

中图分类号: TP751.1 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)09-1696-06

论文索引信息: 李微, 李德仁. 基于 HSV 色彩空间的 MODIS 云检测算法研究 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(9): 1696-1701

# 基于 HSV 色彩空间的 MODIS 云检测算法研究

李微<sup>1), 3), 4)</sup>, 李德仁<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (大连海洋大学海洋环境工程学院, 大连 116023) <sup>2)</sup> (武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079)

<sup>3)</sup> (武汉大学遥感信息工程学院, 武汉 430079) <sup>4)</sup> (近岸海洋环境科学与技术辽宁省高校重点实验室, 大连 116023)

**摘要:** 云是一种自然现象, 广泛、高频、不规则地出现在地球上空, 因此云也经常出现在卫星影像上有所体现。在遥感影像中, 云覆盖在很大程度上降低了数据的质量和利用率。云检测是进行遥感数据处理与分析的基础和必要环节, 因此准确地提取云区所在位置是一个非常意义的研究课题。提出基于 HSV 色彩空间的 MODIS 云检测算法, 首次将 HSV 色彩空间引入云检测领域, 提出的算法以云与其他地物的自身光谱特性和光谱差异为理论基础, 以色彩空间 HSV 正变换为数学基础, 将 MODIS 波段 1、6 和 26 的假彩色合成影像进行 HSV 正变换, 对获得的色调值 ( $H$ ) 进行简单的、客观的阈值限定, 获得最后的云检测效果。该算法具有精度高、简单可行、客观性强和计算速度快等特点, 适用于不同的下垫面和季节, 云检测效果理想。

**关键词:** MODIS; 云检测; RGB; HSV; 色彩空间

## The cloud detection study of MODIS based on HSV color space

Li Wei<sup>1), 3), 4)</sup>, Li Deren<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (College of Marine Environmental Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023 China)

<sup>2)</sup> (State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079 China)

<sup>3)</sup> (School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079 China)

<sup>4)</sup> (Key Laboratory of Offshore Marine Environmental Research of Liaoning Higher Education, Dalian 116023 China)

**Abstract:** The cloud is a natural phenomenon. It widely, frequently, irregularly appears in the earth sky and thus in the satellite imagery. The cloud in the remote sensing images largely reduces remote sensing image quality and usage ratio. The presence of clouds in satellite images is a significant obstacle to land surface studies. Clouds in satellite images must be precisely identified prior to any further analysis in any case. Cloud detection is a necessary step in the image data analysis processing. Therefore accurately extracting the location of the cloud area becomes a very meaningful research subject. This paper has proposed a cloud detection algorithm for MODIS image based on HSV color space. The HSV color space is first introduced in cloud detection study. Based on the different objects spectrum, MODIS instrument channel characteristic and the HSV positive transformable formula, the algorithm firstly has processed the HSV positive transformation for the pseudo-color image composed of the band 1, band 6 and band 26. Then to carry a threshold for the hue, we can get the final cloud detected results. The algorithm is simple, impersonal and fast. The results show that the algorithm is applicable to all the different scenes and seasons and has basically completed.

**Keywords:** MODIS; cloud detection; RGB; HSV; color space

收稿日期: 2010-05-18; 修回日期: 2010-11-02

**第一作者简介:** 李微(1980—), 女, 讲师, 硕士生导师。2009 年获得武汉大学摄影测量与遥感专业博士学位, 现工作于大连海洋大学海洋环境工程学院, 主要从事遥感图像处理、定量遥感、环境遥感和海洋遥感等方面的研究。E-mail: xiaoweimei\_8056@

## 0 引言

空中的云千姿百态、变化万千,劳动人民在生产 and 生活中,总结出很多云与天气的谚语,同时也让富有诗意的人们浮想联翩。云是一种自然现象,广泛、高频、不规律地出现在地球上空,因此云也经常出现在卫星影像上有所体现。在气象学、飞机导航等领域中,云发挥着重要作用,是一个不可或缺的角色;但是在更多的时候,云的覆盖使得光学传感器不能获得云层下面的地表信息,很大程度上降低了数据的利用率,使得影像识别、分类和分析难以保证精度,有时甚至无法进行。云检测是进行遥感数据处理与分析的基础,因此准确地提取云区所在位置就成为一个非常有意义的研究课题。

