

电动观光车自适应前照灯系统的研制^①吴新烨^② 程张良 黄红武

(厦门大学机电系 福建厦门 361005)

摘 要 传统汽车上的普通前照灯不能随着汽车转弯改变照明角度,从而导致转弯视觉盲区。自适应照明系统便应运而生。本文首先建立了观光车自适应前照灯系统模型,研究观光车自适应前照灯系统影响参数。在此基础上,设计了观光车自适应前照灯控制系统,最后通过该前照灯的转角规律控制实验,验证自适应前照灯控制系统的有效性。实验数据表明该控制系统具有良好的控制效果,从而抑制观光车转弯所产生的视觉盲区。

关键词 观光车,自适应系统,前照灯,控制系统

0 引 言

目前,传统汽车上安装的普通前照灯具有固定的照射范围,当汽车在夜间或者光线偏暗的环境下转弯行驶时,因为前照灯固定,不能随着汽车转弯改变照明角度,仍然保持前向照射,因而就会形成一定的盲区,对行车安全造成很大威胁。^[1] 为避免转弯行驶时出现盲区,自适应前向照明系统(adaptive front-lighting system, AFS)便应运而生。AFS 能够根据行车速度、转向角度和车身侧倾等参数自动调节其偏转,以达到消除盲区的目的。

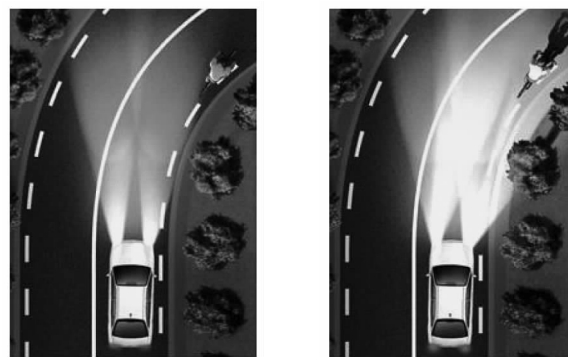
本文给出了为金厦电动观光车(型号为 GD11-XUMT)研制的自适应前向照明系统(adaptive front-lighting system of touring car, ASFT)的理论模型、结构设计、硬件设计及试验分析。

1 数学模型

1.1 理想状态模型

通过图 1 可以明显看出自适应照明系统(AFS)与普通照明系统在汽车弯道行驶时避免盲区上的差别。首先,我们来分析一下理想状态下的金厦电动观光车 AFST 随弯道偏转的规律。假设车体是刚性的,车轮也是刚性的,在转弯时不与路面产生相对滑移,转弯路面平整,车身不倾斜、不颠簸。由于汽车转向稳定特性是中性转向的,有别于客车上采用的

不足转向特性,因此观光车方向盘转弯半径 R' 与实际转弯半径 R 相等。



(a) 未安装 AFS

(b) 已安装 AFS

图 1 汽车弯道行驶时普通照明系统与 AFS 的照明范围的对比

相关文献都是以光束中心线与车轮或车身转向轨迹的关系来确定头灯转角的方案,也没有给出所试验车型的转向特性。事实上,这样计算得出的方案所产生的前照灯转角在多数情况下都要大于前照灯的极限转角,是不容易实现的。本文以车前照灯的强光束边线与车身外延实际转弯轨迹的关系,并将观光车运动状态划分为水平和竖直两平面来分析此型车在转弯时的 AFS 偏转规律。导览车前照灯采用左右同样角度异向相反的控制策略,即右转时,左前照灯固定向前,右前照灯向右偏转,远近光通过控制灯芯与透镜的焦距和上下偏转来实现。因此,

① 国家自然科学基金(51305372)资助项目。

② 男,1980 年生,助理教授,工学博士,联系人, E-mail: wuxinye@xmu.edu.cn
(收稿日期:2013-10-15)

心到安全偏转点的正向距离; AC 为灯心到地面的垂直距离; OC 为竖直平面内灯心到安全偏转点的距离。

2 结构设计

2.1 前照灯体结构设计

相对于一般的 AFS, AFST 需要更大的盲区照明区域, 由于受到车身设计的限制, 其前照灯为单光源。这些都使得 AFST 与 AFS 相似, 却又有着不同。故设计出的 AFST 转向灯正视结构图、水平和垂直驱动总成图和变光驱动结构图分别如图 6、图 7 和图 8 所示。

