

47-52  
A

# 红外与微光图像融合技术研究\*

柏连发 陈钱 孔捷 张保民

(南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏, 南京, 210094)

TN223

TN215

**摘要** 进行了双光谱假彩色微光电视系统的原理与实验研究,对双谱探测技术、最佳匹配滤光技术、逼近白日景物真彩色的假彩色技术做了深入探讨。结果表明:通过红外与微光图像融合能显著提高图像分辨效果和人眼对场景目标的发现和识别概率。

**关键词** 微光夜视, 图像融合, 双谱探测, 红外

## 引言

微光和红外热像的显示图像历来是单色的,通过区分颜色是提高人类视觉的主要途径之一,特别是在低亮度对比情况下,目标与背景之间的色度差别对将目标从其周围背景中识别出来的概率有显著影响。光电成像系统成像过程实质上是目标(或景物)的辐射能(或反射辐射能)通过光电系统之后,在其敏感的光谱范围内积分的过程,可近似表示为

$$b = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \eta(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

式(1)中  $b$  为成像信号大小(即亮度值),  $L(\lambda)$  为夜晚天空光谱辐射度,  $\rho(\lambda)$  为目标的光谱反射率,  $\tau(\lambda)$  为光学系统透过率,  $\eta(\lambda)$  为成像器件的光谱量子效率,  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  为光电阴极敏感范围上限和下限波长。由式(1)可见,在单色夜视仪器中,两个不同目标具有不同光谱反射系数,但在成像之后却有可能给出同一或相近亮度值,因而所成图像对比度非常低,甚至无法分辨这两个不同的目标。因此,发展彩色微光夜视技术势在必行。

但在夜晚微光条件下是无色觉可言的,对夜晚环境中的景物恢复其全真的自然色彩目前还不能实现,原因是:对用于白天彩色电视系统的三通道 RGB 系统,除其机械的和光学的复杂性之外,在夜晚条件下,由于可探测的光谱范围过窄,而导致器件灵敏度降低和图像信噪比变差<sup>[1]</sup>。若利用夜晚条件下景物的不同光谱分布,特别是在近红外部分进行光谱分割,再根据色度学分别赋以不同的基色,对景物进行逼真于白天真彩色的夜晚彩色显示,这就是假彩色微光夜视技术的基本思路。

## 1 双谱假彩色微光电视系统原理与技术

在微光夜视技术发展史上,曾有过多种实现彩色夜视的努力和尝试<sup>[2-4]</sup>,这些方法和设想都未能真正实用化,但为寻求新的彩色夜视技术手段提供了有益的启示。

\* 国防科技重点预研基金(编号 G9621-3)资助项目  
稿件收到日期 1997-12-31,修改稿收到日期 1998-03-16

### 1.1 微光电视系统成像过程

经过微光电视系统成像后,若定义目标和背景的对比度为  $C_T$ ,有

$$C_T = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{B_{\max} + B_{\min}},$$

它可表示为

$$C_T = \frac{\left| \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda) \cdot \rho_1(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \eta(\lambda) d\lambda - \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda) \cdot \rho_2(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \eta(\lambda) d\lambda \right|}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda) \cdot \rho_1(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \eta(\lambda) d\lambda + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda) \cdot \rho_2(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \eta(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

式(2)中  $B_{\max}$  为亮度信号最大值,  $B_{\min}$  为亮度信号最小值,  $\rho_1(\lambda)$  和  $\rho_2(\lambda)$  为目标背景的光谱反射率. 由于光电阴极输出电信号是景物在光电阴极敏感的光谱范围内积分成像的结果, 因此, 对夜晚条件下具有不同反射光谱分布的景物, 经积分后有可能具有相同或相近信号值, 从而降低了输出图像的对比度.

### 1.2 双谱探测技术

图1是几种典型材料的光谱反射特性和夜天光光谱分布特性曲线, 图2是几种典型光电阴极的光谱响应特性曲线. 从图1和2可以看出, 在夜晚条件下, 天空辐射可见部分微弱, 人们将失去色觉. 而事实上, 夜间自然辐射、目标和背景自身的辐射以及反射的辐射, 各有其不同的光谱特性. 就微光成像而言, 夜晚在红光及近红外区域有突出强烈的自然辐射, 物体中绿色草木在这些光谱范围内的反射最强烈. 野外环境常以绿色草木为背景, 典型目标常为涂暗绿色漆的运动军事目标和混凝土结构的固定军事目标为多, 在夜间, 这些典型目标与背景的微光夜视探测的对比度呈现复杂的光谱分布.

