

文章编号: 1672-8785(2013)05-0023-06

# 远紫外遥感 O/N<sub>2</sub> 反演图像 质量的评价方法

王 静 唐 义 彭圣锋 郑旭丽 倪国强

(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)

**摘 要:** 针对电离层远紫外遥感的 O/N<sub>2</sub> 反演图像质量评价应用, 以 GUVI 网站发布的图像为参考, 分别从 RGB 和 HSV 两种颜色空间对获取的远紫外 O/N<sub>2</sub> 图像的反演质量进行了对比分析。利用 RGB 颜色空间的评价函数和 HSV 颜色-空间直方图相交匹配的方法评价了反演图像与参考图像间的相似程度, 待评价图像与参考图像之间具有较高的一致性。结果表明, 从图像的角度评价远紫外遥感热层 O/N<sub>2</sub> 图像的反演质量是切实可行的。

**关键词:** 远紫外遥感; 反演图像; 图像评价方法

**中图分类号:** TH744.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.05.04

## A Quality Assessment Method for Retrieved O/N<sub>2</sub> Images from FUV Remote Sensing

WANG Jing, TANG Yi, PENG Sheng-feng, ZHENG Xu-li, NI Guo-qiang

(Key Laboratory of Photo-electronic Imaging Technology and System, School  
of Photo-electricity, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** To assess the quality of the retrieved O/N<sub>2</sub> images from FUV remote sensing, the retrieval quality of the obtained FUV O/N<sub>2</sub> images is analyzed in RGB and HSV color spaces respectively when the images published at the GUVI website are used as the reference images. The similarity of the retrieved images to the reference images are assessed by using the evaluation functions in the RGB color space and the HSV color-space histogram cross matching method. The images to be assessed are highly consistent with the reference images. The result shows that it is feasible to assess the retrieval quality of O/N<sub>2</sub> images from FUV remote sensing in the view of images.

**Key words:** FUV remote sensing; retrieval image; image assessment method

## 0 引言

电离层的状态监测对无线电通讯、导航等应用领域具有重要意义。自 20 世纪 70 年代以来, 为探测电离层的成分和温度变化情况, 美国陆续发射了多颗携带远紫外成像光谱仪的卫星。这大

大推动了根据远紫外成像光谱仪观测数据计算电离层参量的反演技术的发展, 尤其是美国约翰霍普金斯大学应用物理试验室 (Applied Physical Lab, APL) 相关的反演算法<sup>[1]</sup>相对成熟, 许多学者利用其反演计算结果进行了大量研究<sup>[2-4]</sup>。

**收稿日期:** 2013-04-15

**作者简介:** 王静 (1986-), 女, 河北保定人, 博士, 主要研究方向为电离层参量的远紫外光谱诊断技术。

E-mail: wangjing010243@yahoo.com.cn

近几年, 基于全球紫外成像仪 (Global Ultra-violet Imager, GUVI) 的观测结果, 王静<sup>[5]</sup>、彭圣锋<sup>[6]</sup>等人研究了远紫外气辉数据的反演方法, 初步得到了电离层 O/N<sub>2</sub> 全球图像, 并分析了 2002 年 9 月 29 日到 10 月 4 日磁暴期间电离层 O/N<sub>2</sub> 的变化情况。由于 GUVI 网站上发布的 O/N<sub>2</sub> 数据文件的直接显示与其作为终级产品发布的 O/N<sub>2</sub> 全球图像之间存在一定的差异, 为了对反演数据的准确性进行有效评判, 寻找合理有效的客观评价方法变得十分迫切。本文将反演图像作为待评价图像并将 GUVI 发布的图像作为参考图像, 提出了一种基于图像的远紫外遥感 O/N<sub>2</sub> 反演的质量评价方法。其核心思想是利用 RGB 颜色空间的评价函数和 HSV 颜色 - 空间直方图相交匹配方法评价待评价图像与参考图像间的相似度, 从图像角度研究远紫外遥感 O/N<sub>2</sub> 反演结果的质量评价。

