

单通道双谱夜视系统中的光谱匹配及滤光技术*

张 闯, 柏连发, 张毅, 张保民

(南京理工大学 电子工程与光电技术学院 441 教研室, 南京 210094)

摘 要:在分析夜间自然辐射、目标和背景自身的辐射以及反射光谱特性的基础上,结合微光 CCD 摄像机的光电阴极响应谱线,提出光谱分割的设想,并据此设计单通道双谱微光夜视系统方案.依据光谱匹配及滤光技术的原理,提出光学薄膜设计及制作要求.对实际制作滤光膜的分谱特性进行了实验研究.结果表明:滤光膜的分谱效果对于单通道双谱微光系统提高目标识别概率是有效的.

关键词:夜视系统;单通道双谱;光谱匹配;滤光薄膜;分谱

中图分类号: TN223; O484.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2007)09-1668-4

0 引言

微光成像系统是一种利用光增强技术的光电成像系统^[1].微光成像系统靠夜天自然光照明景物,以被动方式工作,受自然照度和大气透明度影响大,并且景物之间反差小,图像平淡而层次不够分明.为了提高景物的分辨率以及目标的识别概率,可以采用不同波段成像系统的信息融合技术,例如微光与红外^[2],微光与紫外^[3]等,将双通道的图像经过融合,得到双通道夜视系统来提高分辨率和目标的识别概率.但是双通道夜视系统由于两个通道成像机理不同,以及视差的存在,使得融合前的配准工作成为难题,影响了夜视系统的发展.针对双通道夜视系统存在的问题,本文分析了物体在微光成像系统中的光谱特性,并结合微光 CCD 摄像机的光电阴极响应谱线,提出一种单通道双谱夜视系统,并且通过对系统光谱匹配技术的研究得到了滤光膜的设计及制作要求.

1 微光成像系统中的光谱特性

夜间自然辐射、目标和背景自身的辐射以及反射的光谱特性如图 1.由图可见,在红光及近红外区域,夜天自然辐射比较强烈,绿色草木和植被在这个光谱范围内也具有强烈反射;在可见光波段,夜天自然辐射能量比较低,绿草及植被的反射也比较弱,在这个光谱范围内几乎不能根据物体的反射特性来区分植被、绿草、泥土及绿漆.综合观察整个光谱范围,难以根据植被、绿草和混凝土的反射特性来区分它们,即在图 2 的微光图像中,不能根据灰度来区分树木、灌木及假山.

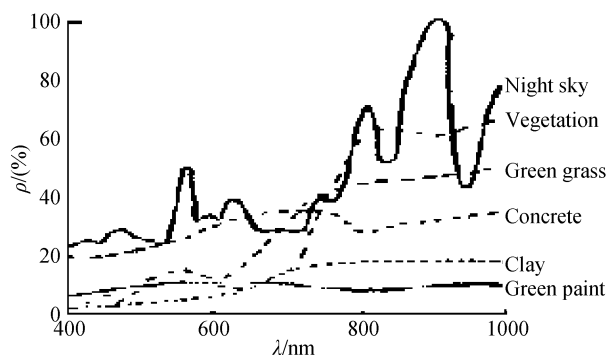


图 1 夜天光分布及几种典型材料的光谱反射特性
Fig. 1 The radiation of night skylight and spectrum reflective characteristics of several typical materials



图 2 微光图像
Fig. 2 Low light level image

微光 CCD 摄像机的光电阴极 S25 的光谱响应如图 3.包括整个可见光和部分近红外辐射,适合

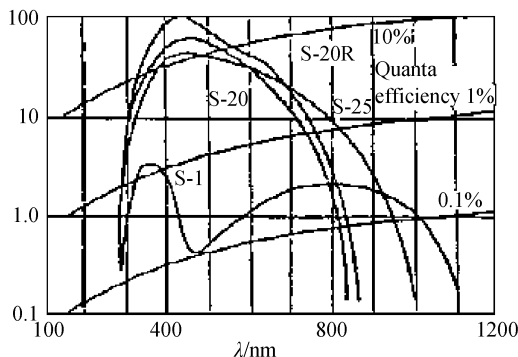


图 3 光电阴极的光谱响应
Fig. 3 Spectrum response characteristics of photoelectric cathodes

*国家自然科学基金(60572107)和国防基础科研项目(A2620060238)资助
Tel:025-84315869 Email:zhch_76@163.com
收稿日期:2006-06-06

