数字微镜元件式自适应前照灯光学设计

武 汉,朱向冰,朱 骞,陈 春,王 程

(安徽师范大学 光电技术研究中心,安徽 芜湖 241000)

摘 要:路面照明状况直接影响到汽车夜间行驶安全,自适应前照灯能根据汽车周围环境自动地调整照明模式,提高驾驶安全性。针对现有自适应前照灯照明模式不够灵活、光能利用率低等问题,提出了一种基于数字微镜元件的自适应前照灯光学方案,该方案以数字微镜元件为核心,并创新性地提出了利用第二导光管收集未利用的光能,采用光学软件 Tracepro 进行整个系统的仿真。实验结果表明:该方案能够实现自适应前照灯的多种照明模式,且通过使用第二导光管提高了光能利用率。由于可实现的照明模式多且照明灵活,能量利用率高,所以该系统具有广泛的市场前景。

关键词:自适应前照灯; 光学设计; 数字微镜; 导光管

中图分类号:O439 **文献标志码**:A **文章编号**:1007-2276(2013)04-0955-05

Optical design of adaptive front lighting system based on digital micro mirror device

Wu Han, Zhu Xiangbing, Zhu Qian, Chen Chun, Wang Cheng

(Photoelectric Technology Research Centre, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

Abstract: The road safety of vehicles in night depends on the street illumination directly. Adaptive Front lighting System (AFS) can automatically provide different illumination modes by adjusting the shape, distance and light distribution of illumination according to the surrounding environment to improve the driving security. Considering the problems that less light efficiency of present AFS, one solution of AFS using Digital Micro mirror Device (DMD) was presented. It consists of lamp, reflector, light pipe, DMD and lens. DMD is the core of this system. And the second light pipe was used to collect the unused light energy. The experimental results show that the light efficiency is improved largely by the using of the second light pipe. And it can achieve different beams easily by accuracy controlling the luminance of every pixel on the screen. Because of its flexibility and higher light efficiency, this scheme is expected to show on market.

Key words: AFS; optical design; DMD; light pipe

收稿日期:2012-08-12; **修订日期**:2012-09-14

基金项目:安徽省高校自然科学研究重大项目(KJ2011ZD03)

作者简介:武汉(1987-),男,硕士生,主要从事汽车前照灯方面的研究。Email:wuhande1234@126.com

导师简介:朱向冰(1973-),男,副教授,硕士生导师,主要从事光学设计方面的研究。Email:zxbing@mail.ahnu.edu.cn

0 引 言

路面照明状况直接影响汽车夜间驾驶安全性,在没有路灯照明的道路上, 路面照明完全依赖于汽车前照灯,而在路面照明较好的城市道路,车辆和人流比较密集,汽车前照灯容易产生眩光,影响迎面来的车辆及行人,汽车前照灯直接影响到夜间驾驶的安全系数。随着人们越来越高的安全驾驶需求, 传统前照灯只具有近光和远光两种固定照明模式,不能满足用户需求[1-2]。

自适应前照灯系统 (Adaptive Front Lighting System,AFS) 能够根据周边环境的变化适时自动地调节前照灯的光型、光束照射的远近以及亮度的强弱,提供更适合的照明范围、照明距离和照明角度。自适应前照灯配备了标准、弯道、城镇道路、高速公路、上下坡道等照明模式。标准模式包括传统的远光灯和近光灯。弯道照明模式通过控制前照灯水平旋转角度,给弯道提供足够的照明,消除弯道暗区。城镇道路模式输出更宽阔的光型,提高照明宽度,增大驾驶员视野,且光束向下倾斜,减弱眩光效应。高速公路模式输出更窄而更长的光型,提高照明深度,满足车辆高速行驶的需要。上下坡道模式通过控制光束在垂直方向上的投射角度, 使光束始终与地面保持平行,保障车辆行驶安全[3-5]。

