞻。纵向姿势的传感器的差值S0-S1随弯道曲率的大小并不是线性变化的。在弯道的曲率半径较小时,传感器S0, S1的值变化不大,其差值S0-S1变化也比较小,但随着入弯深度、弯道曲率的加大,其中一侧的传感器的感应电动势迅速增长,差值S0-S1也迅速加大。为了能适应纵向放置传感器的这种非线性变化,必须对差值S0-S1做分段处理。现假定将S0-S1的值分为四段。分段点分别取为A, B, C,且, $A < B < C$, 0-A区段为误差不敏感区段,在这一区段内,可认为S0-S1的差值是由随机不稳定因素引起的,对转向无指导意义。A-B区段为小曲率弯道或将要入弯阶段。在这一阶段可给PID控制比例系数一个稍大于1的值。使小车在入弯前有一个适当的偏转角度,防止转弯过急而发生翻车事故。在曲率较小的大弯道上,应能既保证小车一定的转向量又要防止转向过度。尽量保证小车切内道行驶。一般说来,只要小车有一倍轴距(20cm)以上的前瞻,即可保证小车的内切行驶。B~C阶段为差值S0-S1快速增长的阶段,此阶段时小车刚好处在在大曲率弯道处,需要较大的舵机摆角,因此,在此阶段,可以不对差值进行修正,PID控制系数的值取为1。在C以上的阶段内,小车舵机摆角已接近极限,这部分值只有一个指示作用,指示小车做极限转向。由于不同的赛道中心线电流可能略有差异,同一传感器在不通的赛道上所能感应到的最大电动势会有一些的差别。因此,在最大值附近“预留”一部分是十分必要的,即在传感器达到最大值之前使舵机的摆角增至最大。在0~C阶段小车可以很好的根据路况转向,而不依赖C以上的部分。即使赛道的变化使传感器的最大值有了一定的变化,但并不影响小车的正常运行,提高了小车的适应性。

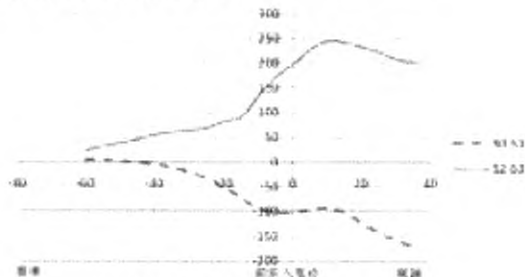


图5 直道入弯时,传感器差值变化情况

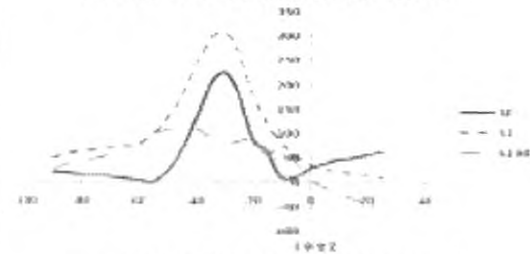


图6 带仰角纵向传感器在十字处的变化情况

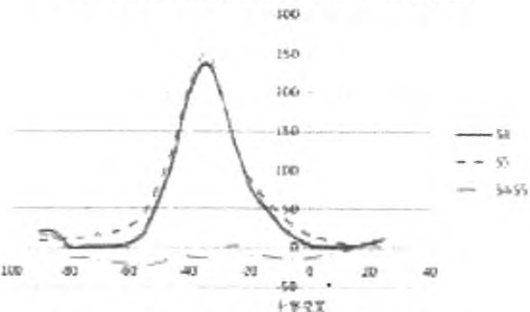


图7 不带仰角纵向传感器在十字处的变化情况

十字交叉处的处理是电磁导航车的一个难点。由于磁场的叠加,十字交叉区的磁场与弯道处的磁场十分接近。小车很容易误

(下转第95页)

式中 f_y 为材料的屈服极限, 即 345MPa; h_0 为杆件截面高度, 根据现场实测值, 取 200mm; t_0 为杆件厚度, 根据现场实测值, 取 8.3mm; 将这些数据代入 (3) 式可得 $24.1 < 33$, 计算结果满足式 (3), 可见, 满足局部稳定性要求。

3) 海洋 HXJ125A 型修井机井架整体稳定性的分析

利用 ANSYS 进行井架的屈曲分析, 得到其前三阶模态, 如图 3、图 4、图 5 所示。



图 3 第一阶振型图 图 4 第二阶振型图 图 5 第三阶振型图

由屈曲分析可以得到三阶的失稳模态如图 3、图 4、图 5 所示, 由 Ansys 做曲率模态分析所得到的特征值即为屈曲载荷系数 [3], 从以上五个图形中反映的数值来看, 第一阶模态屈曲载荷系数最小, 为最易发生失稳的形式。由于施加的是单位载荷, 则该屈曲载荷系数就是屈曲载荷, 即为发生整体失稳的临界载荷, 其值为 2900kN。

图 6 为井架最大钩载下的最大轴向力云图, 最大为压应力, 在井架下体大腿处, 其值为 712.3kN。故整体稳定性安全系数 $n = \text{临界载荷} / \text{最大载荷} = 2900\text{kN} / 712.3\text{kN} = 4.07$