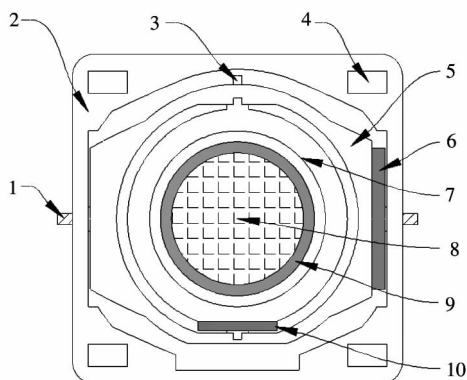


图 6 转向灯正视结构图

1—垂直转向轴;2—灯框;3—水平转向轴;4—安装定位方孔;
5—垂直旋转体;6—垂直转向被驱动齿轮;7—透镜安装固定框;
8—前照灯透镜;9—透镜固定框;10—水平转向被驱动齿轮

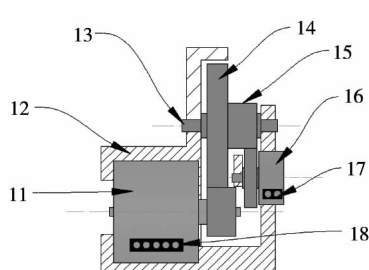


图 7 水平和垂直驱动总成图

11—步进电机;12—驱动总成本体;13—减速齿轮轴
14—一级被减速齿轮;15—二级主减速驱动齿轮;
16—角度传感器;17—角度传感器输出端;
18—步进电机输入端

2.2 编码盘设计

本文设计了一种新型的编码盘, 是一种用于检测角度的光电编码盘, 总体结构如图 9 所示。这是一种混合式绝对编码盘, 可直接输出数字量的角度

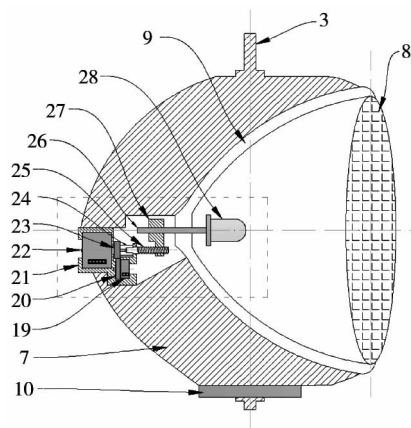


图 8 变光驱动结构图

19—变光用角度传感器;20—级被减速齿轮;21—总成本体
22—微型步进电机;23—级主减速齿轮;24—链接套筒;
25—丝杆螺母;26—灯芯轴;27—丝杆滑台;28—氙灯

信息。这种编码盘的特点是不需要计数器, 在转轴的任意位置都可读出一个固定的与位置相对应的数字码。显然, 码道越多, 精确度就越高。编码盘内侧的通孔为定位通孔, 用于发出检测信号, 此时控制芯片开始检测编码盘, 输出与编码盘角度相适应的数字信号, 进一步降低角度测量错误发生的几率。

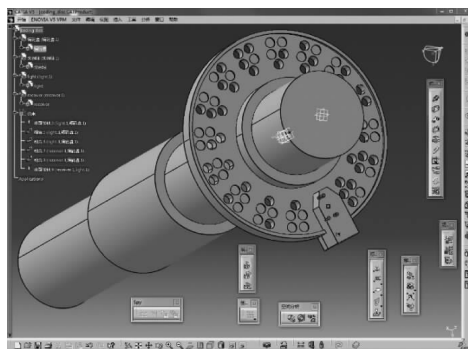


图 9 光电编码盘总体结构

本光电编码器中的编码模块如图 10 所示, 其中 5 代表定位通孔, 仅用于在检测时的定位, 其孔特征为通孔, 不计入码位数 n 中。1—4 孔为计数孔, 用于角度测量中计数, 其中 2、4、5 是通孔, 用黑圆圈表示; 1、3 是盲孔, 用黑圆表示。角度模块的取值方式是通孔 7 (图中用黑圆圈表示) 为 1, 盲孔 6 (图中用黑圆表示) 为 0 取值, 读值的顺序是 4-3-2-1, 取值按二进制排列。角度对应关系如图 2.12 所示。例如, 图 10 所示模块的二进制值为 1010, 代表十进制数值 (如图 11 中的角度数值 17 所示, 用 N 表示) 为 10。图 11 是精度 $n=4$ 的编码盘, 它将 360° 的圆等