MODIS 数据为云检测与处理提供了更为有利的条件,因为 MODIS 仪器具有高光谱分辨率、高空间分辨率和高时间分辨率等特点,特别是具有 36 个光谱通道,光谱达到从可见光到热红外的全光谱覆盖。目前对 MODIS 数据的多光谱云检测,一般根据不同的下垫面(一般陆地、海洋、雪/冰、沙漠和高原)和不同种类的云(高、中、低云和直展云)采用不同的检测算法<sup>[1]</sup>。当前成熟的 MODIS 数据的多光谱云检测算法主要分为基于可见光反射率、基于近红外反射率和基于热红外通道亮温及亮温差的算法。目前,MODIS 数据的多光谱云检测算法的研究已有很多成果<sup>[2-9]</sup>,而且部分算法已经趋于成熟并投入生产实践当中。但是目前云检测算法往往通过多个单波段和波段间运算的阈值限制来检测云区。多个阈值的获取使得算法的主观因素增强,算法不稳定,通常只在某些特定情况下适用。而且算法复杂使得计算量大,这对于数据量大的遥感数据是非常不利的。

通过大量试验发现,在 MODIS 波段 1、6 和 26 假彩色合成后的影像中,云在 RGB 色彩空间中为紫色或黄色(即在 HSV 空间中色调位于  $270^{\circ}\sim 330^{\circ}$  或  $30^{\circ}\sim 90^{\circ}$  之间),与其他地物色彩差别很大,很容易区分。因此首次提出基于 HSV 色彩空间的云检测算法。虽然以前的研究者利用 HSV 色彩空间进行过薄云的去云和去云影像的增强,但是并没有利用 HSV 色彩空间进行云检测。因此首要创新之处就在于将 HSV 色彩空间引入云检测领域。提出的算法以云与其他地物

的自身光谱特性和光谱差异为理论基础,以色彩空间 HSV 正变换为数学基础,将 MODIS 波段 1、6 和 26 的假彩色合成影像进行 HSV 正变换,对获得的色调值( $H$ )进行简单的、客观的阈值限定,获得最后的云检测效果。该算法具有精度高、简单可行、客观性强和计算速度快等特点,适用于不同的下垫面和季节,云检测效果理想。

## 1 MODIS 波段的选取

算法中 MODIS 数据波段的选取依据是作者以前的研究成果<sup>[10]</sup>。MODIS 是一个具有 36 个波段的高光谱分辨率的成像光谱仪,如何选择冗余度最小、检测效果最好的波段组合一直是研究者探讨的问题。首先分析总结了云、雪、植被、沙漠、水体等目标的光谱特性以及云和不同目标间的光谱差异,然后根据 MODIS 影像的波段范围和云与不同下垫面的光谱差异最大化,提出了 MODIS 通道 1、6、26 相结合可以很好地将云、雪、裸露地表、植被和水体区分开,获得较好的云检测结果。

将 MODIS 波段 1、波段 6 和波段 26 进行假彩色合成,其中波段 1 作为  $R$  分量、波段 6 作为  $G$  分量,而波段 26 作为  $B$  分量。假彩色合成后,云为紫色或黄色,陆地为绿色,雪为红色,水和阴影为黑色,云和其他地物的差别明显。

## 2 色彩空间的选取

根据上面介绍,我们可以得知将 MODIS 数据的波段 1、波段 6 和波段 26 进行假彩色合成,可以获得一幅从视觉上可以很好区分云与其他地物(包括雪、沙漠等)的彩色影像,其中检测云主要依靠的是色调差别,因此本文选择 HSV 色彩空间。

### 2.1 RGB 色彩空间

RGB 色彩空间以  $R$ (Red: 红)、 $G$ (Green: 绿)、 $B$ (Blue: 蓝)3 种基本色为基础,进行不同程度的叠加,产生丰富而广泛的颜色,所以俗称三基色模式。红绿蓝代表可见光谱中的 3 种基本颜色或称为三原色,每一种颜色按其亮度的不同分为 256 个等级。当色光三原色重叠时,由于不同的混色比例能产生各种中间色。RGB 颜色空间是用一个单位长度的立方体来表示颜色的,黑蓝绿青红紫黄白 8 种常见颜色分别位居立方体

