

文章编号 1004-924X(2015)12-3465-07

彩色融合图像的质量主观评价

金伟其^{1*}, 贾晓婷¹, 高绍姝², 马国利¹, 潘定平¹, 刘佳妮¹

(1. 北京理工大学 光电学院 光电成像技术与系统教育部重点实验室, 北京 100081;

2. 中国石油大学(华东) 计算机与通信工程学院, 山东青岛 266580)

摘要:考虑人眼主观评价在彩色融合图像质量评价中的重要作用,设计了 52 人的彩色融合图像质量主观评价实验。采用“目标背景的感知对比度”,“清晰度”,“颜色协调性”,“颜色自然感”4 个单一评价指标以及“基于目标探测的图像感知质量”,“基于场景理解的图像感知质量”2 个综合评价指标对绿地、海天和城镇 3 类典型场景、8 种融合算法获得的 240 幅彩色融合图像进行了主观评价,并依此进行指标分值归整及相关性分析,建立了 2 个综合指标的预测模型。实验结果表明:彩色融合图像的“颜色协调性”和“颜色自然感”有较高的相关性;基于目标探测的图像感知质量可用“目标背景的感知对比度”和“清晰度”来描述,基于场景理解的图像感知质量可用“颜色协调性”和“清晰度”来描述。但是对于不同的场景,每个指标的影响效果不同,所以预测模型中的权重系数不同。

关键词:彩色融合图像;主观评价;主观评价指标;综合指标预测模型;分值归整及相关性分析

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20152312.3465

Subjective evaluation of quality for color fusion images

JIN Wei-qi^{1*}, JIA Xiao-ting¹, GAO Shao-shu², MA Guo-li¹, PAN Ding-ping¹, LIU Jia-ni¹

(1. *Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System of the Ministry of Education, Photoelectric College, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;*

2. College of Computer and Communication Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

** Corresponding author, E-mail: jinwq@bit.edu.cn.*

Abstract: In consideration of the important role of human eye subjective evaluation in quality evaluation of color fusion images, a human eye subjective evaluation experiment by 52 people was designed. 240 color fused images gotten by eight kinds of fusion algorithms in three typical scenarios of greenbelts, sea to sky and cities and towns were evaluated subjectively by designed single-evaluation indexes (the perceptual contrast between target and background, sharpness, color harmony and color naturalness) and two comprehensive-evaluation indexes (Perceptual Quality based on Scene Understanding, PQSU and Perceptual Quality based on Target Detectability, PQTD). Then the subjective evaluation data gotten by 52 people for each index score and correlation analysis were carried out and two evaluation models were established. The results show that there is a high correlation between color

收稿日期:2015-07-15; **修订日期:**2015-08-27.

基金项目:国家自然科学基金重点项目(No. 61231014);教育部博士学科点专项科研基金资助项目(No. 201311101130002);十二五总装重点预研项目(No. 40405030302);光电成像技术与系统教育部重点实验室开放基金资助项目(No. 2013OEIOF01, No. 2014OEIOF06)

harmony and color naturalness. The PCTD can be described by the perceptual contrast between target and background and the sharpness and the PQSU can be described by color harmony and sharpness. But, for different scenarios and visual tasks, the weight of each evaluation index is different.

Key words: color fused image; subjective evaluation; subjective evaluation index; comprehensive prediction model; score round and correlation analysis

1 引 言

彩色夜视技术是利用可见光和红外成像波段各自的特点进行图像融合,使得各波段成像优势互补,进而获得适于人眼观察的彩色图像的方法。对于同一个场景的可见光和红外图像,使用不同的彩色融合算法会有不同的效果。因此,如何评价融合算法的优劣已成为彩色夜视融合技术的重要环节,它对彩色融合算法的改进和新的融合算法的研究具有重要的理论意义和指导作用。

目前,图像质量评价主要分为主观评价和客观评价。主观评价是客观评价的基础,它由观察者根据主观感知来评价图像的质量;客观评价则是通过建立客观模型来模拟人类视觉感知,希望得到与主观评价一致的评价结果。由于人眼是彩色融合图像的最终接收者,依据人的主观感觉评价图像是目前最为常用的图像质量评价手段,其具有直接可靠的优点,并且能够检验客观评价模型的有效性。