分成 24 份,每份代表 22.5° ;所以每一个 N 对应的角度为 $N \times 22.5^\circ$;因此十进制数 N 代表的绝对角度为 $N \times 360^\circ / (2n)$ 。图 11 中的 $N = 10$,此时代表的角度为 $10 \times 360^\circ / 24 = 225^\circ$ 。其他同理可得。

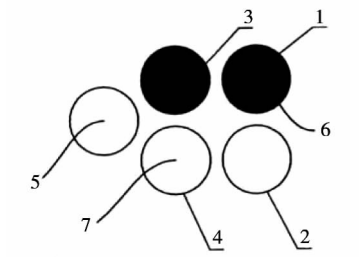


图 10 $n=4$ 的角度模块原理图

1—4—计数孔;5—定位通孔;6—盲孔;7—通孔

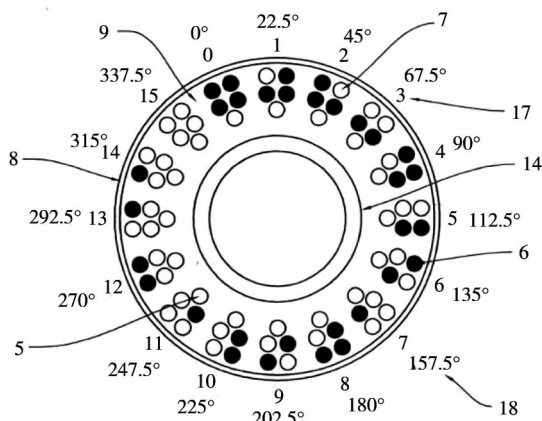


图 11 编码盘角度原理示意图

17—角度数值 N ;18— N 对应的角度

2.3 方向盘平台设计

AFST 为首次设计,有很多调试需要用到数字信号输入,但是,纯数字信号的模拟和仿真并不能很好地解决实际使用碰到的问题。因此,特设计了方向盘平台,安装了本文设计的光电编码盘,可以在一定程度上满足实际需求,原理图如图 12 所示。方向盘

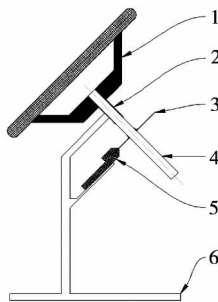


图 12 方向盘平台的原理图

1—方向盘;2—轴承;3—编码盘;4—轴;5—光电检测装置;6—基座

1、轴 4 和编码盘 3 相互固定。光电检测装置 5 与编码盘 3 匹配,形成外式的光电编码器,用于检测方向盘的转角量。

3 硬件设计

3.1 总体方案

参考文献[3-10],分析并总结出了 AFST 的硬件控制系统框图如图 13 所示。它主要由单片机、各种传感器输入电路、输入信号相关电路、步进电机驱动电路和故障诊断电路等部分组成。其中特殊功能输入包括一些特殊的功能,如近光灯、AFST 的随动转向功能、自动校正功能、系统运行模式和复位等功能。

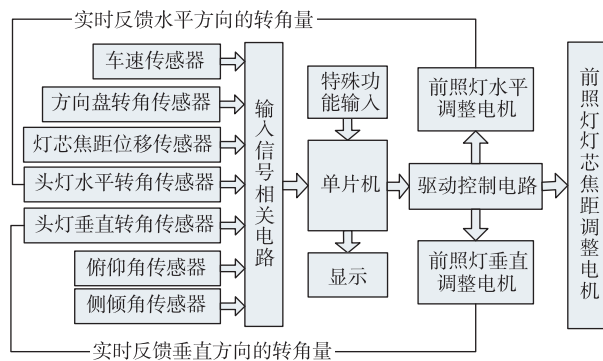


图 13 AFST 的硬件控制系统框图

3.2 主控单元

本文选取的包含微处理器性能的单片机的其型号是 STC89C52。STC89C52 使用经典的 MCS-51 内核,但做了很多的改进,使得该芯片具有传统 51 单片机不具备的功能。在单芯片上,拥有灵巧的 8 位 CPU 和在系统可编程 Flash,使得 STC89C52 为众多嵌入式控制应用系统提供高灵活、超有效的解决方案。

3.3 相关电路的主要元器件

3.3.1 步进电机

步进电机是将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制元件。步进电机的性能指标有步距角精度、失步、失调角、最大空载起动频率、最大空载的运行频率、运行矩频特性、电机的共振点和电机正反转控制等。它的驱动要求是能够提供较快的电流上升和下降速度和具有较高的功率及效率。本文所采用的步进电机型号为 M35SP-7,是四相反应式步进电机,噪声和振动有点大。