AFS 由传感器组、传输通路、处理单元和光学执行机构组成,传感器组采集各种信号,并通过传输通路把信号传送给处理单元,处理单元经过复杂的逻辑运算后将得到的控制指令传送给光学执行机构,再由光学执行机构做出最终反应,以实现输出相应光型。

AFS 光学执行机构可以分为以下三大类。(1) 动态 AFS 光学执行机构由两台步进电机及其驱动电路组成, 两台步进电机分别控制前照灯在水平和垂直两个方向转动, 能对前照灯光束在水平和垂直方向进行一定范围的角度调整, 该方案较简单, 但实现的功能较少。(2) 静态 LED 点阵式 AFS 光学执行机构包括多个相互独立的 LED 光学单元, 通过点亮不同的 LED 阵列并独立控制每个 LED 的亮度来实现输出不同的光型, 但 LED 在亮度和光学设计方面存在需改进的地方,这种方式目前应用不多。(3) 数字微镜 AFS 光学执行机构以数字微镜元件为核心, 通过对光源亮度和每个微镜翻转状态的控制输出不同的光型, 该种方式输出光型的灵活度非常大,但设计方案尚需要进一步研究。

Mahendra Somasara Dassanayake 等人提出利用数字微镜元件来设计自适应前照灯[6],A. Günther 提出的方案把微镜向一侧翻转时反射的光能投影到配光屏幕,而微镜向另一侧翻转反射的光能直接被吸收掉[7],光能没有得到充分利用,且被吸收的光能转化成热能,加剧了系统的发热量。另外,Chuan-Cheng Hung 等人提出使用自由曲面反射器收集被数字微镜元件向两侧反射的光线,再通过投影透镜透射到配光屏幕上[8],但该自由曲面设计极为复杂,只能简单实现传统远光灯、近光灯功能,无法实现自适应前照灯的多种光斑。因此,迫切需要一种既能充分利用数字微镜元件向两侧反射的光线,又能方便地实现自适应前照灯的各种照明要求的光学设计方案。

1 数字光处理投影系统

数字微镜元件(Digital Micromirror Device,DMD),由美国德州仪器公司于 1987 年发明,它基于半导体制造技术,由高速数字式光反射开关阵列组成,它在一个芯片上集成了大量的微镜, 微镜可独立高频翻转在正反两个位置,每个微镜对应于一个像素[9]。微镜的翻转角度不同,反射光的出射方向就不同,所以每个微镜相当于一个光开关,当光开关打开时,反射光通过投影透镜投射到屏幕上,像素处于亮态;当光开关关闭时, 反射光不投射到屏幕上, 像素处于暗态,如图 1 所示。通过二进制脉宽调制技术能精确控制每个像素的灰度等级,如图 2 所示[10]。