的 8 个顶点,通常将黑色置于 3 维直角坐标系的原点,红绿蓝分别置于 3 根坐标轴上。如图 1 所示。而其中的青色与红色、紫色(或称品红色)与绿色、黄色与蓝色是互补色。它比人眼能分辨的颜色种数多得多(人眼只能分辨几千种不同的颜色,包括几十种不同深浅的灰度级)<sup>[11]</sup>。

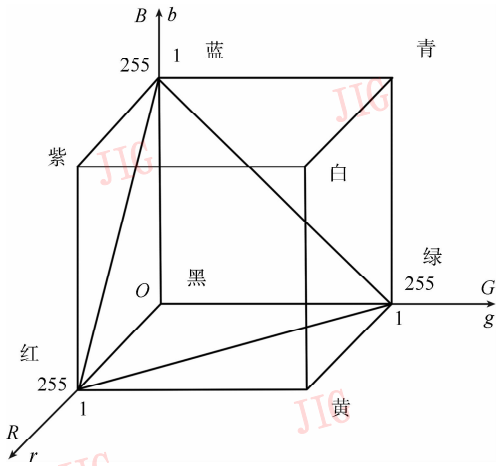


图 1 RGB 色彩立方  
Fig. 1 The RGB-color cube

### 2.2 HSV 色彩空间

HSV 色彩空间的尺度符合人类对颜色的感知程度的规律,即以 HSV 表示的颜色之间的 Euclidean 距离与人类的视觉感知距离相对应这种颜色模型把颜色分解成 3 个分量:色调  $H$  (hue)、饱和度  $S$  (saturation) 和亮度  $V$  (value),而且它可以用 3 维空间坐标系统来表示<sup>[12]</sup>。其中色彩空间中的色调用角度度量表示颜色的色彩种类,取值范围为  $0^\circ \sim 360^\circ$ ,各种颜色头尾相接,形成一个闭合的环。以  $X$  轴方向表示  $0^\circ$  起点,逆时针方向展开,即从  $0^\circ$  的红色开始,逆时针方向增加角度, $60^\circ$  是黄色, $180^\circ$  是青色等, $360^\circ$  又回到红色,其平面图如图 2 所示。

由图 2 可以看出简单设定  $H$  值的划分阈值,就可以很好地将 RGB 色彩空间的彩色进行分类。

### 2.3 色彩空间转换

色度学中 RGB 色彩空间和 HSV 色彩空间可以相互转换,把彩色的  $R、G、B$  变换成  $H、S、V$  称为 HSV 正变换,而由  $H、S、V$  变换成  $R、G、B$  称为反变换。本文的数据是基于 MODIS 数据 3 个波段的假彩色影像,只需要假彩色影像的色调信

息,因此仅需要对 RGB 的彩色影像进行 HSV 正变换。HSV 变换公式有很多,而 HSV 色彩模型呈现出一个六棱锥体<sup>[13]</sup>,因此采用最贴近 HSV 色彩模型的单六角锥变换进行色彩空间的转换,公式如下<sup>[14]</sup>:

$$V = \frac{\max}{255}$$

$$S = \frac{\max - \min}{\max}$$

$$H = \begin{cases} 60 \frac{G - B}{\max - \min} & R = \max \\ 60 \frac{2 + (B - R)}{\max - \min} & G = \max \\ 60 \frac{4 + (R - G)}{\max - \min} & B = \max \\ H + 360 & H < 0 \end{cases}$$

式中: $R、G、B$  分别为 RGB 色彩空间的红、绿和蓝 3 分量; $H、S、V$  分别为 HSV 色彩空间的色调、饱和度和亮度 3 分量; $\max = \max(R, G, B)$ ;  $\min = \min(R, G, B)$ 。