## 1 质量评价方法

本文中, 待评价图像与参考图像都是利用 RGB 颜色空间来表示的。RGB 颜色空间为不均匀的颜色空间, 两种颜色之间的知觉差异不能通过该颜色空间中两个颜色点之间的距离来表示, 也不符合人们对颜色相似性的主观判断。而 HSV 颜色空间中, 亮度分量与图像的彩色信息无关; 色调与饱和度分量与人感受颜色的方式紧密相连。因此, 本文不仅利用 RGB 颜色空间的评价函数对待评价图像与参考图像进行比较, 还利用基于 HSV 颜色 - 空间的直方图法计算了待评价图像与参考图像间的相似度, 得到了反演结果的客观质量评价结果。

### 1.1 RGB 颜色空间的评价方法

本文采用有参评价方法和无参评价方法<sup>[7,8]</sup>来评价远紫外遥感电离层 O/N<sub>2</sub> 的反演结果。其中, 有参评价方法采用的评价函数为归一化均方误差 (Normalized Mean-Squared Error, NMSE)、信噪比 (Signal-to-Noise Ratio, SNR) 和峰值信噪比 (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR); 无参评价方法的评价函数为灰度平均梯度 (Gray Mean Grads, GMG)。

归一化均方误差是一种基于能量归一化的评价函数, 其计算公式为

$$NMSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [g(i, j) - f(i, j)]^2}{(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [g(i, j)]^2)} \quad (1)$$

式中,  $g(i, j)$  和  $f(i, j)$  分别为待评价图像和参考图像的像素灰度值。

信噪比和峰值信噪比也是用以比较待评价图像与参考图像信息含量的参数。假设图像的灰度值均已归一化到  $[0, 255]$  的区间内, 信噪比和峰值信噪比的计算公式如下:

$$SNR = 10 \log_{10} \left[ \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [g(i, j)]^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [g(i, j) - f(i, j)]^2} \right] \quad (2)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} [255^2 \times M \times N / \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [g(i, j) - f(i, j)]^2] \quad (3)$$

在有参图像质量评价函数中, 归一化均方误差越小, 信噪比与峰值信噪比就越大, 图像质量就越好。

灰度平均梯度是分别对图像长度和宽度方向上的相邻像素灰度值求差后求平方和再求均方根值, 其计算公式为

$$GMG = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sqrt{\frac{[g(i, j+1) - g(i, j)]^2 + [g(i+1, j) - g(i, j)]^2}{2}} \quad (4)$$

灰度平均梯度反映图像的对比度和纹理变化特征, 其值越大, 图像质量就越好, 图像越清晰。

### 1.2 HSV 颜色空间直方图相交匹配方法

颜色直方图能够描述不同色彩在整幅图像中所占的比例。基于颜色直方图特征的图像评价方法简单、高效, 但丢失了颜色的空间分布信息, 而颜色的空间分布特征对于区分图像的内容是非常重要的。因此, 本文采用 HSV 颜色

空间直方图相交匹配方法<sup>[9,10]</sup>评价电离层 O/N<sub>2</sub> 的反演结果, 其流程如图 1 所示。该方法压缩了直方图的颜色维数并在一定程度上保留了颜色的空间分布信息。

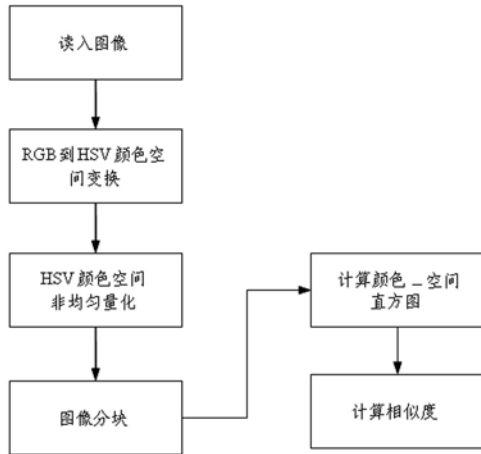


图 1 HSV 颜色空间直方图相交匹配方法的流程

### (1) RGB 到 HSV 颜色空间变换

本文中, 待评价图像与参考图像均是在 RGB 颜色空间表示的, 因此首先要进行 RGB 到 HSV 颜色空间的变换, 其变换公式<sup>[11]</sup>为

$$V = \frac{1}{\sqrt{3}}(R + G + B) \quad (5)$$

$$S = 1 - \frac{\sqrt{3}}{V} \min(R, G, B) \quad (6)$$

$$H = \begin{cases} \theta & G \geq B \\ 2\pi - \theta & G < B \end{cases} \quad (7)$$