双谱假彩色微光电视系统就是利用夜天光辐射以及景物夜间的光谱反射, 选择合适的对比度转换点位置, 将光谱分割为两部分, 分别用两个探测器探测两部分的光辐射信号(即

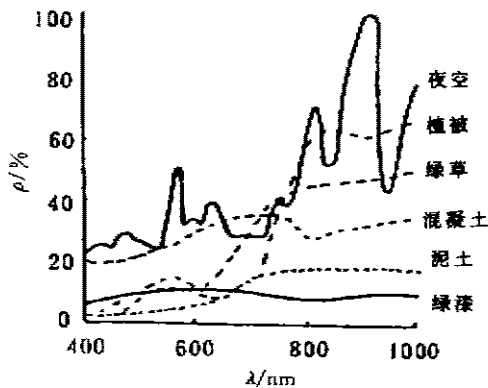


图1 夜天光分布及几种典型材料的光谱反射特性

Fig. 1 Spectral reflectance of several typical materials and spectral distribution property of night sky

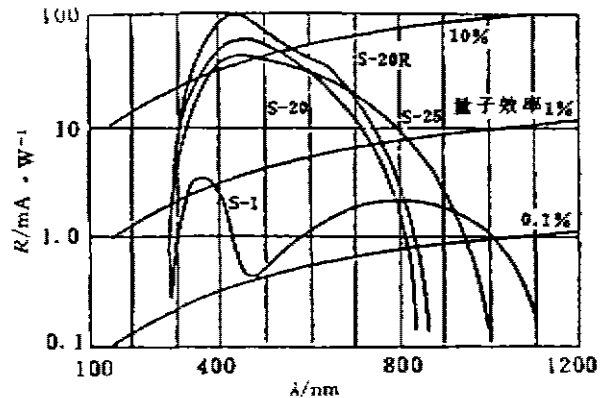


图2 光电阴极的光响应特性

Fig. 2 Spectral response of typical photocathodes

两个单色微光电视图像信号), 经过信号合成后, 分别送往监视器的 R、G、B 三通道, 这就是双谱假彩色微光电视系统的基本原理。

图 3 是双谱假彩色微光电视系统的原理框图: 两个 ICCD 摄像头探测器经同步之后, 一起摄取同一景物, 但它们对同一景物具有不同的光谱响应范围, 即一个通道摄取的是可见光范围( $<\lambda_c$ )图像, 另一个通道摄取的是近红外光谱范围( $>\lambda_c$ )。这两路视频信号同步地送到混合电路进行图像信号合成, 再分别用 R、G、B 驱动彩色监视器的三路显示电路, 即可实现彩色显示。

### 1.3 最佳匹配滤光技术

最佳匹配滤光技术是研究光谱分割点的最佳选择问题, 其原则是对比度反转最大原则, 即选取最佳光谱分割点  $\lambda_c$  使对比度反转

$$C_T = \frac{\left| \int_{\lambda_1}^{\lambda_c} L(\lambda) \cdot (\rho_1(\lambda) - \rho_2(\lambda)) \cdot \tau(\lambda) \cdot \eta(\lambda) d\lambda + \int_{\lambda_c}^{\lambda_2} L(\lambda) \cdot (\rho_2(\lambda) - \rho_1(\lambda)) \cdot \tau(\lambda) \cdot \eta(\lambda) d\lambda \right|}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_c} L(\lambda) \cdot \rho_1(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \eta(\lambda) d\lambda + \int_{\lambda_c}^{\lambda_2} L(\lambda) \cdot \rho_2(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \eta(\lambda) d\lambda}$$

为最大, 如果以绿色草木为野外环境、以混凝土结构为军事目标, 参考图 1 和 2, 经计算机理论计算,  $\lambda_c$  取值约 700nm。

考察图 1 所示和其它材料的光谱反射特性, 很明显, 在  $\lambda=700\text{nm}$  附近确实是不少景物反射率发生很大变化波段, 因而在军事应用当中, 光谱分割点  $\lambda_c$  常选在 700nm 附近, 由于不同类型目标成像后对比度在这点发生反转, 因而  $\lambda_c$  又称为对比转换点。