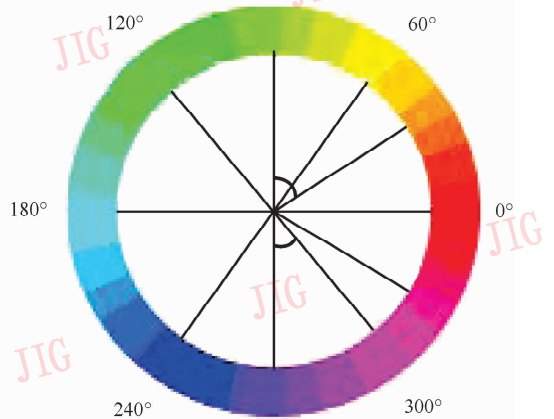


图 2 HSV 颜色模型的  $H$  平面图  
Fig. 2 The hue plan of HSV color space

### 3 基于 HSV 的云检测算法

首次提出基于 HSV 色彩空间的云检测算法。通过大量实验数据表明,在 MODIS 波段 1、6 和 26 假彩色合成后的影像中,高云(特别是卷云)在 RGB 色彩空间中为紫色(即品红),而中低云为黄绿色。将大量假彩色影像与图 2 进行比对,发现地表基本为绿色、水体为黑色,雪为红色,而云在 HSV 色彩空间中的色调基本位于  $270^\circ \sim$

330°和45°~90°,与其他地物色彩差别很大,很容易区分,为了增加算法的鲁棒性,将阈值适当的扩大。因此提出在 HSV 色彩空间中基于简单阈值的云检测算法,算法如下:

1)将 MODIS 数据的波段 1、6 和 26 进行假彩色合成,其中波段 1 作为  $R$  分量、波段 6 作为  $G$  分量,而波段 26 作为  $B$  分量。

2)将步骤 1)所得的假彩色影像利用式(1)进行 HSV 正变换,获得色调  $H$  值( $H$  单位为度)。

3)当  $90 \leq H \leq 45$  且  $V > 0.70$  时,当前像素即为云;中低云的色调基本位于黄绿色区域,然而由于一些阴影区域变换后的色调也在该范围内,因此我们需要滤除阴影区域,提高检测精度。通过研究我们发现中低云在可见光波段和近红外波段的反射率很高,使得云像素的亮度值很大,即使薄云的亮度值也能达到 80%,但是阴影和水体在影像每个通道中的灰度都很低,通过变换公式获得的亮度也很低,因此利用亮度  $V$  来滤除阴影的影像,本算法适当增大阈值,以增加算法的鲁棒性。

4)同步骤 3),添加亮度阈值限定提高检测精度,因为阴影和水体区域对高云检测影像不大因此本文适当的增加阈值,以减少漏判,即当  $180 \leq H \leq 330$  且  $V > 0.5$  时,当前像素即为云;否则为其他地物或者阴影。

实验证明,根据上述判据,本算法可有效地检测不同下垫面和不同季节的云。

## 4 实验结果

为了验证本算法,选取大量的、多地区的、多时相的 MODIS 数据进行实验,实验数据涵盖了基本所有地物(高原、沙漠、雪、草原、植被和水体等多种下垫面)和所有时相(春夏秋冬)。选取具有代表性的实验结果(图 3—5)来论证本文算法的通用性和可行性。

图 3(a)为 2004 年 3 月 16 日青海区域的 MODIS 假彩色合成后影像,通过目视判别可以发现实验区域内基本上包含绿色的高原和一般陆地,黑色的水体和阴影,紫色的云和红色的雪,图 3(b)为本文算法检测结果。将图 3 两幅影像比较,发现该算法可以很好地将云与雪、水体、一般陆地等地物区分,检测效果理想。

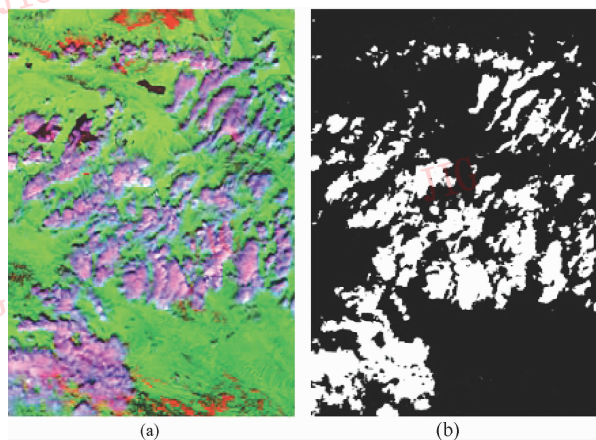


图 3 3 月份 MODIS 1、6、26 波段彩色合成的青海地区影像及实验结果

Fig. 3 The March false color composite image of MODIS 1、6、26 in Qinghai and experimental result

