

# 空间场景模拟器的光源系统设计

甘新基<sup>1,2</sup>, 付有余<sup>2</sup>, 郭劲<sup>2</sup>

(1. 北华大学, 吉林 132013; 2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

**摘要:** 针对空间场景模拟器的需要, 本文提出采用子通道滤光技术和 DSP 控制技术来模拟恒星光谱和亮度, 可以精确地模拟恒星的星等亮度和光谱。理论分析表明, 光谱滤光子通道越多, 模拟的光谱越接近真实的光谱。同时理论上也证明了采用 DSP 的 PID 技术可以更为精确和稳定的控制输出的光强。最后给出了一致性的实验结果。

**关键词:** 场景模拟器; 光源; 滤光

中图分类号: TH753

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870 (2010) 04-0062-03

## The Luminous Source Design of the Space Scene Simulator

GAN Xinji<sup>1,2</sup>, FU Youyu<sup>2</sup>, GUO Jin<sup>2</sup>

(1. Beihua University, Jilin, 132021; 2. ChangChun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033)

**Abstract:** To meet the needs of the luminous source of the Space Scene Simulator, a sub-channel light-filtering technique and DSP control technique are promoted to adjust precisely the spectrum distribution and the luminance of simulated star. Theoretical analysis indicates that the simulated spectrum is closer to actual star spectrum with the use of more light-filter sub-channels. The output intensity of simulated star can be controlled precisely and steadily by the PID technique. Finally a coincident result of experiment is given to verify the theory analysis.

**Key words:** scene simulator; luminous source; light-filtering

空间场景模拟器模拟光源有两个基本功能, 一是模拟恒星的可见光光谱特征, 二是模拟恒星的亮度等级——星等<sup>[1]</sup>。本文的工作主要是对实现这两个功能提出了一种实现恒星模拟的方法。该方法通过对比恒星的光谱特性, 采用一组卤钨灯作为模拟光源, 并通过窄带滤光片组合技术得到与恒星可见光波段光谱一致的模拟光谱带。然后再采用变密度盘和减光片、基于 DSP 的调压原理多级衰减技术调节模拟光源的输出光强, 从而得到所需模拟星等。

## 1 光谱的组合窄带滤波技术

### 1.1 黑体辐射定律

天体辐射源的光谱是连续谱, 其辐射强度 $I(\lambda)$ 是随频率 $\lambda$ 缓慢变化的函数, 而对于吸收谱或发射谱, 其强度只在很窄的谱间隔内( $\Delta\lambda \ll \lambda$ )有很强的变

化<sup>[2]</sup>, 如图 1 所示。黑体辐射的性质: 黑体辐射的辐射强度 $I_\lambda$ 仅依赖于温度 $T$ , 其强度以普朗克函数 $M_\lambda(T)$ 表示<sup>[3-5]</sup>。

$$M_\lambda(T) = \frac{2hc^3}{\lambda^2} \frac{1}{\exp(hc/kT\lambda) - 1} \quad (1)$$

根据维恩位移定律,  $M_\lambda(T)$ 处于峰值时所对应的最大波长为:

$$\lambda_{\max} = 2.898 \text{mk} / T$$

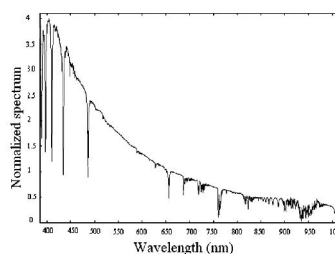


图1 织女星可见光波段光谱图

Fig.1 Visible spectrum of Vega star

收稿日期: 2010-06-11

基金项目: 中国科学院二期创新工程项目 (项目编号 KGCX2-SWJG-07-2)

作者简介: 甘新基 (1969-), 男, 博士, 副教授, 主要从事光电对抗技术研究, E-mail: ganxinji@sian.com。

恒星的光谱类型取决于恒星的有效温度,但是由于每一颗恒星的所含元素的丰度不同,所以通常在其连续的光谱上还有很多吸收线和发射线,如图1的织女星的光谱所示,这些吸收线和发射线也影响着恒星的发射强度。我们再给出与织女星有效温度相同的黑体辐射的光谱,两者比较可以发现,其差别仅仅在于有无吸收线,两者的辐射强度的差别也是由吸收线的影响造成的,但是由吸收线(或发射线)在整个光谱中所占的比例是可以忽略的,所以在我们星体光谱模拟中可以将恒星的光谱近似地用黑体辐射的光谱来代替,这样我们只要选择相应的黑体辐射特性的光源就可以得到恒星的模拟光源。