于利用月光、星光和夜天自然光摄取景物目标。分析夜天自然光的辐射特性可知,光电阴极 S25 的光谱响应范围包括了可见光的一部分近红外辐射波段,基本上涵盖了图 1 的夜天光辐射及物体反射的光谱范围。

在野外环境中,绿色草木常为背景,涂暗绿色漆的运动军事装备和混凝土结构的固定军事建筑物常为典型目标。根据图 1,它们各有其不同的光谱特性,但在整个微光成像光谱范围(图 2)内却很难区分。如果在反射光谱中选择合适的对比度转换点位置,将光谱分割为两部分,分别成像,得到代表不同光谱信息的两幅图像(即两个单色微光图像信号),

即可以分别在不同的图像中将不同的物体根据灰度的大小来区分。

2 单通道双谱夜视系统

通过上述成像原理分析,可得出单通道双谱微光夜视系统的设计方案框图如图 4。该方法设计的核心思想就是通过分谱滤光膜将单通道微光所得到的图像分成具有不同光谱特性的全波图像和短波图像,对全波图像和短波图像进行补偿后,采用图像融合及彩色空间映射的方法得到彩色夜视图像,以提高目标的识别概率并避免双通道方法的配准难、实时性差及成本高的问题。

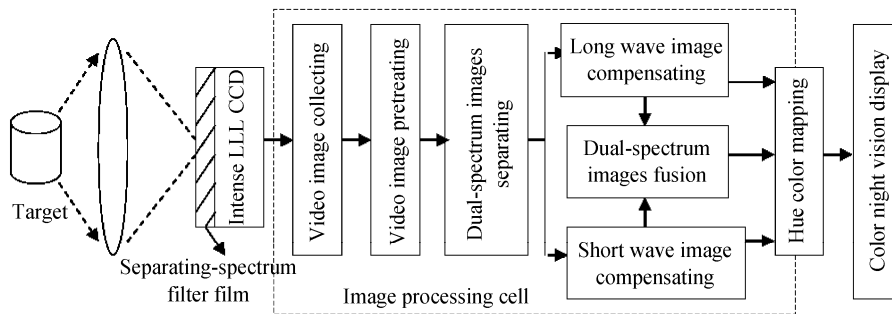


图 4 系统设计方案框图
Fig. 4 Design project diagram of the method

根据单通道双谱微光夜视系统的设计方案,单通道微光成像系统能够得到两幅图像的基础在于根据光谱匹配技术^[4],设计得到最佳光谱分割的滤光膜。

全波波段(W)直接透过整个光电阴极 S25 的光谱响应范围;短波波段(S)透过仅包括 400~650 nm 的短波信息。

3 光谱匹配技术

分析图 1 的光谱特性,进行光谱分割,可获得目标与背景的对比度增强效果。因此,单通道需要采集 650 nm 前后的两个波段的信息。650 nm 之前的光谱信息可以准确地提供混凝土建筑物的位置,将其与泥土、草木、植被等区别开来;650 nm 之后的光谱信息可以从灰度上进一步区分植被、绿草、混凝土、泥土和绿漆。但是微光的光强比较弱,要制作完全满足这种条件的滤光片,会造成很大的光损失,并且这种滤光片很难制作。因此,在不影响双谱融合对比度增强效果的前提下,采用图 5 的滤光膜。其中

4 系统薄膜设计与制作

为了满足单通道双谱微光夜视系统的分谱目的,分谱滤光膜的镀膜^[5]部分应该满足下列要求:1)在 400~600 nm 间,要求基本全透,即短波范围信息完全透过,且在透过部分的最小透过率为 80%;2)在 600 nm~700 nm 的过渡区内,为减小膜的厚度,衰减曲线不做要求,但应保证在 700 nm 处的透过率≤5%;3)在 700~1000 nm 的近红外/红外光谱范围内,要求最大透过率小于 7%,以保证全波信息的截止;4)因光电阴极 S25 在 ≥1000 nm 的范围响应已不明显(严重衰减),所以对这段光谱范围不做要求。

