

文章编号: 1001-9014(2005)03-0236-05

视觉评价夜视彩色融合图像质量的实验研究

石俊生^{1,2}, 金伟其¹, 王岭雪¹

(1. 北京理工大学 信息科学技术学院 光电工程系, 北京 100081;

2. 云南师范大学 物理与电子信息学院, 云南 昆明 650092)

摘要: 提出夜视彩色融合图像质量评价的三个基本指标是“目标探测性”、“细节”和“色彩”, 并且通过视觉评价实验, 研究了“感知质量”与这三个指标的相关性. 对十个场景的微光与红外图像采用四种融合算法产生的 40 幅假彩色图像进行评价实验, 实验结果得出: 融合图像都有好目标探测性, 感知质量与目标探测性的相关性很小; 感知质量与细节的相关系数是 0.89, 感知质量与色彩的相关系数是 0.75. 说明在满足目标探测性要求条件下, 细节是视觉感知融合图像质量的最主要评价指标, 而且色彩成为夜视彩色图像质量的一个重要指标.

关键词: 彩色夜视; 图像融合; 感知质量; 感知评价; 评价指标

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A

STUDY ON PERCEPTUAL EVALUATION OF FUSED IMAGE QUALITY FOR COLOR NIGHT VISION

SHI Jun-Sheng^{1,2}, JIN Wei-Qi¹, WANG Ling-Xue¹

(1. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

Abstract: With the development and the application of visible-IR image fusion techniques in color vision night, evaluating the performance of image-fused algorithms is becoming an important aspect. In this study, three basic visual evaluation factors, target detection, details and colorfulness, were presented for evaluating perceptual quality of color fused images, and the degree of correlation between the perceptual quality and the three evaluation factors was investigated. Visual evaluation experiment on the color images fused visible and IR images of ten scenes by four fusion algorithms was conducted. The experimental results show that the fused images have good performances in target detection, the correlation coefficient between the perceptual quality and details is 0.89, and the correlation coefficient between the perceptual quality and colorfulness is 0.75. It indicates that details are the main factor and the colorfulness plays an important role when targets are beyond the detected level.

Key words: color night vision; image fusion; perceptual quality; perceptual evaluation; evaluation factors

引言

近年来, 融合可见与红外多传感器图像产生的假彩色夜视成为夜视技术的一个发展方向, 图像质量是融合技术的关键. 目前国际上对夜视假彩色融合图像质量主要采用主观评价^[1-3], 由于夜视系统应用于不同场合的多种视觉任务或视觉目的, 形成了多种视觉评价指标^[1-3]. 这些指标包括目标探测、目标识别与确认、几何感知、空间方位、目标定位、场景识别和事态意识等. 随着彩色夜视技术不断发展和

夜视系统的广泛应用, 客观评价图像质量将成为一个重要的研究内容.

主观评价指标多样性和不统一性不仅不利于发展融合算法, 而且给客观评价带来困难. 为此, 我们从这些主观评价指标中提取夜视图像质量所共同的, 并且在物理上可测量的指标. 在夜视假彩色融合图像主观评价指标中, “目标探测”是所有夜视应用中最基本指标, 其它指标又都与图像“细节”密切相关. 麻省理工学院林肯实验室提出的基于视觉模型的假彩色融合方法, 以其合成颜色自然性而著

收稿日期: 2004-08-30, 修回日期: 2005-03-31

基金项目: 十五国防预研项目与国家自然科学基金项目(60368001)

作者简介: 石俊生(1960-), 男, 内蒙古乌盟人, 云南师范大学物理与电子信息学院教授, 北京理工大学光电专业在读博士, 主要颜色科学与技术、图象与视觉研究.

Received date: 2004-08-30, revised date: 2005-03-31

称^[4],说明融合算法应该考虑的图像自然性. 色彩不仅可增强目标的探测和识别准确度,缩短判断时间,而且影响人的心理,如对使用者产生疲劳.

基于以上分析,我们提出“目标探测性”、“细节”和“色彩”3个最基本、最主要和与具体视觉任务无关的视觉评价指标,通过对实际夜视彩色融合图像视觉评价实验,研究图像“感知质量”与这3个指标的相关性. 彩色融合图像是采用四种算法融合微光和红外图像产生,所以论文首先简单介绍融合算法,然后对主观评价指标定义,最后是实验和结果.