3.3.2 光电编码器电路

光电编码器的检测电路如图 14 所示,在图中可调电阻 $R3$ 可以调节比较器的门限电压,经示波器观察,输出波形相当规则,可以直接够单片机接收的使用。因此选择此电路作为编码器检测电路。

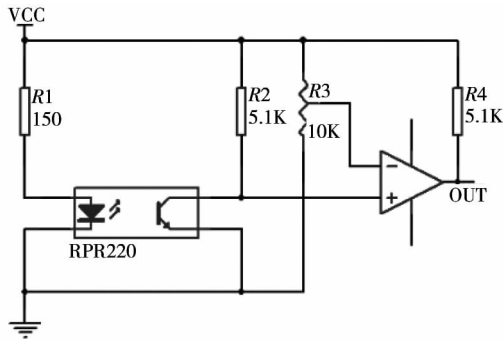


图 14 编码器检测电路

3.3.3 I²C 总线

I²C 总线是 PHILIPS 公司推出的一种串行总线,用于 IC 器件之间连接的二线制总线,它通过 SDA 串行数据总线和 SCL 串行时钟总线两根线连接到总线上的器件之间传送信息,并根据地址识别每个器件。

3.3.4 ADC 芯片及存储芯片

模数转换(ADC)亦称模拟—数字转换,为把模拟信号转换为信息基本相同的数字信号而设计的处理过程。主要性能指标有:(1)分辨率;(2)转换速率;(3)量化误差;(4)偏移误差;(5)满刻度误差;(6)线性度。其他指标还有绝对精度、相对精度、微分非线性、单调性和无错码、总谐波失真和积分非线性。

PCF8591T 为本文选用的 ADC 芯片,SO16 引脚图如图 15 所示,使用 I²C 与单片机通信。

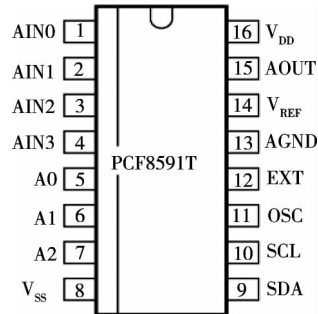


图 15 PCF8591T 引脚图(SO16)

3.3.5 数码管及 38 译码器

数码管按段数可分为七段数码管和八段数码管,八段数码管比七段数码管多一个发光二极管单元(多一个小数点显示);按能显示多少个“8”可分为 1 位、2 位、3 位、4 位、5 位、6 位、7 位等数码管;按发光二极管单元连接方式可分为共阳极数码管和共阴极数码管。四位数码管引脚图如图 16 所示