## 1.2 组合子通道滤光技术

采用组合子通道滤光技术实现恒星光谱的模拟。用数个窄带滤光片将灯源的光谱曲线进行分段窄带滤光,然后进行合成输出成某星的光谱。如图2所示。假设恒星的光谱为 $M_s(\lambda)$ ,而由卤钨灯模拟得到的光谱为 $M'_s(\lambda)$ ,那么光谱的辐出度差为

$$\Delta M = |M_s(\lambda) - M'_s(\lambda)| \quad (2)$$

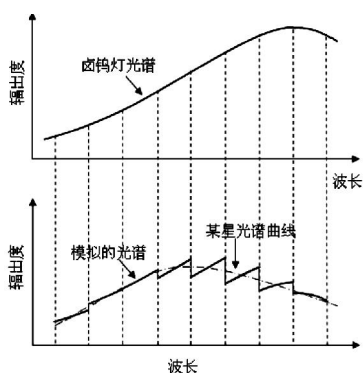


图2 光谱的子通道滤光与合成图

Fig.2 The diagrammatic sketch of light-filtering and synthesis of light subchannels

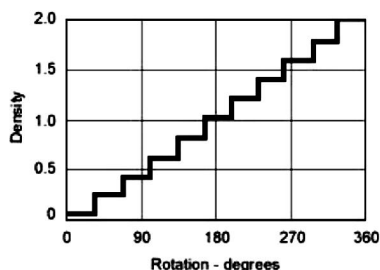


图3 变密度盘的光学密度与旋转角度的关系

Fig. 3 Optical density Vs. angle of rotation of the variable-density disk

模拟得到的光谱与实际光谱存在着辐出度差 $\Delta M$ ,这是由于卤钨灯的光谱曲线与被模拟的恒星光谱曲

线不一致产生的。由图2可知,滤光子通道数的增加可以降低这种辐出度差 $\Delta M$ ,达到所需的光谱精度。

## 2 DSP的数字电压调节多级组合衰减技术

### 2.1 衰减轮衰减

在粗调阶段,需要根据所模拟的星等等级,调节每个光波段内的光强。在每个光谱段使用了一组中性变密度盘和减光片组合衰减。圆形步进中性变密度盘的膜层材料为NiCrFe,变密度范围是0-2,图3表明了变密度盘的转角与光密度的关系<sup>[6]</sup>。减光片安装在滤光轮上,每个滤光轮可以安装6个滤光片,使用两组滤光轮进行组合衰减,以便得到充分多的衰减等级。显而易见,这种变密度盘和减光片的组合可以给出足够数量的衰减等级。

### 2.2 基于DSP数字衰减技术

#### 2.2.1 PWM调光原理

图4为PWM调压原理图<sup>[7]</sup>。该电路将输入的直流电压转换成脉冲电压,再将脉冲电压经LC滤波转换成直流电压。输入电压 $U_i$ 为直流电压;晶体管T为调整管,即开关管; $U_B$ 为矩形波,控制开关管的工作状态;电感L和电容C组成滤波电路,VD为续流二极管。当 $U_B$ 为高电平时,T饱和导通,VD因承受反压而截止,电感L存储能量,电容C充电;发射极电位 $U_E = U_i - U_{CES} - U_{i0}$ 。当 $U_B$ 为低电平时,T截止,此时虽然发射极电流为零。但是L释放能量,其感生电动势使D导通;与此同时C放电,负载电流方向不变, $U_E = -U_D$ 。在 $U_B$ 的一个周期T内, $T_{on}$ 为调整管导通时间, $T_{off}$ 为调整管的截止时间,占空比 $q = T_{on}/T_{off}$ 。输出电压的平均值为 $U_o = qU_{i0}$ 。改变占空比q,即可以改变输出电压的大小。