式中

$$\theta = \arccos\left\{\frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}}\right\}$$

### (2) HSV 颜色空间非均匀量化

一般来说, 一幅图像中包含的色彩是十分丰富的。因此, 颜色直方图矢量的维数非常多, 这会带来很大的计算量。如果对 HSV 颜色空间进行适当的量化后再计算直方图, 可减少计算量, 提高计算效率。本文中, 在计算颜色直方图

之前, 先将 HSV 颜色空间按式 (8) 非均匀量化成 72 维<sup>[12,13]</sup>, 以简化计算。

$$H = \begin{cases} 0, & h \in [316, 20] \\ 1, & h \in [21, 40] \\ 2, & h \in [41, 75] \\ 3, & h \in [76, 155] \\ 4, & h \in [156, 190] \\ 5, & h \in [191, 270] \\ 6, & h \in [271, 295] \\ 7, & h \in [296, 315] \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0, & h \in [0, 0.2] \\ 1, & h \in [0.2, 0.7] \\ 2, & h \in [0.7, 1] \end{cases}$$

$$V = \begin{cases} 0, & h \in [0, 0.2] \\ 1, & h \in [0.2, 0.7] \\ 2, & h \in [0.7, 1] \end{cases} \quad (8)$$

### (3) 颜色 - 空间直方图相交匹配法

颜色 - 空间直方图需要分块, 分块越多, 包含的空间信息就越多。但分块过多会造成计算量增大。本文按从左到右、由上而下的顺序将待评价图像与参考图像分成 4×2 个子块。首先分别计算待评价图像与参考图像每个子块的颜色直方图, 例如一幅大小为 M×N 的彩色图像, 其颜色直方图中某颜色 A(h<sub>0</sub>, s<sub>0</sub>, v<sub>0</sub>) 出现的概率可由下式得到

$$P_{hist} = \frac{K}{M \times N} \quad (9)$$

式中, K 是颜色 A(h<sub>0</sub>, s<sub>0</sub>, v<sub>0</sub>) 在图像中出现的次数。然后逐一计算待评价图像与参考图像对应子块的相似度; 最后利用等权平均得到两组图像的整体相似度。

本文根据直方图相交匹配方法<sup>[14]</sup>计算待评价图像与参考图像各对应子块间的相似度。若  $P_{object}(i)$  和  $P_{ref}(i)$  分别表示待评价图像和参考图像各子块颜色直方图中颜色 i 的概率, 则两图像对应子块的相似度  $S_H(P_{object}, P_{ref})$  为

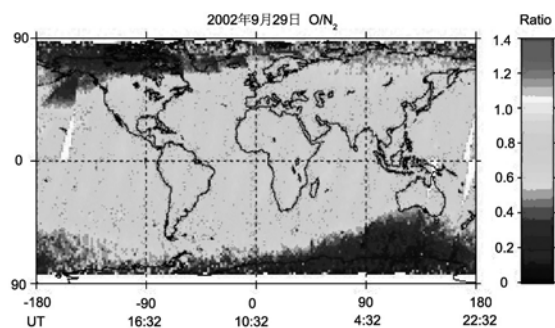
$$S_H(P_{object}, P_{ref}) = \sum_{i=1}^N \min(P_{object}(i), P_{ref}(i)) \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N P_{object}(i) = \sum_{i=1}^N P_{ref}(i) = 1 \quad (11)$$