随着彩色夜视技术的发展,越来越多的学者开展了利用彩色夜视图像质量评价分析影响彩色融合图像质量关键因素的研究。目前国内外对彩色夜视融合图像质量主观评价的研究主要包括:目标探测与识别、几何感知、场景识别等^[1-4]。但是目前评价不仅参量不够齐全,而且由于彩色夜视技术的特殊性,主观评价实验及其评价方法的研究也非常欠缺。因此,急需一种公认的主观评价成像实验及其评价方法。

近年来,本课题组一直从事彩色夜视图像质量的评价方法研究,高绍姝等设计并进行了 17 人的典型场景双波段彩色融合图像质量主观评价实验,提出了 2 个综合评价彩色融合图像质量的回归模型^[5],并建立了图像清晰度、颜色协调性等单一客观评价参量以及基于场景理解的彩色融合图像质量参量的客观评价方法^[6,7],最终证明了方

法的有效性,但其所依据的主观评价实验的人数只比国际标准 ITU-R^[8]多 2 人,略有不足。为此,本文重新设计了 52 参试人的彩色融合图像质量主观评价实验。文中将全面介绍所设计的主观评价实验,并利用多元线性回归分析方法分析基于视觉任务的典型场景类彩色融合图像的综合质量评价参数及其影响因素,期望对彩色融合图像质量评价方法的研究提供主观评价基础。

2 彩色融合图像质量主观评价实验设计

2.1 主观评价实验的观察者

根据国际标准 ITU-R^[8]的规定,评价者人数至少为 15 人。为了使主观评价具有统计意义,本实验在文献^[5]的基础上,设计了 52 人的主观评价实验(其中女性 25 名,男性 27 名,年龄在 20~31 岁),平均年龄为 25 岁。在实验开始前,对观察者进行了颜色视觉和视力的测试,以确保观察者具有正常的色视觉以及正常的视力,并使其清楚地了解各个评价指标的定义。

2.2 主观评价实验的图像

主观评价实验所用的彩色融合图像分为:绿地背景、海天背景和城镇背景。采用 8 种融合算法:TNO 1996 算法^[9]、MIT 1997 算法^[10]、LFinYUV 2007 算法^[11]、OFinYUV 2008 算法^[12]、SP 2009 算法^[13]、以及 3 种色彩传递算法 GTinYUV 2007^[14]、MRTinRGB 2010^[15]和 MRTinYUV 2010^[15]。每个场景 10 组图像,总共 240 幅图。其中绿地背景和海天背景的图像由实验室的 MTV-1881EX 可见光 CCD 和 M600 非制冷红外热像仪采集所得,城镇建筑物背景的图像为 Nigel J. W. Morris^[16]提供的图片。

2.3 主观评价实验设备及环境

主观评价实验在暗室中采用特性化阴极射线

管显示器(CRT)进行,CRT是暗室中唯一的光源。显示器分辨率为 $1\,024\times 768$,白点的色度坐标接近于D65(0.313,0.329),实测结果为(0.313 9,0.329 8),峰值白点亮度为 100 cd/m^2 。在整个主观评价实验中这些设置保持不变。为了确保CRT颜色复制的准确性,使用GOG模型对实际三刺激值与RGB值进行转换,计算得到的平均色差为 $2.1\Delta E_{ab}^*$,满足主观视觉评价实验的要求。

实验前首先对CRT显示器进行2 h左右的预热。每个观察者用2 min时间来适应观察环境,观察距离为50 cm,每幅图像大小均为 $320\text{ pixel}\times 240\text{ pixel}$ 。

2.4 主观评价指标

由于主观评价实验中的观察者包括一些非专业人员,因此,所选用的评价指标要易于理解和判断。此外,指标还应当方便建模量化,并尽可能与人们已采用的一些概念或参数接近。因此,本实验的主观评价指标包括2大类共6个评价参数。

2.4.1 基于视觉任务的感知质量(Perceptual Quality Based on Different Visual Tasks)

对于同一幅图像,基于不同的视觉任务所得到的图像质量评价结果不同。根据彩色夜视所具有的目标突出以及易于场景理解的特点,本文提出了2个基于任务的图像感知质量指标:

(1) 基于目标探测的图像感知质量PQTD(Perceptual Quality Based on Target Detectability)。该指标用于考察观察者观看图像时能否快速发现且认清目标具体是什么,越准确快速,说明这一图像的目标探测性越好,评分越高,对于一幅图像中存在多个热目标的情况需要观察者综合衡量比较后再打分。

(2) 基于场景理解的图像感知质量PQSU(Perceptual Quality Based on Scene Understanding)。评价时,要求观察者在不考虑目标的情况下,综合考虑清晰度、颜色自然感、颜色协调性等各方面图像指标,越能够快速准确理解图像内容的图像给的分数越高。

2.4.2 彩色融合图像的单一性能评价参数

为了评价彩色融合图像的单一性能,设计了4个性能指标:

(1) 目标背景的感知对比度PCTB(Perceptual Contrast between the Target and Background)

目标背景的感知对比度是图像的最基本特性之一,其极大程度地决定了目标的易发现程度,对图像质量的影响较大,对比度过大或过小都会导致图像的细节辨认不清,图像质量下降。观察者可以把PCTB理解为目标背景的亮度差以及色度差。

(2) 清晰度S(Sharpness)

清晰度是观察者评价图像质量时常用的一个质量评价指标。它反应了图像本身细节的多少,纹理的清晰程度。

(3) 颜色协调性CH(Colour Harmony)

CH是指衣服图像中各种颜色的搭配、比例是否会产生令人满意、愉快的效果。颜色协调性与颜色的数量、每种颜色所占的面积以及每种颜色的相对位置都有关系。

(4) 颜色自然感CN(Colour Naturalness)

CN指的是经过彩色融合算法获得的图像色彩与实际场景色彩的一致程度。

在评价颜色协调性和自然感时,不考虑目标的颜色,只考虑背景图像的质量。

2.5 主观评价实验过程

在实验开始前首先对观察者进行相关的知识培训,需要详细介绍其主观评价目的、实验过程、评价指标定义及评分标准。

为了避免长时间观察产生视觉疲劳,实验过程中,每隔0.5 h休息5 min。为了使各感知属性在评价时不相互影响,本实验将6个评价指标分成6部分进行。要求观察者每次只用给出一个指标的分数。

实验时,首先显示每组图像的源可见光和红外图像,如图1所示,使观察者对图像内容有所了解,然后随机显示图1(c)~1(j)的8幅彩色融合图像。评价者对随机排列的彩色融合图像按响应指标的定义进行排序,结果包括非常不满意、很不满意、较不满意、略不满意、一般、略满意、较满意、很满意、非常满意9个等级,最终给出每一幅图像的评价分数。实验时要求观察者在无法区分某些图像优劣时给出相同分数,以避免评价的不准确性。