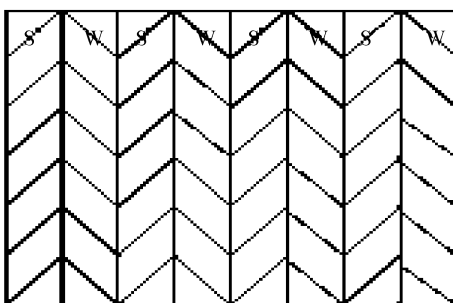


图 5 分谱滤光膜
Fig. 5 Stripe light filter

根据设计要求,采用薄膜设计软件 TFCalc 3.5 进行薄膜设计,使用韩国 PTK 公司的 PMC-900 高真空蒸发式镀膜机进行镀膜实验。镀膜过程采用光控和晶控结合的方法对膜厚进行控制,得到的光学薄膜经美国 PE 公司 Lambda-950 分光光度计测得其光谱特性如图 6。

观察图 6 中的实际薄膜透过率曲线,基本满足上文中的要求,在 400~600 nm 波段的最低透过率

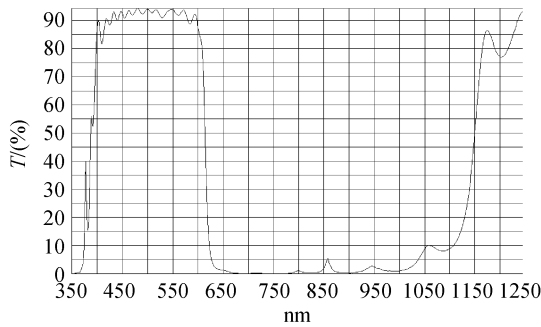


图 6 薄膜的光谱特性

Fig. 6 Spectrum characteristics of filter

为 82%，其过渡区的斜率为 0.9(透过率/过渡区带宽)，而且在 700~1 000 nm 的截止带内最大透过率为 5%左右。通过对图 6 中谱线的分析可知能够采用此光学薄膜进行实验研究。

5 实验与结果

利用图 6 中的光学薄膜进行了相应的野外实验：对于相同的景物，首先用微光 CCD 摄取微光全波图像如图 7。观察图 7，不能从图中根据灰度区分树木、灌木及混凝土石头；接着将图 6 的滤光膜系置于微光 CCD 镜头前摄取微光短波图像如图 8。观察图 8，虽然不能根据灰度区分出树木和灌木，但是混凝土石头的轮廓却清晰可见。这就是说根据短波图像可以清楚的辨别出混凝土结构的物体；分别采用谱域融合和灰度调制融合^[6]方法对微光全波图像和微光短波图像进行融合，得到的融合结果分别如图 9、图 10，从图中可以看出，目标混凝土石头清晰可



图 7 全波图像

Fig. 7 Whole waveband image



图 8 短波图像

Fig. 8 Short waveband image



图 9 谱域融合

Fig. 9 Spectrum field fusion

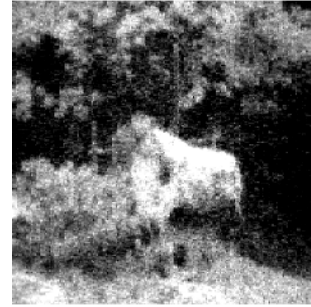


图 10 灰度调制融合

Fig. 10 Gray-scale modulation fusion

辨，而且同树木和灌木能够清晰的区分。

为了评价融合对于图像质量的改善及目标识别概率的提高效果^[7]，分别求取了全波图像、短波图像和融合图像的空间信噪比分别为：7.043、8.726 和 25.983，可见融合图像能够在空间信噪比方面改善图像的质量。

同时，为了验证目标识别概率的提高效果，组织了 80 名大三学生进行了主观目标识别概率的测量，给出观察者图像中可能出现的景物为石头、树木、草丛，目标人，让观察者依次观察短波图像，全波图像及谱域融合图像，得到的观察结果列于表 1。从表 1 的结果可以看出双谱图像的融合有效地提高了目标和景物的识别概率。