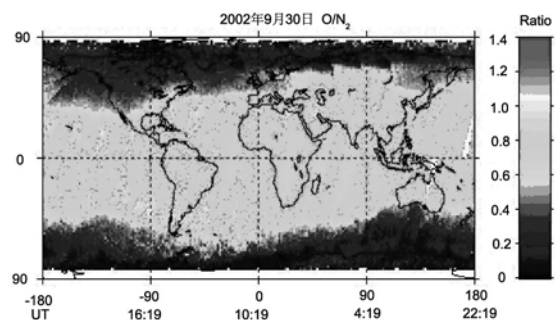
式中,  $N$  为各颜色直方图中的颜色数, 此时  $N=72$ 。

## 2 反演结果

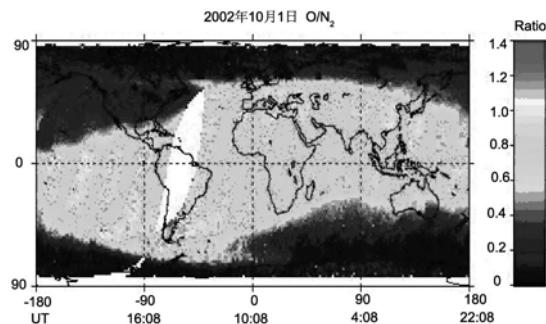
2002 年 9 月 29 日到 10 月 4 日得到的  $O/N_2$  图像与 GUVI 发布的结果分别如图 2 和图 3 所示。为了利用 RGB 颜色空间的评价函数和 HSV 颜色空间直方图相交匹配方法来评价  $O/N_2$  反演结果, 可采用与 GUVI 发布的  $O/N_2$  一致的色标显示反演的  $O/N_2$ , 这样有利于从图像角度对两种图像进行比较。本文通过采用无参评价方法计算灰度平均梯度, 采用有参评价方法归一化均方误差、信噪比和峰值信噪比等多种参数对待评价图像进行了比较, 评价结果列于表 1 中。



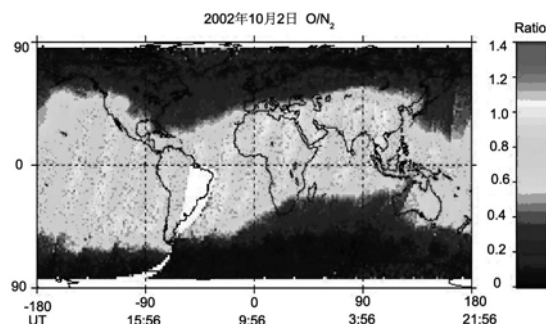
(a)



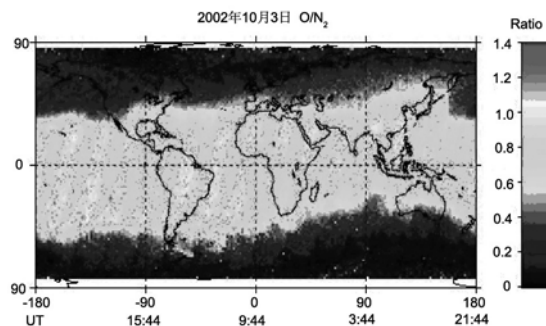
(b)



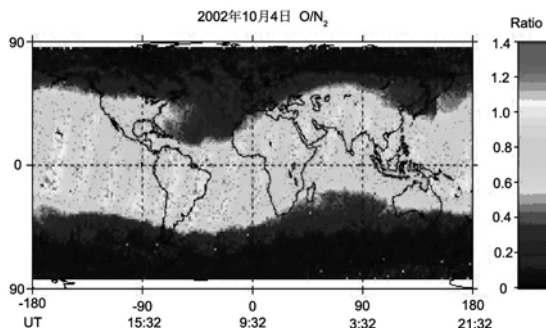
(c)



(d)



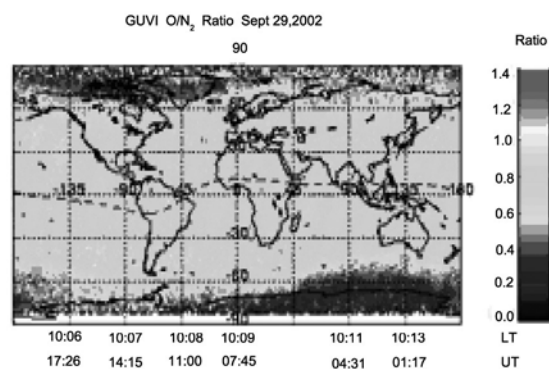
(e)