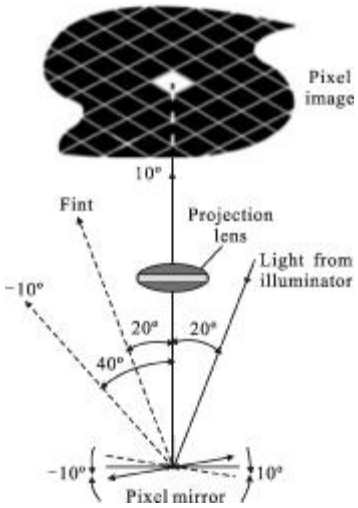

图 1 微镜翻转示意图

Fig.1 Turning schematic of micro mirror

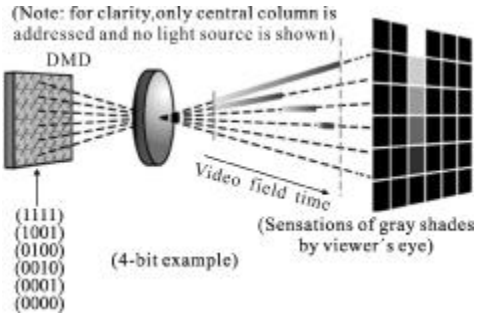

图 2 数字微镜元件成像原理图

Fig.2 Imaging schematic of DMD

数字光处理(Digital Light Processing)投影系统简称 DLP 投影系统，它是基于 DMD 元件实现数字图像信息的显示[11]。

如图 3 所示,单片式 DLP 投影系统具有一个照明光路和一个投影光路,包括光源、反光碗、滤波器、色轮、导光管、中继透镜、反射镜、DMD、吸收体和投影透镜[7],其中反光碗聚集灯泡发出的光线进入照明光路中,一般具有椭球面的结构;滤波器阻止光源发出的红外线和紫外线进入系统内部，红外线可导致系统温度升高,紫外线导致器件的加速老化;色轮是一组分色镜,可以根据需要透过红光、蓝光、绿光或白光,是 DLP 投影系统显示颜色的来源;导光管具有均匀光线的功能,可使 DLP 投影系统光均匀度达 90%以上。

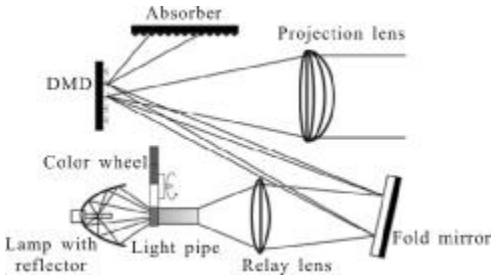

图 3 单片式 DLP 投影系统结构图

Fig.3 Structure of a one chip DMD projector

2 光学结构设计

国内外的汽车前照灯配光标准对前照灯的光型和照度分布都有着严格的规定，但它们大多是相近的。欧洲经济委员会于 2007 年 2 月颁布 ECE No.123 法规,名为 Uniform provisions concerning the approval of adaptive front-lighting systems (AFS) for motor vehicles,图 4 是该法规中的配光屏幕,屏幕上的每个测试点及测试区域都有具体的照度要求：前照灯既要提供自身驾驶员足够的视野，又要防止对对方驾驶员造成眩目影响，光型及光照分布要求苛刻。因此，要完成自适应前照灯的多种照明光斑的光学设计是非常困难的。

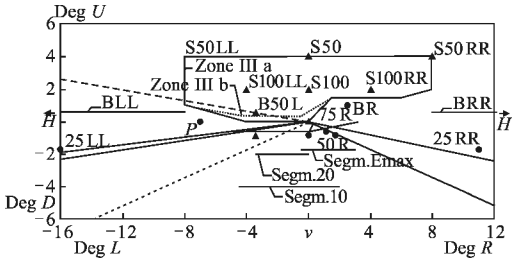

图 4 ECE 配光屏幕

Fig.4 Screen of ECE

文中设计了一种基于 DMD 的自适应前照灯系统光学方案,采用的光学结构如图 5 所示。光源发出

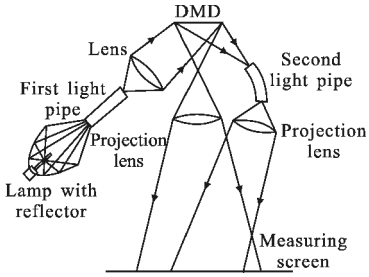

图 5 光学结构原理图

Fig.5 Schematic of optical system

的光线经第一导光管匀光后通过中继透镜照射到 DMD 上,微镜翻转到一侧后反射的光线通过投影透镜后到达配光屏幕,形成主光斑,对于微镜翻转至另一侧后反射的光能，至今可检索到的类似系统和现有的 DLP 投影系统处理的方法是用光吸收体吸收掉[7-8],这种方式造成了光能损失,不能充分利用汽车上有限的电能,并且吸收掉的光能会转化为热能,增加了系统发热量。在此,提出利用第二导光管来收集微镜翻转到另一侧后反射的光线，并通过透镜投射到配光屏幕上的一个固定区域,形成辅助光斑。通过对 DMD 上每个微镜的控制能精确控制配光屏幕上每个像素的照度值。光源可根据环境照度自动调整亮度,如在黄昏时及照明较好的城镇道路,光源亮度降低。