由一些参考文献 [4] 和《钢结构设计规范》可知结构体稳定性的许用安全系数一般取 $[n] = 2.2$ 由上述计算分析可知, 海洋 HXJ125A 型修井机井架的整体稳定性安全系数 $n = 4.07$, 由于 $n > [n]$, 显然从稳定性的角度是安全的。另外, 在井架处于最大钩载的工况下, 它实际比正常工作状况下的载荷大许多, 已经包括了井架瞬时超载的情况, 所以稳定安全系数也是比较大的, 确保了井架的稳定性。综上所述, 海洋 HXJ125A 型修井机井架的整体稳定性也满足使用要求。

※ (上接第 92 页) ※

认为是弯道而提前转向冲出赛道。可放置一对纵向的没有任何仰角的传感器来识别十字交叉。带有一定仰角的 S0 和 S1 也可以在一定程度上判断出十字交叉, 但比较迟, 小车可能已经严重偏离赛道。从图 6 中可以看出, 在 S0, S1 先是差值比较明显, 随后一起上升到较大值。如果参数选择不当, 小车不能识别出十字交叉。没有仰角的纵向放置的传感器 S4, S5 的变化同步, 差值一直维持在一个比较低的水平。经测试知, 只有在十字交叉处, S4, S5 才会出现上表中同时上升的情况。在弯道处两传感器的值上升不是同步的, 或者只有一边上升一边维持在较小的值。由电磁理论易知, 在直道上线圈与导线平行, 有效横截面积为 0, S4, S5 的值应该非常小, 接近于 0。在弯道上也只是一侧的传感器略微上升。这一特点可作为判断十字的条件。在实际的布置中, 可以把 S4, S5 的位置比 S0, S1 放置的更靠前, 这样可以提前检测出十字路口, 避免小车转过一定角度后又回转。

※ (上接第 93 页) ※

性能进行测量。

3.10 变动可调元件法

在检修电子产品时, 如果电路中有可调元件, 适当调整它们的参数以观测对故障现象的影响。注意, 在决定调节这些可调元件的参数以前, 一定要对其原来的位置做好记录, 以便一旦发现故障原因不是出在这里时, 还能恢复到原先的位置上。

4 结论

本文总结列举的都是电子设备的一些常见故障排除方法, 这些故障是电子产品的薄弱环节, 是查找故障时的重点怀疑对象。但是, 电子设备的任何部分发生故障都会导致它不能正常工作。

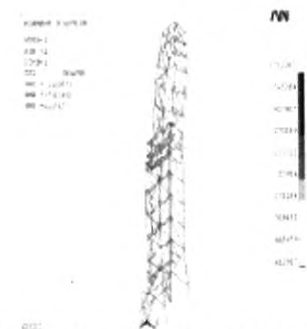


图 6 最大钩载下的最大轴向力云图

3 结论

石油钻机井架、修井机井架由于多年在野外恶劣的环境下长期使用, 承受包括动载荷在内的多种载荷作用, 随着服役时间的增长, 产生局部或整体损伤等缺陷, 导致井架失稳, 成为安全生产中的事故隐患。本文在有限元分析的基础上对南海某油田 HXJ125A 型修井机井架作了一个稳定性分析, 结果表明 HXJ125A 型修井机井架的稳定性完全满足使用的要求。本文的特色在于将有限元法引入到石油井架结构的屈曲失稳计算中, 为石油井架稳定性的计算提供了一种直观、全面的分析方法, 具有重要的实际意义。

参考文献

- [1] 徐鹤山. ANSYS 建筑钢结构工程实例分析 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 1-68.
- [2] 刘鸿文. 材料力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004, 1.
- [3] 邹龙庆. 石油钻机井架动态响应分析 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学博士学位论文, 2006: 29-35.
- [4] 宏茹. 33225 / 43-K 石油钻机井架强度及稳定性计算 [D]. 兰州: 兰州理工大学硕士学位论文, 2005: 22-25.

参考文献

- [1] 汪晓元, 廖红, 赵黎, 刘想宁. 大学物理学 [M]. 武汉理工大学出版社, 2008, 6.
- [2] 孙冠, 等. 星际航行技术报告 [R]. 北京: 北京理工大学, 2008, 8 (13).
- [3] 张琛. 直流无刷电动机原理及应用 [M]. 机械工业出版社, 1999 (7).
- [4] 胡杰. 基于 16 位单片机 MC9S12DG128 智能模型车系统开发研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
- [5] 汤兵勇, 路林吉, 王文杰. 模糊控制理论与应用技术 [M]. 清华大学出版社, 2002.
- [6] 杨国田, 白焰. 摩托罗拉 (Motorola) 68HC12 系列为控制器原理、应用于开发技术 [M]. 中国电力出版社, 2003.

在电子设备整机调试过程中, 应该按照排除故障的程序, 采取从设备部件到设备单元再到具体电路, 逐步缩小范围的方法, 根据电路原理熟练应用故障排除方法进行分段检测, 使故障局限在某一部分之中然后进行详细的排查, 最后对设备故障加以排除。

参考文献

- [1] 廖芳. 电子产品制作工艺与实训 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 188-216.
- [2] 王成安. 电子产品生产工艺实例教程 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009: 156-189.
- [3] 吕俊霞, 李炜恒. 电子设备电路的调试方法与技巧 [J]. 印制电路信息, 2007 (6): 57.