### 1.4 逼近白日景物真彩色的假彩色技术

逼近白日景物真彩色的假彩色技术是研究如何使图像色彩更接近其白日的真实颜色, 更符合人眼观察习惯, 从而提高对目标的识别效率。在实际野外当中, 绿色植被是最常见的景物, 由图 1 可知, 如若把  $\lambda_c$  之后的红外图像信号送往彩色监视器绿通道(G), 而把  $\lambda_c$  之前的可见图像信号送往彩色监视器的红通道(R), 由于绿色植被 G 路信号大于 R 路信号, 因而绿色植被的彩色图像仍会呈现出绿色, 这才接近真实情况, 符合人眼观察习惯。同时, 这一技术还考虑了色度学中有关白平衡方面的问题, 利用蓝基色信号通道(B), 丰富了彩色监视器所显示的色彩, 且使目标图像颜色更加接近真实。本系统中, B 路信号是接收来自 R 和 G 通道、经混合电路按照一定算法得出的蓝色驱动信号。由于利用了景物的红外部分, 因而这种方法不可能实现真彩色图像显示。

## 2 实验系统设计及实验结果

### 2.1 实验系统介绍

图 4 为本文实验系统功能框图。

### 2.2 实验方案设计及实验结果<sup>[4]</sup>

#### 2.2.1 室内实验方案及结果

本系统实验初始阶段由于缺少适当的滤光系统, 且所使用微光摄像机灵敏度不够高, 实验选在实验室条件下进行。仔细考察前述双谱假彩色微光电视系统的实现原理可知, 实验的关键是首先要得到景物不同光谱范围的两个图像, 即可见光和红外光光谱范围内的反射图

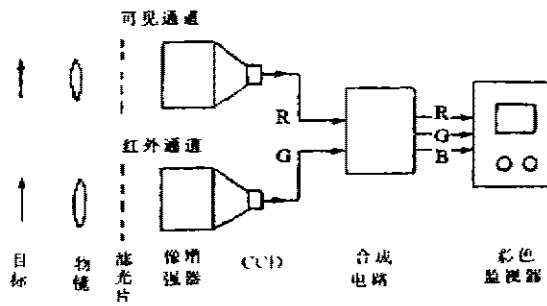


图3 双谱假彩色微光电视系统原理示意图

Fig. 3 The schematic diagram of two-color false CLLL TV system

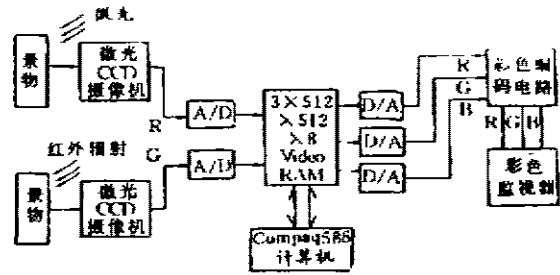


图4 实验系统功能框图

Fig. 4 The schematic diagram of the experiment system

像,这对验证本系统原理是具有实际意义的.为此,最初实验选在实验室暗室当中,利用景物(沙盘)对微光和近红外光的反射,由微光 CCD 摄像机摄取同一景物的两幅静止图像,经采集系统采集后,分送 R、G 帧存储器,再由计算机对两帧图像按逼近白日景物真彩色的原则合成出第三幅图像送 B 帧存储器,R、G、B 经彩色电视信号编码合成送彩色监视器进行彩色显示,图 5 所示为实验结果.



图5 室内实验结果

(a) 微光图像, (b) 红外图像, (c) 双谱假彩色图像, (d) “白平衡”之后假彩色图像

Fig. 5 The indoor experiment results

(a) LLL image, (b) infrared image, (c) two-color image, (d) false image

### 2.2.2 野外实验方案及结果

本阶段实验根据前述原理, 选用适当滤光系统在夜晚野外条件下进行. 实验所用设备同第一阶段, 只是同一景物的两幅不同光谱图像获取方式不同, 一路是以全光谱(即夜晚微光)图像送 G 路, 另一路是加可见滤光片后所到的可见光图像送 R 路. 图 6 为实验结果.