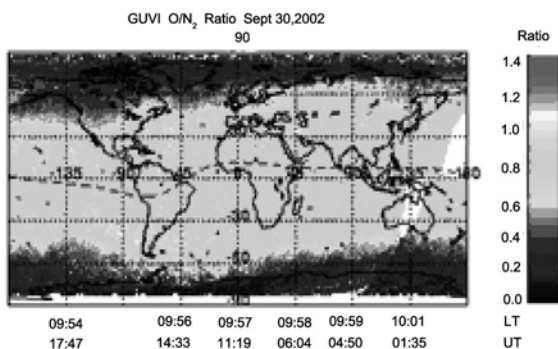
(f)

图 2 待评价图像

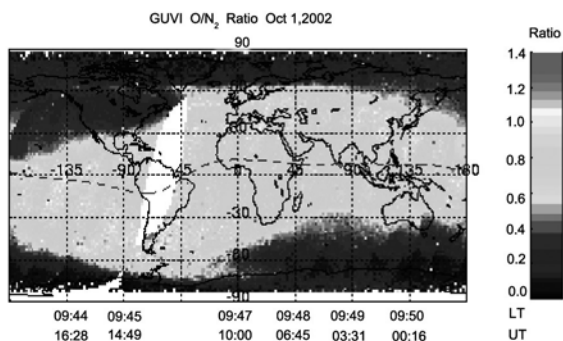




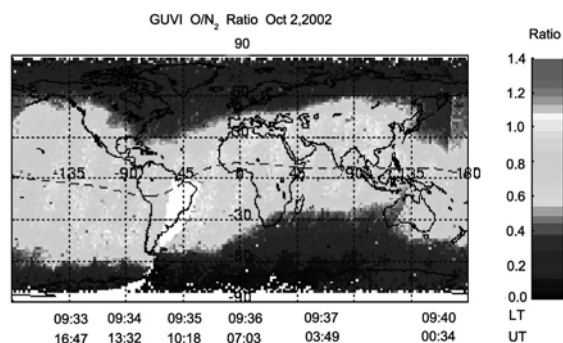
(a)



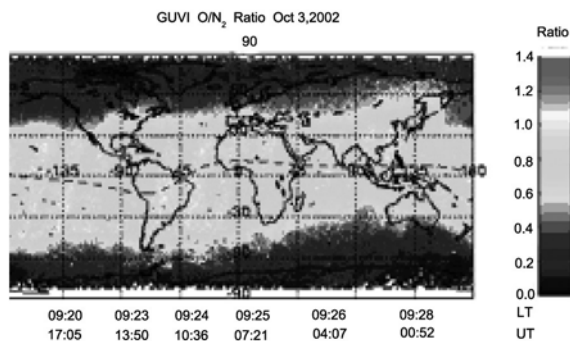
(b)



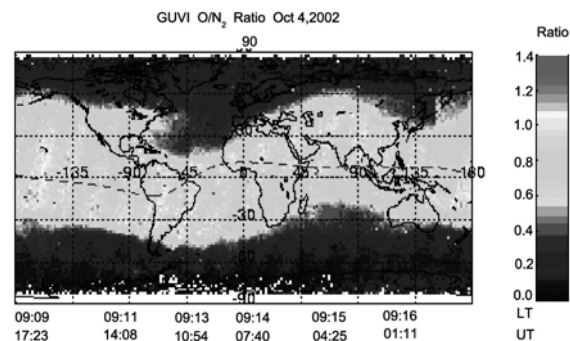
(c)



(d)



(e)



(f)

图 3 参考图像

由表 1 可以看出, 待评价图像与参考图像的 GMG 参数都很小, 说明它们的对比度较低, 纹理特征不是非常明显。尽管参考图像的 GMG 参数略高, 但差别不大。9 月 29 日到 10 月 4 日 6 天的平均 NMSE 为 11.88%, 表明待评价图像与参考图像非常一致; 而 SNR 和 PSNR 值都比较大, 表明图像质量很好。通过对待评价图像与参考图像进行有参与无参评价, 在一定程度上表明了两组图像的相似程度, 为评价反演算法和反演结果的准确性提供了一定的依据。