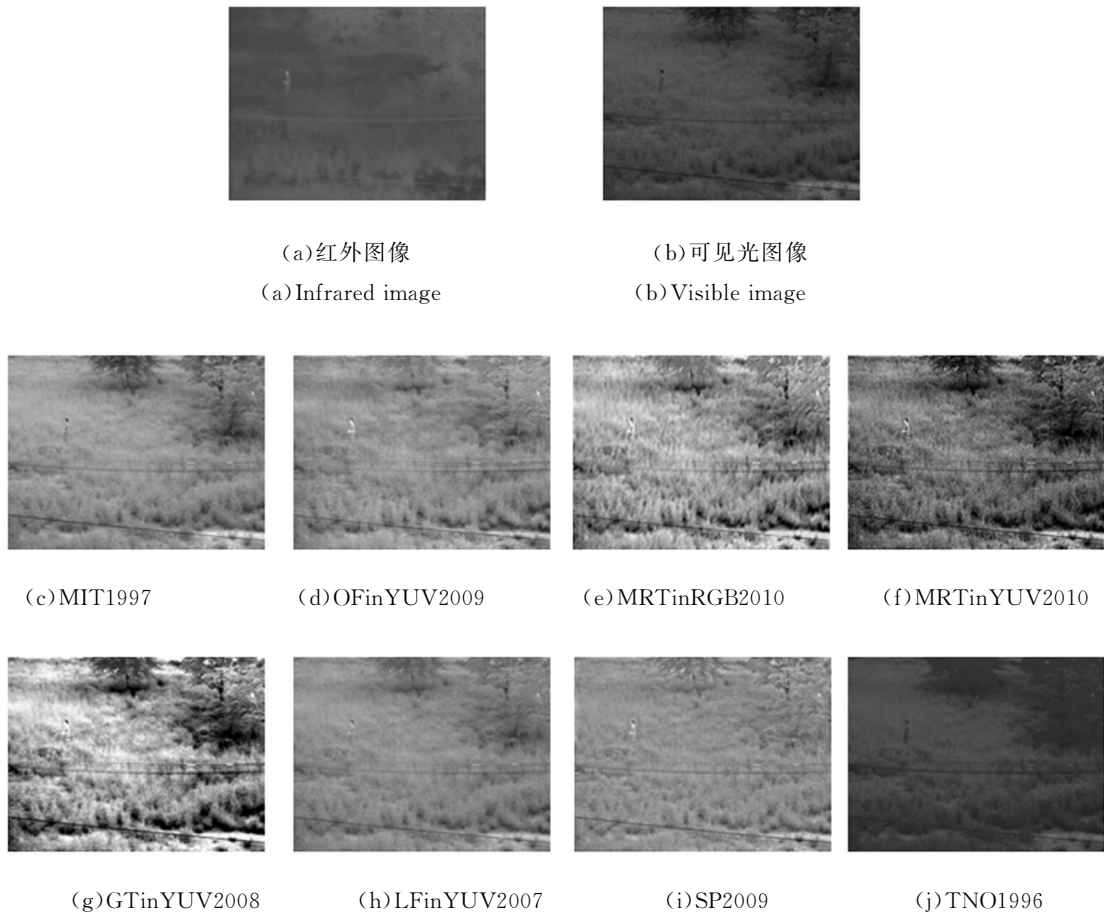


图 1 主观评价实验一组源图像及融合结果图像

Fig. 1 A set of source images and fused results of green plant scenes

3 主观评价实验结果及数据分析

为了将不同分布的原始分数在特定的取值范围内进行综合比较,需要把同一场景、同一评价指标下的不同融合方法得到的原始评价数据作为一组,然后对数据进行标准 0-1 变换:

$$z_{ij} = \frac{y_{ij} - y_j^{\min}}{y_j^{\max} - y_j^{\min}}, \quad (1)$$

其中: y_{ij} 为原始分数, y_j^{\min} 与 y_j^{\max} 分别为该组数据中的最小值和最大值, z_{ij} 为变换后的分数。将 52 位观察者的分数进行标准 0-1 变换后进行加和平均,得到对应图像 6 个方面评价指标的最终分数。然后根据这个综合分数来分析 4 个单一指标间的线性关系以及综合指标与 4 个单一指标的回归方程。

表 1 给出了 6 个评价指标间的 Pearson 相关性。可以看出: PQTD 与 PCTB 和 S 有较强相关

性; PQSU 与 S、CH 和 CN 有较强的相关性。

表 1 6 个指标评价结果的 Pearson 相关系数

Tab. 1 Pearson correlation coefficients between each pair of attributes

		PCTB	S	CH	CN	PQTD	PQSU
PCTB	相关性	1	-	-	-	-	-
	显著性						
S	相关性	0.297	1	-	-	-	-
	显著性	0.000					
CH	相关性	0.120	0.815	1	-	-	-
	显著性	0.064	0.000				
CN	相关性	0.090	0.730	0.969	1	-	-
	显著性	0.166	0.000	0.000			
PQTD	相关性	0.669	0.765	0.549	0.482	1	-
	显著性	0.000	0.000	0.000	0.000		
PQSU	相关性	0.148	0.815	0.992	0.974	0.559	1
	显著性	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	

为了得到最优的图像感知质量评价模型,采用逐步回归方法(Stepwise regression)对 2 个综合指标和 4 个单一指标进行回归分析。本文使用著名的统计分析软件——社会科学统计软件包(Statistical Package for the Social Science, SPSS)进行实验数据的分析^[17]。考虑到不同场景类型的融合图像具有不同的图像特点,本文将 3 个典型场景分开进行分析。采用多元线性回归方法的逐步回归法得到 3 个场景的 PQTD 和 PQSU 预测模型。