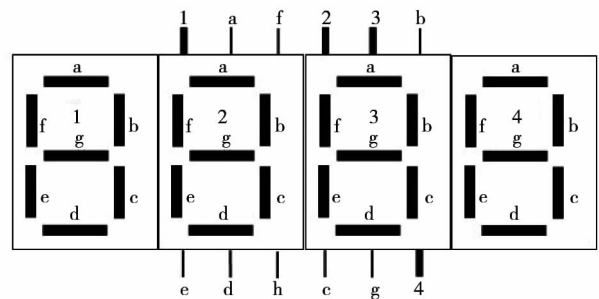


图 16 四位数码管引脚图

译码器有很多种,74HC138 就是其中的一款高速译码器件。74HC138 引脚兼容低功耗肖特基 TTL (LS TTL) 系列。

译码器和数码管的驱动电路图如图 17 所示。

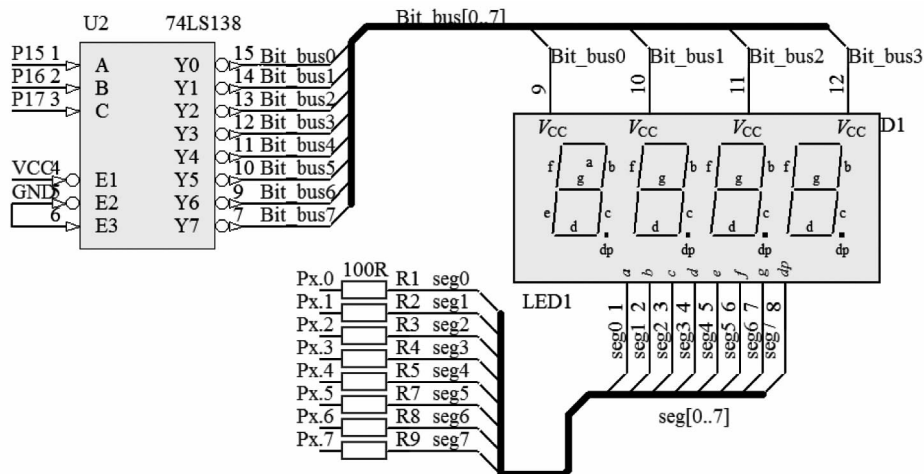


图 17 译码器和数码管的驱动电路图

3.4 AFST 的硬件设计

综合上述 STC89C52 单片机驱动电路、ULN2003 达林顿驱动电路、数码管和译码器电路、ADC 和存储芯片电路等,设计出如图 18 所示的硬

件电路。图中步进电机 2 和 3 的驱动电路端口与显示电路是共用的,显示电路是为方便后期系统调试而设计的。

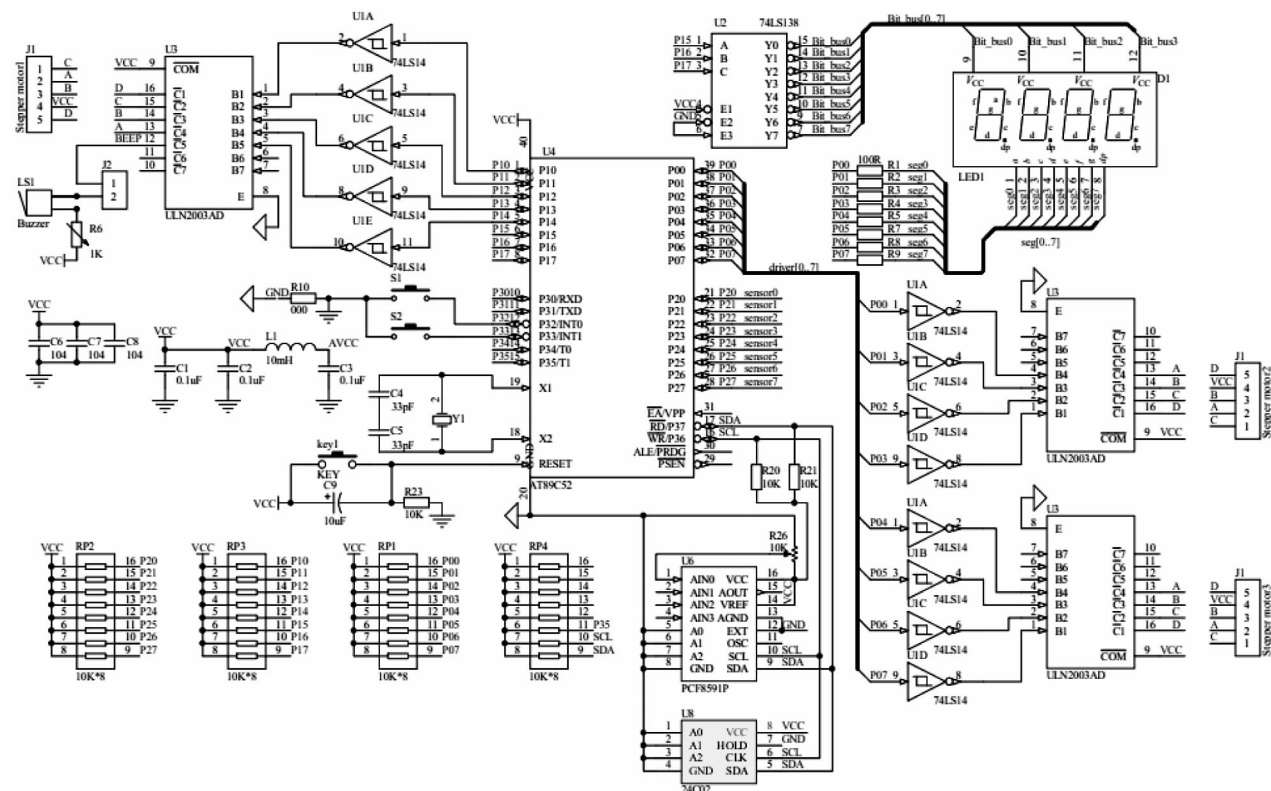


图 18 AFST 的右前照灯硬件电路图

4 试验及分析

4.1 试验方案

本文设计的 AFST 的控制可分为水平方向上的转角控制、垂直方向上的转角控制和灯芯轴向上的位移控制。为了保持高效的试验效率,避免重复试验,节约试验成本,我们的试验只选取了右前照灯的水平方向的转角规律控制作为试验的主要内容。