1 彩色融合算法

实验模拟了两种国际上最有代表性的麻省理工大学(MIT)林肯实验室提出的方法(简称MIT)^[4]和荷兰TNO人力资源研究所提出的夜视彩色融合算法(TNO)^[5],同时也采用了简单的线性组合方法(linear)和北京理工大学改进MIT的方法(BIT)^[6].

MIT算法在红外图像低分辨力,而微光图像有高分辨力时采用如图1(上)所示结构. 对微光和红外图像经过预处理后,模拟生物视觉“中心—环绕”拮抗特性分别对微光和红外对比度处理增强和相互对抗对比度增强处理后作为RGB图像,经过HSV色空间变换再映射显示器RGB. BIT方法与MIT方法基本相似,采用了“中心—环绕”分离结构,如图1(下). 减少了一次增强图像的过程,更适合实时彩色图像融合处理.

TNO法被看成MIT法的简化形式. 取微光与红外图像每个对应像素的最小值作为“共有成分”,微光与红外图像分别减去共有成分得到微光图像独有

成分 Vis^* 和红外图像独有成分 IR^* ,然后模拟生物视觉特性对不同频带图像拮抗处理,即从微光和红外分别减去另外图像独有成分,然后分别送到显示器的R和G通道. B通道采用下面3种方式,在我们的实验中只使用了第3种方式.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} IR & - & Vis^* \\ Vis & - & IR^* \\ & & 0 \end{bmatrix} \dots \text{or} \dots \begin{bmatrix} IR & - & Vis^* \\ Vis & - & IR^* \\ Vis^* & - & IR^* \end{bmatrix} \dots \text{or} \dots \begin{bmatrix} IR & - & Vis^* \\ Vis & - & IR^* \\ Vis & - & IR \end{bmatrix},$$

线性融合方法是对微光与红外图像采用不同的线性组合分别送入显示器R、G和B通道. 我们根据实验使用的是低分辨力红外图像和高分辨力微光图像情况采用更简单的形式:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} \cdot IR + \alpha_{12} \cdot Vis \\ \alpha_{21} \cdot IR + \alpha_{22} \cdot Vis \\ \alpha_{31} \cdot IR + \alpha_{32} \cdot Vis \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} IR \\ Vis \\ Vis - IR \end{bmatrix}$$

2 视觉评价指标及定义

感知质量(Perceptual Quality: PQ). 真彩色图像的感知质量定义为图像优质程度^[7]. 彩色夜视图像与真彩色图像相比,由于低分辨力、噪声和假彩色等原因,感知质量不能用真彩色图像的这个标准来衡量. 我们对夜视假彩色图像“感知质量”定义为在依次考虑图像的“目标探测性”、“细节”和“色彩”的基础上给出图像总体评价. 其中“色彩”是下面定义的视觉舒适度和自然性的综合分数.

目标探测性(Target Detectability). 对于目标探测性评价,由于实验图像中目标都具有明显探测的特点,所以扩大目标“探测性”到目标“突出性”评价,即目标探测性不仅包括目标是否可探测(Detection),而且在目标同样可以探测的条件下,目标在背景上越突出,可探测性分数越高.

细节(Details). 图像细节虽然没有明确定义,但经常使用在感知评价图像质量中,例如在夜视融合中提到融合的基本要求是保存原图像的细节或内容^[4]. 细节与图像的边缘、对比度、锐度和纹理等相关. 夜视系统的分辨力和噪声是影响图像细节的主要因素.

色彩(Colorfulness). 这里的“色彩”是对“颜色自然性”和“视觉舒适度”两个色彩主要感知属性的综合. 下面也给出了它们的定义.

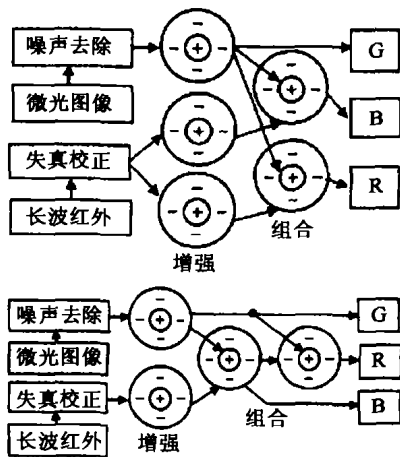


图1 MIT(上)和BIT(下)融合结构
Fig.1 Fusion schemes of MIT and BIT

颜色自然性定义为人对颜色复制物体颜色逼真度的主观印象^[7],反映了与记忆现实对应程度.任何通过显示器或硬拷贝设备再现真实世界景物的图像,视觉系统对图像中颜色属性(如色调、彩度和明度)的感觉与大脑记忆景物中物体类颜色(称记忆色)属性进行比较,两者的相似程度就是视觉感觉图像的自然性.由于彩色夜视是假彩色,若按照真彩色图像视觉判断标准,则夜视彩色图像的颜色自然性很差.