3.1 植物背景的综合感知质量预测模型

植物背景 PQTD 回归分析结果如表 2 所示,可以看出:PCTB 与 CH 都具有统计学意义,不存在多重共线性问题,决定系数 R^2 表示 PCTB 和 CH 能够解释 PQTD 变化的 95.8%,F 统计量和显著性水平 $P=0.000$ 也表明能以 99.9% 以上的概率判断回归方程,所以,得到植物背景的 PQTD 回归模型为:

$$PQTD=0.907PCTB+0.129CH-0.022(R^2=0.958) \quad (2)$$

表 2 植物背景的 PQTD 回归模型

Tab. 2 Regression models for PQTD of plant scenes

模型	B	t	Sig.(P)	VIF	F	Sig.(P)	R ²
1(常量)	0.010	0.680	0.499				
PCTB	0.973	37.381	0.000	1.000	1 397.330	0.000	0.947
2(常量)	-0.022	-1.433	0.156				
PCTB	0.907	32.706	0.000	1.408	877.928	0.000	0.958
CH	0.129	4.461	0.000	1.408			

植物背景 PQSU 回归分析结果如表 3 所示,可以看出:评价指标 CH 的显著性水平小于 0.05,具有统计学意义,且不存在共线性问题,得到植物背景的 PQSU 回归模型为:

$$PQSU=1.044CH-0.022(R^2=0.980), \quad (3)$$

表 3 植物背景针对 PQSU 的回归模型

Tab. 3 Regression models for PQSU of plants scene

模型	B	t	Sig.(P)	VIF	F	Sig.(P)	R ²
1(常量)	-0.022	-2.228	0.029				
CH	1.044	61.181	0.000	1.000	3 743.087	0.000	0.980

3.2 海天背景的综合感知质量预测模型

表 4 海天背景针对 PQTD 的回归模型

Tab. 4 Regression models for PQTD of sea and sky scene

模型	B	t	Sig.(P)	VIF	F	Sig.(P)	R ²
1							
(常量)	0.104	3.316	0.001				
S	0.789	14.221	0.000	1.000	202.233	0.000	0.722
2							
(常量)	-0.090	-2.654	0.010				
S	0.838	19.975	0.000	1.022	211.980	0.000	0.846
PCTB	0.340	7.902	0.000	1.022			

海天背景 PQTD 回归分析结果如表 4 所示,可以看出:表中各回归系数都具有统计学意义,不存在多重共线性问题,PCTB 和 S 能够解释 PQTD 变化中的 84.6%,海天背景的 PQTD 回归方程为

$$PQTD=0.340PCTB+0.8385S-0.090(R^2=0.846), \quad (4)$$

海天背景 PQSU 回归分析结果如表 5 所示。

表 5 海天背景针对 PQSU 的回归模型

Tab. 5 Regression models for PQSU of sea and sky scene

模型	B	t	Sig.(P)	VIF	F	Sig.(P)	R ²
1							
(常量)	-0.008	-0.969	0.336				
CH	1.010	72.178	0.000	1.000	5 209.701	0.000	0.985
2							
(常量)	-0.033	-2.658	0.010				
CH	1.021	71.965	0.000	1.105	2 801.348	0.000	0.986
PCTB	0.039	2.604	0.011	1.105			

通过 t 值可知颜色协调性对 PQSU 的影响远大于 PCTB,两者的显著性水平均小于 0.05,具有统计学意义。海天背景的 PQSU 回归方程为:

$$PQSU=1.010CH-0.008(R^2=0.985). \quad (5)$$

3.3 城镇场景的综合感知质量预测模型

城镇背景 PQTD 回归分析结果如表 6 所示。

表 6 城镇背景针对 PQTD 的回归模型

Tab. 6 Regression models for PQTD of town scenes

模型	B	t	Sig.(P)	VIF	F	Sig.(P)	R ²
1(常量)	0.146	3.671	0.000				
PCTB	0.718	10.054	0.000	1.000	101.079	0.000	0.564
2(常量)	-0.027	-0.771	0.443				
PCTB	0.601	11.280	0.000	1.071	134.095	0.000	0.777
S	0.440	8.565	0.000	1.071			