4.2 氙灯转向总成的测试与分析

在做氙灯转向总成前,需要对安置在方向盘上的编码器进行性能测试。测试组成有主板、编码器检测电路、编码盘、方向盘实体模型。其中主板的检测程序流程图如图 19 所示。

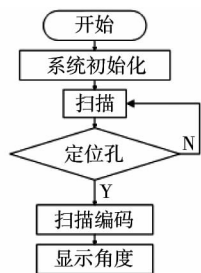


图 19 编码器角度检测程序流程图

由于方向盘上的角度传感器在转角响应速度上未能达到预期的目标,因此对其角度参数的输入进行了相应地模拟,使用另一块单片机主板,利用 ADC 芯片和单片产生角度参数,输入到试验主板上,如图 20 所示。图中连接至电脑的数据线主要是用于在线编程,便于修改和调试。

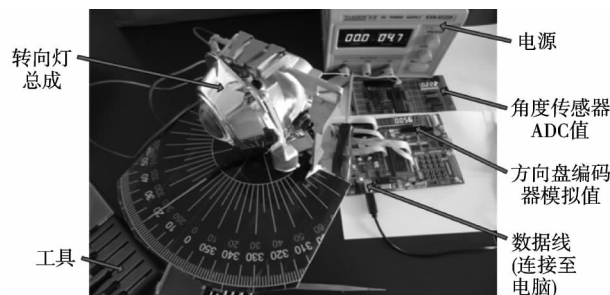


图 20 氙灯转向总成测试组成图

依照图 20 所示的测试组成图进行试验,其中使用编程将步进电机步进数和单片机发送脉冲数联系

起来。当驱动步进电机使得指针从 0° 转到 20° 时,从试验中得出表 1。表中“脉冲数 × 4”表示每次四倍的脉冲数驱动步进电机,也就是步进电机每次走四步的意思,这个倍数是由步进电机减速比和 ADC 芯片的分辨率决定的,此时的步进电机拍数为八拍。表 1 的数据表明,右前照灯从初始偏角度开始到截止偏转角,步进电机的脉冲数可以直观地控制,比较便于后期编程编程时取值。转角传感器 ADC 值却不保持唯一性,这是因为其精度和转角度数不一致造成的。整个右转过程步进电机总步数为 172 × 4 步,转角传感器 ADC 变化 22。

表 1 从 0° 转到 20° 时步进电机脉冲数和转向灯转角数

氙灯转角	步进电机脉冲(×4)	转角传感器 ADC
0°	221	245
1°	221	245
2°	201	244
3°	194	243
4°	185	242
5°	176	240
6°	169	240
7°	160	239
8°	150	238
9°	143	236 或 237
10°	137	235
11°	128	234
12°	120	233
13°	110	231 或 232
14°	103	231
15°	95	230
16°	87	228
17°	78	227
18°	71	226
19°	62	224 或 225
20°	49	223 或 224

当驱动步进电机使得指针从 20° 转到 0° 时,我们从试验中得出表 2。表中的数据表明右前照灯回转时,步进电机脉冲数和转角传感器 ADC 值得特点同上。此时,步进电机总步数为 172 × 4 步,转角传感器 ADC 值变化 22。

表 2 从 20° 转到 0° 时步进电机脉冲数和转向灯转角数

氙灯转角	步进电机脉冲(×4)	转角传感器 ADC
20°	59	222 或 223
19°	70	223 或 224
18°	79	224 或 225
17°	88	225
16°	95	226 或 227
15°	106	227
14°	115	228
13°	122	229 或 230
12°	131	230
11°	140	231
10°	147	232
9°	156	233 或 234
8°	163	235
7°	172	236
6°	181	237
5°	189	238
4°	199	239 或 240
3°	206	240
2°	213	242 或 243
1°	222	243
0°	231	244

依照表 1 和表 2 的数据对比图如图 21 所示。从图中可以明显地看到,ADC 参数不论从 0° 到 20°,还是 20° 到 0°,总体呈有规律地接近线性变化(由靠肉眼读取氙灯转角所致),两折线在垂直方向上的差值变化不明显,这说明:氙灯转角传感器是工作正常的;垂直方向上的差值越大,说明氙灯传感器的右