视觉舒适度定义为视觉刺激引起人的“舒适”主观感觉^[8],是一个复杂的心理现象,受到许多因素的影响.协调、偏爱、快乐、美丽等因素或多或少与舒适有关,其中颜色协调性是影响视觉舒适最重要的因素.对“视觉舒适度”在国际上视觉评价实验中没有再给出更具体的定义或标准,因为用其它词语来定义舒适更困难,其次避免给出的定义或标准对实验者产生偏见.

夜视彩色图像是假彩色,即人为赋予的色彩,由于多数景融合图像都不自然,自然性判断难度大.舒适度又比自然性好判断一些,因此,在感知“色彩”评价上,视觉舒适度比自然性更显得重要.

3 实验与结果

3.1 视觉实验

实验内容.要求测试者给出彩色融合图像的“感知质量”、“目标探测性”、“细节”和“色彩”的四个图像感知属性的分数.不仅实现对融合方法的评价,而且研究质量与目标探测性、细节和色彩的相关性.

实验图像.实验图像是采用前面介绍的四种算法,融合林肯实验室、TNO 研究所、美国海军研究生院提供的 10 个不同场景的微光和长波红外原图像^[1-5]共 40 幅彩色融合图像.场景包括了车、人、路、房子、船、营地、飞机、坦克、树林等不同类型目标和陆地、海上环境.图像大小为 320 × 240 像素.

测试者.由实验室研究人员和研究生总共 9 名组成,其中 5 名男性 4 名女性,年龄在 23 ~ 36 之间,他们有正常或经过校正有正常视力,也有正常色视觉.他们了解一些图像、颜色专业知识和夜视成像知识.

评价分数.在分析真彩色图像评价质量、舒适度和自然性度量方法基础上,根据夜视融合图像本身条件,本实验评价的 4 个感知属性都采用 1 ~ 7 七个分数,具体定义如表 1 所示.中间数字没有给出相应

表 1 视觉评价度量分数 1-7

Table 1 A scale of 7 points from 1-7

分数	6	4	2
感知质量	好	一般	差
感知细节	好	一般	差
目标探测性	突出	明显	不明显

描述性词语是表示介于上下之间的情况.

实验条件,实验图像显示在 Sony G520 型 21 英寸显示器.显示器进行校正,白场设置在 D65,实际测量值(0.321, 0.330),显示器白场最大亮度 60cd/m²,显示背景设置为中灰.实验在一间照度为 0.6 lx 暗房中进行,实验者到屏幕距离 60cm,显示器分辨率 1024 × 768,图像视角 8°.

实验过程.实验正式开始前对测试者进行了初步训练,包括对 40 幅彩色融合图像有初步印象,帮助测试者理解视觉测试目的和评价分数确定标准,也包括对各景中探测目标的确定.要求在视觉无法确定两者好坏时,尽可能采用相同分数来避免分数的不准确性.为了避免测试者对 4 个感知属性评价的相互影响,实验对各个评价指标分别进行.实验时每景 4 幅融合图像同时出现,测试者判断时间不受限制.

3.2 实验结果

3.2.1 用目标探测性、细节和色彩 3 指标评价 4 种融合算法

图 2a—2d 给出了四种融合方法的“感知质量”、“目标探测性”、“细节”和“色彩”的评价结果.其中图 2a 是“感知质量”,2b 是“目标探测性”,图 2c 是“细节”,图 2d 是“色彩”.水平坐标数字分别代表十场景编号,四种灰度条对应的四种融合方法 BIT、MIT、TNO 和 Linear 用不同灰度仅仅表示在图 2a.每个子图上方框内的数字分别是四种融合方法对十景的平均分数.可以看出:

(1) BIT 与 MIT 融合方法感知质量基本相同(图 2a),都比 TNO 和 Linear 好的多;

(2) 四种融合图像的目标探测分数平均值都在 4 以上(图 2b),说明目标都是明显可探测,4 种融合图像在目标探测性方面具有基本相近的水平.每一种融合方法在目标探测性上均有表现出最优和最劣的情况.

(3) 比较细节分数的平均值(图 2c),BIT 和 MIT 比 TNO 和 Linear 有明显的优势.BIT 比 MIT 好一些,有 4 景超过 MIT,仅有 1 景是 MIT 超过 BIT.也有 1 景,四种融合图像表现出相同.