3 实验结果

根据以上光学方案,利用光学软件 Tracepro 进行仿真,如图 6(a)所示。(1) 反光碗为椭圆形面,光源灯丝远小于椭圆面,灯丝近似位于椭圆形的一个焦点上, 光线反射汇集到椭圆面的另一焦点上,第一导光管放置在该焦点处。(2) 为了满足多种照明模式需求,所设计系统的配光屏幕(投影屏幕)大小为10 m×2.7 m,配光屏幕上每个像素的亮度值可被精确控制,匹配长宽比为 15:4 的 DMD 芯片、同时第一导光管横截面长宽比也为 15:4 的矩形,经第一导光管匀光后的光线通过透镜形成长宽比为 15:4 的矩形均匀照明光斑。(3) 第二导光管横截面形为长宽比为 7:2 的矩形。

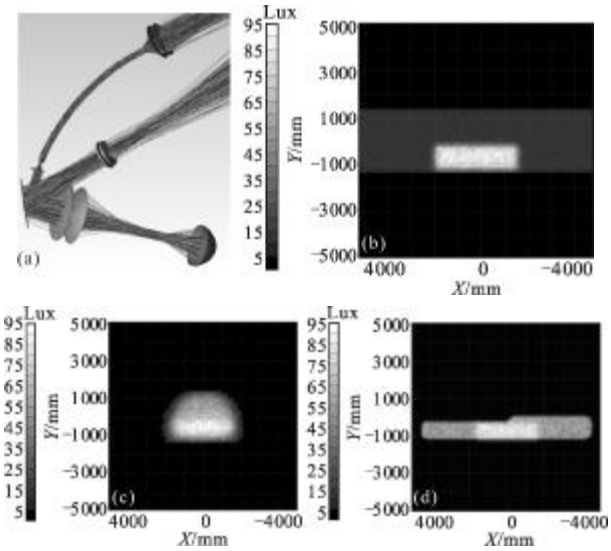

图 6 仿真结果

Fig.6 Simulation results

配光屏幕设在 25 m 远处,屏幕上每个像素对应一个微镜, 通过控制每个像素的亮度可以实现不同的输出光型和照度分布。经第二导光管收集的光线投射到配光屏幕上形成一个均匀的辅助光斑, 通过对配光要求的分析, 发现所有照明模式有个重叠区域,且该区域照度要求高,把辅助光斑照射在该区域里,如图 6(b)所示。图 6(c)为高速公路模式输出的光斑效果,光线集中于配光屏幕中间部分,图 6(d)为城镇模式输出的光斑效果,光斑更宽阔。

根据仿真结果构建了实验装置, 实验中得到城镇道路模式各测试点的照度值如表 1 所示, 能够满足 ECE No.123 法规的要求。在实验中,根据有效光通量与光源总光通量比值可得光能利用率, 如利用光通量为 2 000 lm 的光源,未使用第二导光管时,配光屏幕上总光通量为 516 lm,利用率为 25.8%;在使用第二导光管后,配光屏幕上总光通量为 724 lm,利用率为 36.2%。

表 1 城镇道路模式各测试点照度值(单位: lux)

Tab.1 Urban road simulated values(Unit: lux)

	Test points on the screen	Standard regulatory value	Simulation value
1	B50L	≤0.4	0.30
2	HV	≤0.7	0.60
3	BR	[0.1,1]	0.73
4	Segment BRR	≤1	≤0.76
5	Segment BLL	≤1	≤0.72
6	Zone III	≤0.7	0.60
7	50 R	≥6	14.8
8	50 V	≥6	15.6
9	50 L	[4.2,15]	13.1
10	25 LL	≥1	2.1
11	25 RR	≥1	3.8
12	Segment 10 and below it	≤14	≤11.2
13	E_{max}	[10,50]	35.3