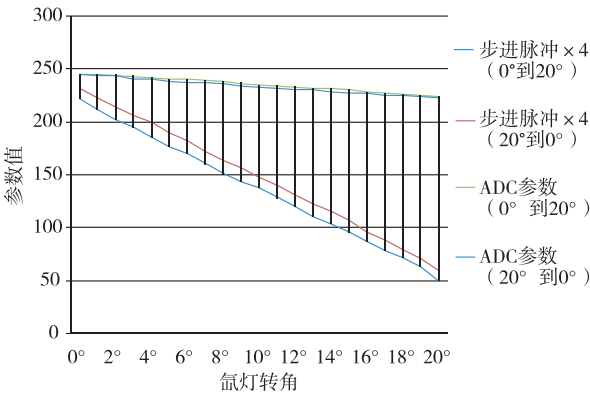


图 21 数据对比图

前照灯左右来回旋转时的角度差不大;跨越整个20°转角,纵坐标的参数值变化相对于步进电机步进数却显得非常微小,只是由转角传感器的安装测量精度决定的;整体上来说,数据非常可靠,同时也验证了试验安装转角传感器没有问题。

亦可从图中明显地看出:步进电机脉冲数也很稳定,接近线性;氙灯来回在竖直方向上的差值都很接近,进一步表示了来回的氙灯总成系统误差;从一端到另一端变化值还是挺大的,说明步进电机步控制精度很高。

为了便于后期控制策略的制定,特别测试了以转角传感器 ADC 参数为主的一组数据,具体数值如表 3 所示,图中的参数值可以用来参考和验证。其中氙灯转角值得精度是用肉眼观测所得,可能存在些许误差。

表 3 转角传感器 ADC 边界值对应表

转角传感器 ADC 边界值	步进电机脉冲(×4)	氙灯转角
245	212	0.8°
244	205	1.5°
243	194	2.8°
242	186	3.8°
241	181	4.5°
240	172	5.5°
239	162	6.6°
238	152	7.9°
237	146	8.6°
236	141	9.5°
235	131	10.5°
234	124	11.5°
227	76	17.2°
224	50	20°

4.3 AFST 控制参数的确定

在简化的理想水平转角图中,三个参数中的速度 v 在实际中经常是处在几个固定的点上。在汽车行驶过程中,汽车的行驶速度是连续可变的,而国家规定停车视距是所使用的汽车行驶速度为离散值,因此必须采取相应的方法将汽车实际行驶时的车速全部对应到停车视距所对应的计算车灯转角的离散的速度上,其具体的对应方法如表 4 所示。得出汽车的方向盘转角与氙灯转角的关系图如图 22 所示。

表 4 转角计算速度对应表

导览车实际行驶速度(km/h) 计算氙灯转角的速度(km/h)	
$v < 15$	$v = 15$
$15 \leq v < 25$	$v = 25$
$25 \leq v < 35$	$v = 35$
$35 < v$	$v = 35$

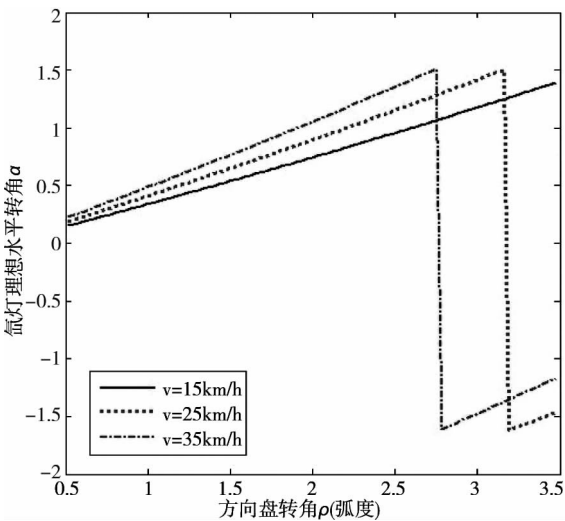


图 22 方向盘转角与氙灯转角关系图

从图 22 中可以看出:观光车的行驶速度越快,氙灯转角变化曲线就越陡,变化量就越大;氙灯转角的峰值是 $\pi/2$,即氙灯水平偏转到与车长方向垂直时;车速越高,氙灯达到转角峰值所需的方向盘角度就越小。其中 $v = 25\text{km/h}$ 和 $v = 35\text{km/h}$ 在方向盘转角弧度值 3 左右跃变,这是由于此时车右后轮的弯道的转弯半径小于车长。这种情况根据车的最小转弯半径和车长参数判断,是不可能出现的。理论上氙灯的转角应该取 $\pi/2$,但是实际上氙灯偏转的响应速度更关键。只有满足了能快速偏转到预设角度,让驾驶员时刻处于安全状态,才能进一步要求其他性能,因此,本文选用了 20° 作为截止偏转角度。