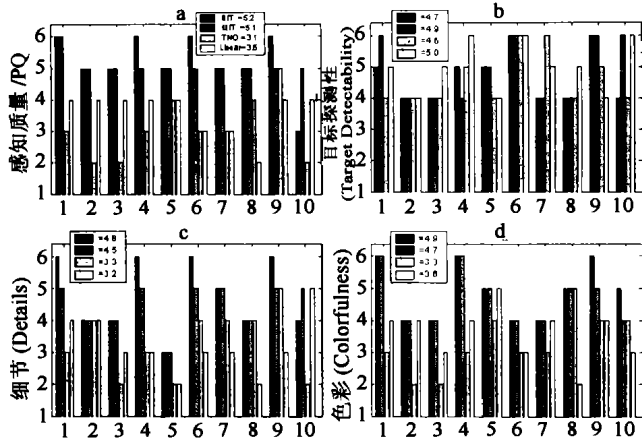


图2 对十景40幅融合图像评价“感知质量”(a)“目标探测性”(b)“细节”(c)和“色彩”(d)分数.水平坐标数字代表景编号.四种灰度条对应的四种融合方法表示在(a)中

Fig.2 The perceptual scores of 40 fused images for “perceptual quality” (a) “target detectability” (b) “details” (c) and “colorfulness” (d) The numbers on the horizontal axis denotes serial number of scenes

(4) 比较色彩分数的平均值(图2d), BIT和MIT比TNO和Linear有明显的优势;BIT和MIT有8景是相同分数,说明BIT与MIT在色彩上没有明显优势.

3.2.1 融合质量与目标探测性、细节和色彩的相关性

全体测试者对任何1场景的任何1幅图像评价分数分布近似服从正态分布,所以,最终评价分数是所有测试者对该图像评价分数出现概率最大对应的分数.但对不同景,不同的实验者采用的度量(scale)零点(origin)和距离(distance)不同,为了将所有数据放在一起做相关性统计分析,对原始数据做如下Z变换(即z-score).

$$Z \text{ 分数} = \frac{\text{原始值} - \text{平均值}}{\text{标准差}}$$

图3~5给出了“感知质量”与“目标探测性”、“细节”和“色彩”的对应关系.中间有黑点的圆圈表示数据重合点,图中直线是线性回归结果,图内数字是相关系数.感知质量与目标探测性、细节和色彩的相关系数分别是0.15、0.89和0.75.由相关系数得出,在实验所评价的图像中,“细节”是“感知质量”的主要指标,而“色彩”也是“感知质量”的一个重要指标.感知质量与目标探测性相关性较小的主要原因是实验图像都具有明显的目标探测性.