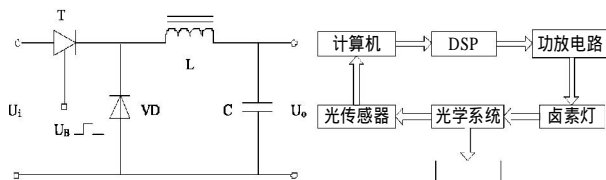


图4 PWM调压原理

Fig.4 Principle of voltage regulation

图5 DSP的闭环控制原理图

Fig.5 Schematic diagram of DSP closed-loop control

#### 2.2.2 基于DSP的控制调节

内部集成了PWM脉宽调制器以及串行通讯口

等外围设备的DSP控制芯片可以方便地对光源的驱动电压进行细微调节<sup>[8]</sup>。图5给出了DSP的闭环控制原理图。在计算机内的电压控制程序中,事先将照度水平与灯电压的关系编入程序中,DSP根据计算机发出的控制指令,调节输出脉冲信号的宽度,整个PWM信号输入到控制功率级电路的基极,调节增强后的输出电压的平均值,再经过滤波电路将高频电压脉冲信号转变成控制灯亮度的直流电压。为了得到一个闭环的控制系统,将灯发出的光束经过聚光镜和光纤后输入到积分球内,在积分球内均匀化后由出光孔射出。位于出光孔前的光电倍增管接收来自积分球的光束,通过光电倍增管的后续电路转化为0-5V的电流信号,然后这个电流信号经过A/D转换,变成数字信号输入到计算机中,通过程序处理后可以知道光束的辐射强度。同时,反馈的到DSP中的信号可以通过运用PID控制技术,调节输出电压的稳定,从而实现光强的稳定输出。

### 3 实验

在实验中采用色温为4200K的金属卤素灯模拟5800K恒星光谱。实验中采用了4个金属卤素灯,分别放置在互相间隔的4个暗室中,然后分别对这4个灯的光谱进行窄带组合滤波和衰减。这4组滤光片分别滤出400nm~500nm、500nm~600nm、600nm~700nm和700nm~800nm的4个可见光波段,然后再分别调节每个灯的衰减滤,得到图6中的模拟光谱曲线,应注意的是模拟光谱的光强实际上已经被衰减了很大程度,其峰值处仅为120个相对计数,图中的曲线实际上是为了比较方便而将其光强幅值放大后的模拟光谱。从图中可以看到,在可见光波段内,模拟的曲线基本和恒星的光谱一致,而在可见光波段外,即小于400nm和大于800nm区域,辐射基本被滤光片滤掉了。与图3不同的是,实验中由于只采用了4个光谱通道,光谱差是较大的。

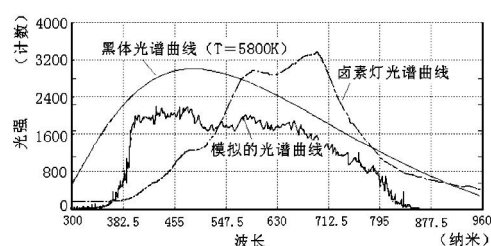


图6 模拟光谱的曲线

Fig.6 Simulated spectrum of the luminous source

### 4 结论

采用组合窄带滤光技术和DSP控制可以有效地模拟出恒星的亮度等级和光谱类型,使场景模拟器输出理想的星等。在实验中存在两个方面的问题,一是光谱通道数越少,光谱模拟精度低;二是如果被模拟的恒星有效温度与光源的色温相差较大时,光谱的误差也会很大。为了避免这种情况的出现,应采取缩小恒星与光源的色温差和提高光源输出光强两种方法。

### 参考文献

- [1] 甘新基,付有余,郭劲.空间目标场景模拟器的星等定标误差分析[J].光学学报,2009,29(s1):211-215.
- [2] 李宗伟,肖兴华.天体物理学[M].北京:高等教育出版社,2001:68-70.
- [3] 赵远,张宇.光电信号检测原理与技术[M].北京:机械工业出版社,2005:7-9.
- [4] 白素平,闫钰锋,付秀华,等.摄像模块景深自动测试技术研究[J].长春理工大学学报:自然科学版,2009,32(4):535-537.
- [5] 刘雷,马宏.准分子激光光束系统的研究[J].长春理工大学学报:自然科学版,2009,32(2):224-226.
- [6] CVI Laser Optics & Coatings, CrownTech Inc. 2003: 272-338.
- [7] 王小东,程寿国,付有余,等.基于DSP的光源闭环控制系统设计[J].灯与照明,2006,30(3):58-59.
- [8] 刘和平,王维俊,江渝,等.TMS320LF240x DSP C语言开发应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003:126-199.