下面利用 HSV 颜色 - 空间直方图相交匹配方法对待评价图像与参考图像进行比较。首先, 按式 (5)~ 式 (7) 将 RGB 模式的待评价图像与参考图像转换成 HSV 模式; 然后, 将它们分成块, 分别计算待评价图像与参考图像各子块的颜色直方图; 最后, 由式 (10) 和式 (11) 计算两组图像对应子块之间的局域相似度, 经过等权平均得到两组图像的整体相似度。待评价图像和参考图像各子块的局域相似度和整体相似度列于表 2 中。

表 1 RGB 颜色空间评价结果

| 日期       | 单位   | 有参评价   |         |         | 无参评价   |
|----------|------|--------|---------|---------|--------|
|          |      | NMSE   | SNR     | PSNR    | GMG    |
| 9 月 29 日 | 本文   | 0.0980 | 10.0870 | 60.4456 | 0.0171 |
|          | GUVI | —      | —       | —       | 0.0278 |
| 9 月 30 日 | 本文   | 0.0949 | 10.2289 | 61.0034 | 0.0103 |
|          | GUVI | —      | —       | —       | 0.0186 |
| 10 月 1 日 | 本文   | 0.1843 | 7.3440  | 58.5962 | 0.0110 |
|          | GUVI | —      | —       | —       | 0.0116 |
| 10 月 2 日 | 本文   | 0.1403 | 8.5292  | 59.8463 | 0.0100 |
|          | GUVI | —      | —       | —       | 0.0147 |
| 10 月 3 日 | 本文   | 0.0557 | 12.5435 | 63.6850 | 0.0084 |
|          | GUVI | —      | —       | —       | 0.0092 |
| 10 月 4 日 | 本文   | 0.1396 | 8.5516  | 60.0868 | 0.0076 |
|          | GUVI | —      | —       | —       | 0.0074 |

表 2 待评价图像与参考图像的相似度

| 日期       | 局域相似度  |        |        |        | 整体相似度  |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          |        |        |        |        |        |
| 9 月 29 日 | 0.8772 | 0.8251 | 0.8455 | 0.8697 | 0.8751 |
|          | 0.9473 | 0.9144 | 0.8498 | 0.8717 |        |
| 9 月 30 日 | 0.8965 | 0.8215 | 0.8166 | 0.8061 | 0.8609 |
|          | 0.9161 | 0.9135 | 0.8848 | 0.8319 |        |
| 10 月 1 日 | 0.8096 | 0.8103 | 0.8537 | 0.8612 | 0.8596 |
|          | 0.8966 | 0.9060 | 0.8875 | 0.8516 |        |
| 10 月 2 日 | 0.8259 | 0.7782 | 0.7746 | 0.8325 | 0.8240 |
|          | 0.9052 | 0.8364 | 0.8214 | 0.8180 |        |
| 10 月 3 日 | 0.8328 | 0.8162 | 0.8278 | 0.8846 | 0.8592 |
|          | 0.8895 | 0.8783 | 0.8878 | 0.8568 |        |
| 10 月 4 日 | 0.8343 | 0.7468 | 0.8058 | 0.8387 | 0.8118 |
|          | 0.8568 | 0.7943 | 0.8307 | 0.7871 |        |

由表 2 可知, 利用 HSV 颜色空间直方图相交匹配方法计算得到 2002 年 9 月 29 日到 10 月 4 日连续 6 天的平均整体相似度为 84.8%, 说明待评价图像与参考图像具有较高的一致性, 从而证明了远紫外遥感 O/N<sub>2</sub> 反演算法的正确性。

### 3 结论

本文分别从 RGB 和 HSV 两种颜色空间对 2002 年 9 月 29 日到 10 月 4 日六幅 O/N<sub>2</sub> 图像的反演质量进行了评价。其中将反演图像作为待评价图像, 并将 GUVI 网站发布的图像作为参考图

像。

在 RGB 颜色空间中, 采用有参评价和无参评价多种评价函数 (GMG、NMSE、SNR 和 PSNR) 衡量待评价图像与参考图像的一致性。无参评价结果表明两组图像的对比度差别不大; 有参评价结果表明与参考图像相比, 待评价图像与其接近程度为 88.12%。在 HSV 颜色空间中, 采用颜色直方图相交匹配方法计算得到了待评价图像与参考图像的局部相似度和整体相似度,

(下转第 34 页)