如果采用线性回归得到图像质量与目标探测性、细节和色彩权重系数,在 $k_1 + k_2 + k_3 = 1$ 条件下

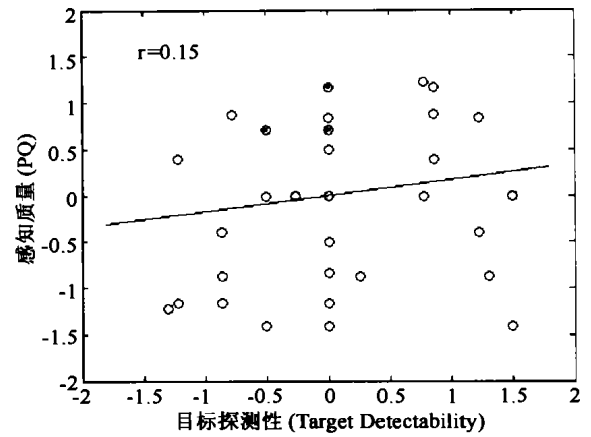


图3 感知质量与目标探测性关系
Fig.3 The relationships between the PQ and the target detection

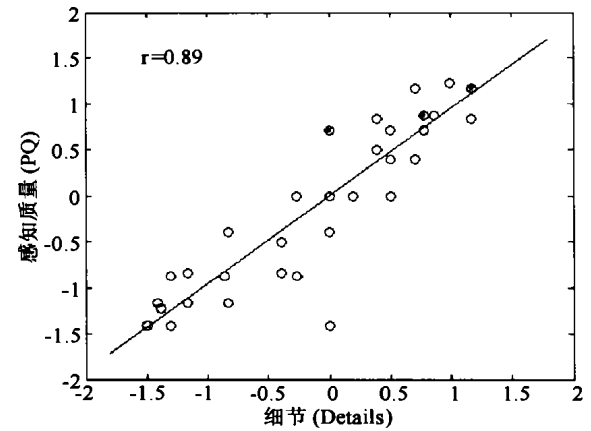


图4 感知质量与细节关系
Fig.4 The relationships between the PQ and the details

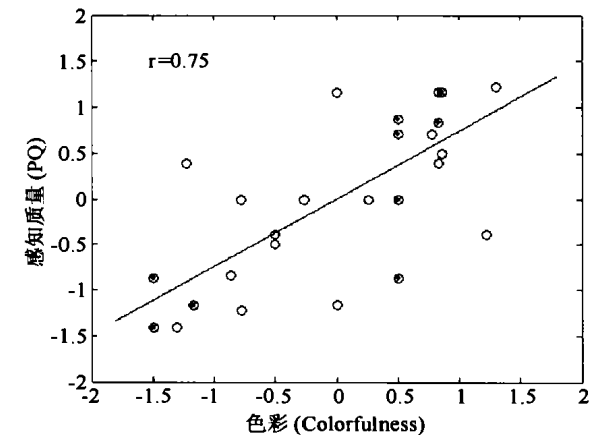


图5 感知质量与色彩关系
Fig.5 The relationships between the PQ and the colorfulness

分别是 $k_1 = 0.11$ 、 $k_2 = 0.60$ 和 $k_3 = 0.29$;

$$\text{感知质量} = k_1 \cdot \text{目标探测性} + k_2 \cdot \text{细节} + k_3 \cdot$$

色彩

这个权重系数仅仅有本实验图像得出,在实际应用中,权重系数随着不同夜视系统的硬件条件、应用环境、场合和视觉任务的不同发生变化.但实际上,用单独一个质量指标是很难表达质量的优劣,还是用以上 3 个具体的指标更确切.

4 结论与讨论

从上面的实验结果得出:

(1) BIT 和 MIT 在“细节”、“色彩”和“感知质量”上明显优于 TNO 和 linear, MIT 和 BIT 效果相近.在目标探测,四种融合方法效果相同.

(2) “感知质量”与“细节”的相关性最高,而与“色彩”也有较高的相关性,说明色彩也是的夜视融合的一个重要指标.与“目标探测性”无关是由于本实验图像都有较好的目标探测性,根据夜视系统一般的应用目的,应该是在满足“目标探测”的条件下首先考虑“细节”,而在满足“细节”的条件下要考虑“色彩”.

需要说明,这里的 MIT 和 TNO 融合方法是目前国际上最著名的夜视彩色融合方法,而该研究是对它们的模仿,可能不完全代表实际水平,但并不影响我们的研究思想和方法.由于评价图像数目有限,且未包括多种图像条件,本文对 4 种融合算法的评价结果并不能充分地表示某种融合的优劣.

论文的主要目的并不仅仅给出 4 种融合算法的评价,而在于研究建立融合图像质量评价指标,这不仅对视觉主观评价非常重要,同时对发展客观评价方法更具有重要意义.文中提出的“目标探测性”、“细节”和“色彩”3 个彩色图像视觉评价指标不仅具有对应物理意义,而且可以数值定量化,因此,可为进一步的客观评价方法提供技术途径.

REFERENCES

- [1] Toet A, Jan Kees Ijspeert. Perceptual evaluation of different image fusion schemes [J]. *SPIE*, 2001, **4380**, 427—435.
- [2] Krebs W K, Sinai M J. Psychophysical assessments of image-sensor fused imagery [J]. *Human Factors*, 2002, **44**: 257—271.
- [3] Toet A, Frankenb E M. Perceptual evaluation of different image fusion schemes [J]. *Displays*. 2003, **24**: 25—37.
- [4] Waxman A M. Color night vision: Opponent processing in the fusion of visible and IR imagery [J]. *Neural Networks*, 1997, **10**: 1—6.
- [5] Toet A. Fusion of visible and thermal imagery improves situational awareness [J]. *Display*, 1998, **18**: 85—95.
- [6] Wang Lingxue. Color fusion schemes for night vision images based on lateral inhibition [J], *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2003, **23**(4): 513—516.
- [7] Yendrikhovskij S N, Blommaert F J J, Ridder H de. Color reproduction and the naturalness constraint [J], *Col Res Appl*, 1999, **24**: 52—67.
- [8] Ken Sagawa. Visual comfort to colored images evaluated by saturation distribution [J], *Col Res Appl*, 1999, **24**: 313—321.