表 1 观测实验结果

图像	发现目标且 目标个数判断 正确的人数	看清背景树 的人数	看清背景石 头的人数
1. 短波图像	0(0.00%)	8(10.00%)	6(7.50%)
2. 全波图像	3(3.75%)	9(11.25%)	3(3.75%)
3. 融合图像	45(56.25%)	11(13.75%)	25(31.25%)

6 结论

根据夜天光自然辐射及不同物体在夜天光下的反射特性，结合微光 CCD 的光谱响应范围，可以利用滤光薄膜将光谱分为两个部分，光谱分割点为 650 nm 可以有效的分割光谱。在两个不同的光谱范围内得到不同的突出景物特点的光谱特性。使用薄膜设计软件可以设计出符合要求的滤光薄膜，并且

根据实验的结果,滤光薄膜的分谱效果对于单通道双谱微光系统提高目标识别概率是有效的.针对单通道双谱微光系统的进一步研究将集中于薄膜切分及图像的分离和补偿方法.

致谢:感谢南京理工大学电子工程与光电技术学院的王青老师在镀膜技术方面给予的指导和帮助,感谢真空镀膜实验室的全体老师为滤光膜的制作提供实验条件.

参考文献

- [1] BAI Lian-fa, CHEN Qian, KONG Jie, *et al.* Fusion technology for infrared and low light level images[J]. *J Infrared Millim Waves*, 1999, **18**(3):47-52.
柏连发,陈钱,孔捷,等.红外与微光图像融合技术研究[J].红外与毫米波学报,1999, **18**(3):47-52.
- [2] JOHNSON C B, SINHA D, LAPLANTE P A. Proceedings of SPIE: Low-light-level and real-time imaging systems, components, and applications[C]. *SPIE*, 2002, **4796**:278.
- [3] DAVID A F, RICHARD T I, NEIL B, *et al.* Multisensor & spectral image fusion & mining: from neural systems to applications[C]. Proceedings of the 32nd Applied Imagery Pattern Recognition Workshop, 2003 IEEE, 0-7695-2029-4/03.
- [4] DI Hui-ge, LIU Lei. The research of spectral matching factors under the laser aids[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(2):214-216.
狄慧鸽,刘磊.激光 assist 下,光谱匹配技术的研究[J].光子学报,2006, **35**(2):214-216.
- [5] ZHANG Zi-ye, ZHOU Dong-ping, ZHANG Feng-shan. Three half-wave filter and analysis of layer thickness [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(5):710-712.
张子业,周东平,张凤山.三半波带通滤光片的制作与膜厚分析[J].光子学报,2005, **34**(5):710-712.
- [6] WANG Li-ping, SUN Shao-yuan, CHEN Qian, *et al.* Low light level image characteristics and image fusion technology[J]. *J Infrared Millim Waves*, 2000, **20**(1):1-5.
王利平,孙绍媛,陈钱,等.微光图像特征分析及图像融和技术研究[J].红外与毫米波学报,2000, **20**(1):1-5.
- [7] DI Hong-wei, LIU Xian-feng. Image fusion quality assessment based on structural similarity[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(5):766-771.
狄红卫,刘显峰.基于结构相似度的融合图像质量评价[J].光子学报,2006, **35**(5):766-771.

Spectrum Matching and Filtering Technique in Single Channel Dual-spectrum Night Vision System

ZHANG Chuang, BAI Lian-fa, ZHANG Yi, ZHANG Bao-min

(School of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Received date: 2006-06-06

Abstract: Analyzing spectrum characteristics of night natural radiation, target and background radiation and reflection, linking the spectrum response scope of CCD in low light level night vision system, then the spectrum intersected idea is presented and the project of single channel dual-spectrum night vision system is designed. Explaining the principle of spectrum matching and filtering technique, filtering film is designed and make. Experiment is done to study spectrum-segmentation characteristic of filtering film. The results show that the spectrum-segmentation effect of filtering film which is obtained in single channel dual-spectrum night vision system can improve target distinguish probability.

Key words: Night vision system; Single channel dual-spectrum; Spectrum matching; Filtering film; Spectrum-segmentation



ZHANG Chuang was born in 1976 in Hebei province. She received her M. S. degree from Yanshan University in 2004. At present, she is a Ph. D. candidate of optic engineer specialty, Nanjing University of Science and Technology. Her research interests include image processing and system simulating.