模型 2 中的各回归系数都具有统计学意义,不存在多重共线性问题,决定系数 R^2 表示 PCTB 和 S 能够解释 PQTD 变化中的 77.7%,得到城镇场景的 PQTD 回归方程为:

$$PQTD=0.601PCTB+0.440S-0.027 \quad (R^2=0.777). \quad (6)$$

城镇背景 PQSU 回归分析结果如表 7 所示,城镇场景的 PQTD 回归方程为:

$$PQSU=0.885CH+0.150S-0.024 \quad (R^2=0.990). \quad (7)$$

基于本文实验结果,文献[18]已给出了对彩色融合图像颜色协调性的分析,结果表明文献[5,7]结论依然成立。本文对基于场景理解的图像感知质量(PQSU)的预测模型在植物场景和海天场景与文献[5,7]有所区别,在城镇场景与文献[5,7]基本一致。

表 7 城镇背景针对 PQSU 的回归模型

模型	B	t	Sig. (P)	VIF	F	Sig. (P)	R^2
1 (常量)	-0.010	-1.273	0.207		5 690.104	0.000	0.986
CH	1.011	75.433	0.000	1.000			
2 (常量)	-0.024	-3.321	0.001				
CH	0.885	32.419	0.000	5.485	3 777.384	0.000	0.990
S	0.150	5.119	0.000	5.485			

从 3 类场景的分析结果可以看出:目标背景

感知对比度在基于目标探测的图像感知质量 PQTD 预测模型中占了很大的比重,清晰度也占有一定的比例,但是影响较小。

4 结 论

为了实现彩色夜视融合图像的质量和效果评价,本文结合目标探测识别与场景理解两个典型的视觉任务,采用先期提出的“目标背景对比度”,“清晰度”,“颜色协调性”,“颜色自然感”4 个单一评价指标以及“基于目标探测的图像感知质量”,“基于场景理解的图像感知质量”2 个综合评价指标,设计并进行了由 52 名观察者参与的彩色融合图像质量主观评价实验,并依据主观评价数据进行各指标分值归整及相关性分析。结果表明:目标背景感知对比度和清晰度 2 个评价指标可以很好地解释基于目标探测的图像感知质量,场景颜色的协调性和图像清晰度是影响基于场景理解的图像感知质量的主要因素。对于不同的场景,每个指标的影响效果不同,所以预测模型中的权重系数也不同。

由于主观评价实验具有一定的不确定性,增加观察者人数才能有效减小统计偏差。本文实验统计中还存在个别异常例,影响最终统计结果,因此,后续的工作中将进一步增加主观评价人数,完善主观评价实验及其统计分析,并将其用于指导彩色融合图像的客观评价模型研究。

参考文献:

- [1] TOET A, IJSPEERT J K. Perceptual evaluation of different image fusion schemes[C]. *Conference on Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition*, 2001, 4380: 427-435.
- [2] TOET A, SCHOUMANS N, IJSPEERT J K. Perceptual Evaluation of Different Nighttime Imaging Modalities[C]. *Proceedings of the 3rd International Conference on Information Fusion, Paris: IEEE*, 2000, TUD3/17-TUD3/23.
- [3] TOET A, FRANKEN E M. Perceptual evaluation of different image fusion schemes [J]. *Displays*, 2003, 24(1): 25-37.
- [4] 石俊生, 金伟其, 王岭雪. 视觉评价夜视彩色融合图像质量的实验研究[J]. *红外与毫米波学报*, 2005, 24(3): 236-240.
- [5] SHI J SH, JIN W Q, WANG L X. Study on perceptual evaluation of fusion image quality for color night vision[J]. *Journal Infrared Millimeter and Waves*, 2005, 24(3):236-240. (in Chinese)
- [6] GAO SH SH, JIN W Q, WANG L X. Quality assessment for visible and infrared color fusion images of typical scenes[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2012, 10(8): 081101.
- [7] 高绍妹, 金伟其, 王岭雪, 等. 基于颜色协调性的典型场景彩色融合图像颜色质量评价[J]. *北京理工大学学报*, 2012, 32(10):1054-1060.
- [8] GAO SH SH, JIN W Q, WANG L X, et al.. Color-quality assessment for color fusion images of typical scenes based on color harmony[J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2012, 32(10):