4 结 论

文中设计了一种基于 DMD 的自适应前照灯系统光学方案,该方案以 DMD 芯片为核心部件,通过对 DMD 上每个微镜的控制能精确控制配光屏幕上每个像素的照度值,可以方便地实现远光、近光、高速道路、弯道、城镇道路等照明模式,采用第二导光管大大提高了光能利用率,同时减少了系统发热量。该方案可实现的照明模式多且照明灵活, 能量利用率高,具有广泛的市场前景。

参考文献:

[1] Detlef Decker. Adaptive headlights aim to ease nighttime driving hazards[J]. Photonics Spectra, 2006, 12: 54-58.

[2] Peter Brick, Tobias Schmid. Automotive headlamp concepts

with low-beam and high-beam out of a single LED [C]// SPIE, 2011, 8170: 817008.

[3] Yu Guiying, Jin Ji. Design of a novel lens for projector system of LED automotive headlamp[J]. Infrared and Laser Engineering, 2009, 38(2): 282-286. (in Chinese)
余桂英, 金骥. 用于投射式 LED 汽车前照灯的新型配光镜的设计[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(2): 282-286.

[4] Aleksandra Cvetkovic, Oliver Dross, Julio Chaves, et al. Etendue-preserving mixing and projection optics for high-luminance LEDs, applied to automotive headlamps [J]. Opt Express, 2006, 14(26): 13014-13020.

[5] Huang M S, Hung C C, Fang Y C, et al. Optical design and optimization of light emitting diode auto-motive head light with digital micromirror device light emitting diode [J]. Optik, 2010, 121(10): 944-952.

[6] Mahendra Somasara Dassanayake, Paul Mulvanny, Sheran Anthony Alles. Headlamp system with selectable beam pattern[P]. Unite States: US 6,497,503 B1, 2002.

[7] Günther. Optical concept for an active headlamp with a DMD array [C]//SPIE, 2008, 7003: 70032D.

[8] Hung C C, Fang Y C, Huang M S, et al. Optical design of automotive headlight system incorporating digital micromirror device[J]. Applied Optics, 2010, 49(22): 4182-7.

[9] Kang Weimin, Li Yanbin, Gao Weizhi. Dynamic IR scene projector using a digital micro-mirror device [J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(5): 753-756. (in Chinese)
康为民, 李延彬, 高伟志. 数字微镜阵列红外动态景象模拟器的研制[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(5): 753-756.

[10] Refai Hakki H, Sluss Jr James J, Tull Monte P. Digital micromirror device for optical scanning applications [J]. Opt Eng, 2007, 46: 085401.

[11] Xi Qingkui, Chen Lei, Zhu Rihong. Ronchi test based on digital micromirror device[J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(3): 341-344. (in Chinese)
席庆奎, 陈磊, 朱日宏. 基于数字微镜器件的朗契检验[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(3): 341-344.

下期预览

基于 RTX 和反射内存的红外景象投射系统实时性设计

苏德伦[1,2],张金生[1],廖守亿[1]

(1. 第二炮兵工程大学,陕西 西安 710025; 2. 中国人民解放军 96111 部队,陕西 韩城 715400)

摘　要: 红外景象投射是红外成像半实物仿真的关键技术,实时性是其重要性能指标。提出一种红外景象投射系统设计方案,系统由红外图像生成和红外图像转换两部分组成。图像生成系统基于通用 GPU 实现,图像转换基于电阻阵列实现。根据仿真应用对像元规模和帧频的需求,采用反射内存网络实现图像数据传输和帧同步。通过红外图像帧周期测试,评估系统的实时性。测试结果表明,在 Windows 系统下红外图像生成帧周期不稳定,会出现随机性大幅度偏差。提出采用 RTX 的扩展的实时性设计,给出详细实现方案。试验结果表明:Windows 系统中断响应的不确定性是影响图像帧频稳定的主要原因,基于 RTX 的实时性设计可以保证图像生成在帧同步控制下稳定地以 200 Hz 帧频运行。