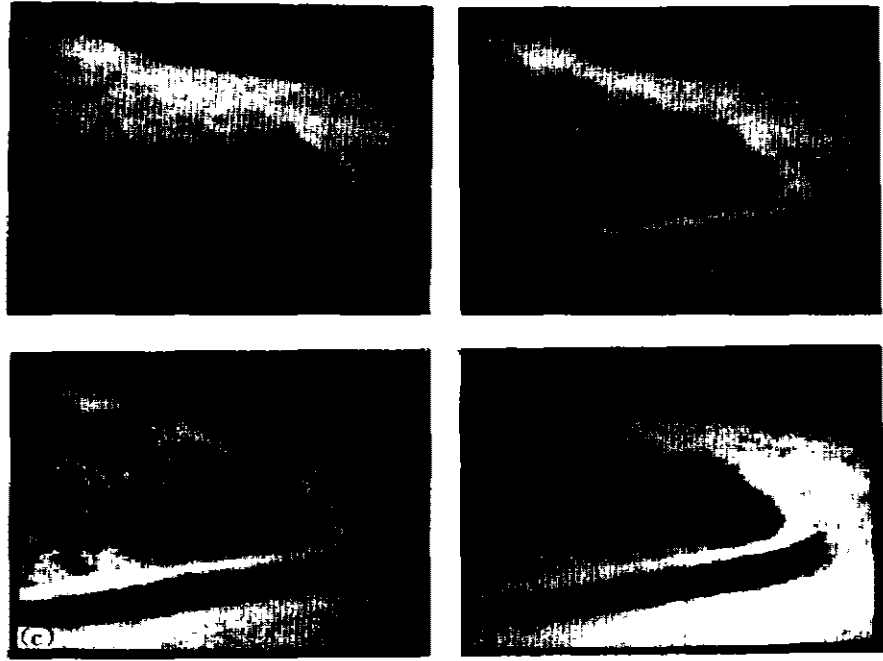


图 6 野外实验结果

(a) 微光图像, (b) “可见光”图像, (c) 双谱假彩色图像, (d) “白平衡”之后假彩色图像

Fig. 6 The outdoor experiment results

(a) LLL image, (b) visible light image, (c) two-color image, (d) false image

### 2.3 实验结果分析

从以上两组实验, 可作如下分析和结论: (1) 景物对比度在不同光谱图像中发生反转; (2) 双光谱假彩色显示能比较显著地提高图像分辨率效果和与人眼对图像目标的识别能力; (3) 双谱假彩色图像对主要目标场景实现了逼近于真实色彩的显示; (4) 逼近白日景物真彩色的假彩色技术确实进一步改善了图像的表现色彩, 这种白平衡技术的主要作用是使景物显示更接近自然色彩, 提高人眼对场景目标发现和识别概率.

### 3 结语

双谱假彩色微光电视技术是一种崭新的夜视技术, 它是发展高探测率 and 高分辨率等优良性能夜视系统的新的研究方向和实现途径. 我们的研究表明: 双谱假彩色微光电视系统确实给出了比单色系统清晰得多的图像, 因而在军事和公安应用方面有很大的应用前景. 但要达到实用水平, 还有不少问题需进一步作深入研究.

## REFERENCES

- 1 Keynolds G T. *Appl. Opt.*, 1991, **30**(11): 1366—1368
- 2 Mulder H. *A. E. E. P.*, 1976, **40A**: 33—39
- 3 Funk H W, *et al.* *Proc. SPIE*, 1990, **1243**: 72—80
- 4 ZHAO Z Y. *Proc. SPIE*, 1990, **1358**: 1252—1256
- 5 BAI Lian-Fa. *Study on noise processing technology for low light level image*, Ph. D Dissertation, Nanjing University of Science and Technology (柏连发. 微光图像噪声处理技术研究, 博士学位论文, 南京理工大学), 1995, 56—69

FUSION TECHNOLOGY FOR INFRARED AND LOW  
LIGHT LEVEL IMAGES\*

BAI Lian-Fa CHEN Qian KONG Jie ZHANG Bao-Min

(College of Electronics and Optics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China)

**Abstract** The principle and experiment study on two-color false CLLL TV system were carried out. Two-color detection technology, the best matching color-filtering technology and false color technology trying to display natural color of the scene in daylight were studied in depth. Results show that through the fusion of infrared and low light level images, the image resolution and the probability by which the scene objects were discovered and discriminated by human eyes can be increased significantly.

**Key words** LLL night vision, image fusion, two-color detection.

---

\* The project supported by the Key Pre-research Foundation of Science and Technology of National Defense in China  
Received 1997-12-31, revised 1998-03-16