- 1054-1060. (in Chinese)
- [7] 高绍姝,金伟其,王岭雪,等. 基于场景理解的双波段彩色融合图像质量评价[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(1): 300-305.
GAO SH SH, JIN W Q, WANG L X, *et al.*. Quality evaluation for dual-band color fusion images based on scene understanding [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43 (1): 300-305. (in Chinese)
- [8] ITU-T, Recommendation ITU-R BT 500-11. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures[S]. 2002.
- [9] TOET A, WALRAVEN J. New false color mapping for image fusion [J]. *Optical Engineering*, 1996, 35(3): 650 - 658.
- [10] Waxman Allen M. , Gove Alan N. , Fay David A, *et al.*. Color night vision: opponent processing in the fusion of visible and IR imagery[J]. *Neural Networks*, 1997, 10(1): 1-6.
- [11] WANG L X, ZHAO Y M, JIN W Q, *et al.*. Real-time color transfer system for low-light level visible and infrared images in YUV color space[C]. *Conference on Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition*, XVI, 2007: 65671G-1~65671G-8.
- [12] 王岭雪, 史世明, 金伟其, 等. 可见光与红外图像彩色融合中的热目标增强方法[J]. 北京理工大学学报, 2008, 28(1): 1-4.
WANG L X, SHI SH M, JIN W Q, *et al.*. Hot targets enhancement for color fusion of visible and infrared image [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2008, 28 (1): 1-4. (in Chinese)
- [13] 史世明, 王岭雪, 金伟其, 等. 自然感色彩的可见光/红外控向金字塔融合[J]. 光电子·激光, 2009, 20(11): 1552-1556.
SHI SH M, WANG L X, JIN W Q, *et al.*. Natural-color-appearance steerable pyramid color fusion for visible and IR images[J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2009, 20 (11): 1552-1560. (in Chinese)
- [14] SHI SH M, WANG L X, JIN W Q, *et al.*. Color night vision based on color transfer in YUV color space[C]. *International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging: Image Processing*, 2008, 6623:B6230.
- [15] 史世明, 王岭雪, 金伟其, 等. 基于多分辨率色彩传递的彩色夜视方法研究[J]. 光子学报, 2010, 39(3): 553-558.
SHI SH M, WANG L X, JIN W Q, *et al.*. Color night vision research based on multi-resolution color transfer [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, 39 (3): 553-558. (in Chinese)
- [16] MORRIS N J W. IRData [EB/OL]. [2007-06-24], (2015-08-27). <http://www.dgp.toronto.edu/~nmorris/data/IRData/>.
- [17] 陈永胜, 宋立新. 多元线性回归建模以及 SPSS 软件求解[J]. 通化师范学院学报, 2007, 28(12): 8-12.
CHEN Y SH, SONG L X. Multiple linear regression modeling and SPSS software to solve [J]. *Journal of Tonghua Normal University*, 2007, 28 (12): 8-12. (in Chinese)
- [18] 苏宇, 高绍姝, 金伟其, 等. 典型场景彩色融合图像颜色协调性的主观评价[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(11): 3767-3774.
SU Y, GAO SH SH, JIN W Q, *et al.*. Color-quality subjective evaluation for color fusion images of typical scenes based on color harmony[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43 (11): 3767-3774. (in Chinese)

作者简介:



贾晓婷(1990—),女,山西运城人,2012年于西安工业大学获得学士学位,2015年于北京理工大学获得硕士学位,主要从事光电图像与系统质量评价等方面的工作。Email:jxt_optics@126.com.

导师简介:



金伟其(1961—),男,博士,教授,博士生导师,1981年2月于北京工业学院获得工学学士学位,1990年9月于北京理工大学获得工学博士学位,现主要从事夜视与红外技术、光电图像处理、光电检测与仪器等研究。Email: jinwq@bit.edu.cn.