按照如图 22 所示的转角关系图,当所需的氙灯转角小于初始偏转角 δ 时,氙灯转角度控制在 0° ,此时的 δ 取值 0.18° ,这是由步进电机的控制精度决定的;当氙灯转角大于 20° 截止偏转角度时,氙灯转角控制在 20° ,前照灯转化为近光模式,此时的有效视距比较短;当氙灯转角介于 0° 到 20° 之间时,氙灯转角规律按照图 22 所示的关系图偏转;变向时,转角传感器增加 2.7° ,步进电机四拍时增加 20 步,以此补偿误差引起的转角损失。

5 结 论

本文对观光车自适应前照灯系统进行了研究。首先建立了观光车自适应前照灯理论模型进行了简化和分析,接着进行了前照灯体、新型光电编码盘和方向盘平台的结构设计。在常见的汽车 AFS 结构的基础上设计了 2 自由度的前照灯体结构和调光结构。同时也设计了一种新型的光电编码盘,这是一种绝对角度检测编码盘,不用计数器。为了试验方便和验证光电编码器的实用性,特设计了方向盘平台。之后进行 AFST 的控制电路和光电编码器的检测电路设计。首先介绍了整体方案,再依次介绍了主控芯片、驱动芯片、步进电机等,最后针对各种芯片的特点,适当地设计了紧凑的硬件电路。最后介绍了试验方案,详细地叙述了试验中的灯体的选取和拆装、步进电机和转角传感器的安装、光电编码器的制作、方向盘平台的制作和硬件电路的制作等若干重要问题。阐述了从理论数学模型中如何取参数,同化到实际试验电路中及在试验基础上总结后返回控制系统,按试验测得的控制参数和误差纠正

去控制 AFST。

参考文献

- [1] 房旭,姚勇,何云堂等. 智能汽车前照灯系统 AFS. 上海汽车,2006,08,42-42
- [2] 陈龙. 基于小型发射平台随动系统设计与研究[博士学位论文]. 南京:南京理工大学,2009. 5
- [3] 袁慧彬. 汽车车灯智能控制结束[博士学位论文]. 西安:电子科技大学,2006. 10
- [4] Stepping Motors M35SP-7[EB]. MITSUMI
- [5] 王出航,狄婧. I²C 总线存储器的控制方法. 长春师范学院学报,2008,27(4):30-32
- [6] PCF9591 8-bit A/D and D/a converter[EB]. PHILIPS, 2003,1,27
- [7] 24C01B/02B 1K/2K 5.0V I²C serial EEPROM[EB]. Microchip Technology Inc,1997
- [8] 卫修明. 基于汽车 AFS 大灯系统的轮速处理信号设计. 合肥工业大学学报,2010,33(8):1145-1148
- [9] 陶丽丽. AFS 理论在多属性决策问题上的研究与应用[博士学位论文]. 大连:大连海事大学,2010. 6
- [10] 左萃. 汽车智能前大灯系统(AFS)控制策略及仿真研究[博士学位论文]. 长沙:长沙理工大学,2012. 4

Development of an adaptive front-light system for sightseeing vehicles

Wu Xinye, Cheng Zhangliang, Huang Hongwu

(Department of Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen, 361005)

Abstract

Traditional ordinal front light on vehicle can change the lighting angle when the vehicle makes a turn, leading to visual blind spots. Adaptive lighting system should produce accordingly. A model on adaptive front light system of sightseeing vehicle is established. The effecting parameter on the adaptive front light system of sightseeing vehicle is investigated. On this basis, the design of the adaptive front light control system is designed. Finally through the experiment of the front light turn angle control, the effectiveness of the adaptive front light control system is verified. Experimental datas show that the control system has good control effect, thus inhibiting sightseeing vehicle turn blind spots.

Key words: sightseeing vehicle, adaptive systems, front light, control system