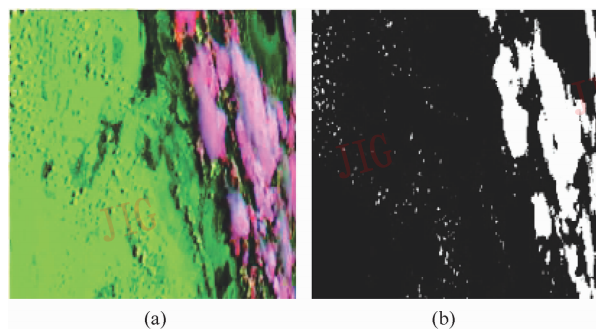


图 4 6 月份 MODIS 1、6、26 波段彩色合成的巴丹吉林沙漠区域影像及实验结果

Fig. 4 The June false color composite image of MODIS 1、6、26 in the Badain Jaran desert and experimental result

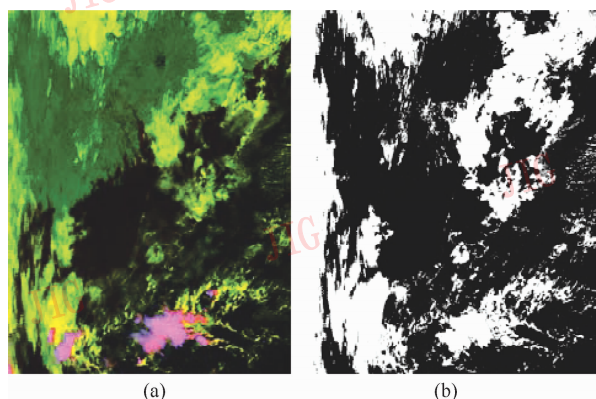


图 5 10 月份 MODIS 1、6、26 波段彩色合成的中国南方及周边海洋地区的影像和实验结果

Fig. 5 The October false color composite Image of MODIS 1、6、26 in the South of China along with ocean area and experimental result

图 4(a) 为 2004 年 6 月 22 日内蒙古巴丹吉林沙漠区域的 MODIS 假彩色合成后影像, 通过目视判别可以发现试验区域内基本上包含绿色的沙漠、植被、草原和一般陆地、黑色的水体和阴影、紫色的高云和黄色的中低云, 图 4(b) 为利用本文算法检测的结果, 可以发现检测效果理想, 可以将高层云和中低云均检测出来, 而且云边界的薄云也能检测出来。

为了验证算法在海洋表面的适用性, 选择 2008 年 10 月 1 日的包含了中国南方地区和南海区域的 MODIS 数据。图 5(a) 为 MODIS 数据的 1、6 和 26 波段进行假彩色合成的影像, 从图中可以看出: 水体呈现暗色; 中国南方大陆表面呈现暗绿色; 高层云系呈现品红色; 中低云呈现黄色, 而中低云系的薄云呈现黄绿色。图 5(b) 为云检测结果, 从图 5 可以看出: 在一般陆地的下垫面下, 提出的算法可以很好将云像素检测出来; 而对于海洋表面的云(包括高、中、低云)也能很好的提取出来, 特别是对于海洋表面的碎云都有很好的检测结果。

为了说明本文算法的简单性、高效性, 现举一例说明, 利用 CPU 为 2.26 GHz, 内存为 2.96 GB 的联想 X200 笔记本电脑对于一幅  $3112 \times 2415$  大小的 BMP 图像进行云检测, 运算时间不超过 2 s, 因此对于快速的检测云, 寻找可利用影像具有很大潜力。

## 5 结 论

从实验结果可以看到, 云被有效的检测出来, 云和陆地的分界线特别清晰, 并消除了云阴影的影响, 检测效果理想。

提出的云检测算法的创新和优势如下:

1) 根据云和地物的自身特性(即光谱信息)进行波段选择和检测处理的, 因此本算法具有坚实的理论基础;

2) 本算法简单可行、主观因素小, 不但可以有效地将云和不同下垫面区分开, 特别是雪地、沙漠, 而且对于不同时相的 MODIS 数据均适用;

3) 首次将 HSV 色彩空间的色调(H)分量引入到云检测领域, 同时利用简单的阈值区分法, 使得本

算法简单、计算量小, 可实行性强;

4) 通过进行适当的波段选择和组合, 本算法可以推广至其他高光谱传感器和其他的遥感研究领域中。

研究中并没有考虑薄云和雾的情况, 因为作者认为薄云和雾所在位置中包含了大量地物的光谱信息和纹理信息, 可以利用去薄云薄雾算法保留地物的信息, 提高数据的利用率, 不用单独检测出薄云薄雾, 这将是将来的研究内容。

## 志 谢

感谢武汉大学 MODIS 卫星数据地面接收站 (<http://www.modis.whu.edu.cn>) 和 NASA 网站 (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov>) 提供的大量实验数据。

## 参 考 文 献 (References)

- [1] Liu Yujie, Yang Zhongdong. The Theories and Algorithms for MODIS Data Processing[M]. Beijing: Science Press, 2001: 109-127. [刘玉洁, 杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 109-127.]
- [2] Gao Bocai, Yang Ping, Li Rongrong. Detection of high clouds in polar regions during the daytime using the MODIS 1.375  $\mu\text{m}$  channel[C]// IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Washington, DC, USA: IEEE, 2003, 41(2): 474-481.
- [3] Tchison K D, Hardy K R. Threshold function for automated cloud analysis of global meteorological satellite imagery[J]. Int. J. Rem. Sens., 1995(16): 3665-3680.
- [4] Ackerman S, Strabala K, Menzel P. Discriminating clear-sky from cloud with MODIS algorithm theoretical basis document(MOD35) [EB/OL]. (1997-11-01). <ftp://eospso.gsfc.nasa.gov/ATBD/REVIEW/MODIS/ATBD-MOD-35/atbd-mod-35.pdf>.
- [5] Menzel P, Ackerman S, Moeller C. Investigation of Cloud Properties and Atmospheric Stability with MODIS[R]. Madison: NOAA/NESDIS at the University of Wisconsin, 1993.
- [6] Gao B C, Goetz A F H, Wiscombe W J. Cirrus cloud detection from airborne imaging spectrometer data using the 1.38 mm water vapor band[J]. Geophysical Research Letters, 1993, 40(4): 301-304.
- [7] Chison K D, Hardy K R. Threshold function for automated cloud analyses of global meteorological satellite imagery[J]. Int. J. Rem. Sens., 1995, 16: 3665-3680.
- [8] Soden B J, Bretherton F P. Upper tropospheric relative humidity from the GEOS 6.7  $\mu\text{m}$  channel: Method and climatology for July

- 1987[J]. J. Geophys. Res. , 1993, 98;16669-16688.
- [ 9 ] Wu X, Bates J J, Khalsa S S. A climatology of the water vapor band brightness temperature for NOAA operational satellite [J]. Journal of Climate, 1993, 7;1282-1300
- [10] Li Wei, Fang Shenghui, Dian Yuanyong, et al. Cloud detection in MODIS data based on spectrum Analysis [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(5) :435-438. [李微,方圣辉,佃袁勇,等. 基于光谱分析的 MODIS 云检测算法研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(5) : 435-438. ]
- [11] Huang Guoxiang. RGB Color Space and It's Application [D]. Changsha: Central South University, 2002. [黄国祥. RGB 颜色空间及其应用研究[D]. 长沙:中南大学, 2002. ]
- [12] Zhang Jiejing. Study on Techniques of Image Retrieval Based on Semantic Content and System Design [D]. Xi'an; Xidian University, 2007. [张洁婧. 基于内容语义的图像检索技术研究与设计[D]. 西安:西安电子科技大学, 2007. ]
- [13] Wang Yujue. Computer color model application [J]. Computer Knowledge and Technology, 2010, 6(6) :1458-1460. [王玉珏. 计算机色彩模型应用[J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(6) : 1458-1460. ]
- [14] Jia Yonghong. Computer Image Manipulation and Analysis [M]. Wuhan; Wuhan University Press, 2002;78-79. [贾永红. 计算机图像处理与分析[M], 武汉:武汉大学出版社, 2002;78-79. ]