

# 利用局部累加直方图进行彩色图象检索

刘忠伟 章毓晋

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

**摘要** 在分析利用累加直方图对彩色图象进行检索的基础上首次引入了局部累加直方图以提高检索效率。本文还对 HSV(即色度、饱和度、亮度)空间中颜色的相似分布进行了研究,提出了一种新的相似色区间划分方法。基于以上研究,本文提出了4种新的利用局部累加直方图和新的相似色区间划分方法的图象检索算法。对真实图象检索的实验结果表明,这4种新算法的性能均远优于一般的累加直方图法。

**关键词** 图象检索, HSV空间, 累加直方图, 相似色区间

## 1 引言

在利用颜色特征对彩色图象进行基于内容的检索中人们已提出了多种不同的算法<sup>[1~4]</sup>。我们曾对其中8种算法借助以国旗为主的一个合成图象库进行了实验比较<sup>[5]</sup>。实验结果表明基于累加直方图的算法性能最优。分析表明这是因为在以欧氏距离为相似度的测度时,累加直方图能较好地体现彩色信号在其分布轴上各抽样点间的相关性,关于这一点,我们也给出了数学证明<sup>[5]</sup>。

然而,对颜色更复杂的实际图象库采用累加直方图算法取得的检索结果并不够令人满意。为提高检索性能,本文一方面首次引入了利用局部累加直方图的方法,另一方面提出了一种相对合理的 HSV 空间中相似色区间的划分方法。在此基础上,本文提出了4种新的检索算法,并与一般的累加直方图算法进行了实验比较。

## 2 局部累加直方图

我们已经证明<sup>[5]</sup>:在以欧氏距离为相似度测度时,累加直方图能体现信号在分布轴上各抽样点间的相关性,即分布轴上相对某个抽样点距离越近的

点,在某种特性意义上就越相似于该抽样点。但是累加直方图能体现这个性质的前提是:信号本身要有这样的特性,即特征分布轴上距离小的2点要比距离大的2点更相似。而这一条件以前并未为人们所重视<sup>[3]</sup>。我们可以考察一下色度(Hue)信号的情况。在 HSV 空间里, $H=0^\circ$ 基本对应红色, $H=60^\circ$ 基本对应黄色, $H=120^\circ$ 基本对应绿色。从人的视觉感知来讲,黄色与红色和绿色与红色本无所谓哪2个更相似。换句话说,虽然在  $H$  轴上黄色的色度值比绿色的色度值更接近于红色的色度值,但在视觉效果上黄色并不一定比绿色更相似于红色。这表明色度信号的分布从视觉意义上讲,并不满足累加直方图应用的前提。当然对于国旗等颜色简单且颜色数目少的合成图象,色度信号相关的性质比较简单,故累加直方图算法的检索结果还比较令人满意<sup>[5]</sup>。而对色彩比较复杂的自然景物图象,一般累加直方图算法在检索中就会将不同色度的信号混淆起来。

不过上面的分析并不表示对于复杂彩色图象的色度信号不能应用累加直方图法。我们知道人眼对色彩的分辨能力是有限的,表现在当亮度和饱和度相同的情况下,人眼对色度在一定范围内的变化不敏感甚至无法察觉。人的这种视觉特性表明色度在其分布轴上的局部区间里仍能满足累加直方图体现相关性的条件,所以我们可把色度沿分布轴分成若

\* 本工作得到国家自然科学基金(No. 69672029)和高技术计划(No. 863-317-9604-05)支持  
收稿日期:1997-11-28;收到修改稿日期:1998-01-09

千个局部区间而在各局部区间内分别应用累加直方图法。我们将这样的方法称为局部累加直方图法。

### 3 相似色区间的划分

使用局部累加直方图代替一般的累加直方图需要对色度相似区进行合理的划分。由于对彩色的视觉效果是色度、饱和度和亮度综合作用的结果,相似色区间的划分也必然受这三者的共同影响。在 HSV 空间,如果固定  $S$  值,令  $C$  代表常数,我们可以得到颜色的  $f(H, S=C, V)$  二维分布的表达式,即当  $H \in [k\pi/3, (k+1)\pi/3], k=0, 1, 2, 3, 4, 5$  时有(详细推导过程见附录 A):

$$V = \max(R, G, B) - \frac{2}{3} \times$$

$$\left\{ \frac{\sqrt{3}C}{\tan[(-1)^k(H - \frac{2}{3}\text{int}(\frac{k+1}{2}\pi))] + \sqrt{3}} \right\}$$

(1)

由上式可见,  $f(H, S=C, V)$  是以  $2\pi/3$  为周期的,具体形状可见图 1(图版 I)(其中横轴为  $H$  轴,竖轴为  $V$  轴)。由图 1 可明显看出颜色的相似分布并非均匀分布,红绿兰的相似色区域明显大于黄青紫的相似色区域,而且当  $V < 128$  时基本表现为红绿兰三色。另外由图 1 还可以看到,当  $V$  的值增加时红绿兰的相似色区域逐渐减小,而黄青紫的相似色区域逐渐增大,这种区域大的变化从图 2(图版 I)的  $f(H, S, V=C)$  分布也可得到证实(这里横轴为  $H$  轴,竖轴为  $S$  轴)。

基于以上分析,我们可确定一种比较合理的相似色区域的划分方法。考虑到相似色分布的非线性,需用高次曲线进行划分。通过观察图 3(图版 I)(其中  $S=192$ )可见用四次曲线进行划分比较合理,这里四次曲线的方程如下:

$$V = -\frac{255-2C/3}{60^4}(H-120k)^4 + 255 - \frac{1}{3}C, k=0, 1, 2, H \in (0, 360^\circ) \quad (2)$$

为简化计算,我们可对上述的四次曲线划分按图 3 进行直线近似,6 段直线的方程分别如下:

$$L_m: V(H) = -a(H - 120k_m) + b_1$$

$$m = 1, 3, 5 \quad k_1 = 0, \quad k_3 = 1, \quad k_5 = 2 \quad (3)$$

$$L_n: V(H) = a(H - 120k_n) + b_2$$

$$n = 2, 4, 6 \quad k_2 = 0, \quad k_4 = 1, \quad k_6 = 2 \quad (4)$$

其中:  $a = (255 - 5C/6)/30, b_1 = 510 - 7C/6, b_2 =$

$-510 + 13C/16$ , 且直线  $L_m$  过  $(30 + 120k_m, 255 - C/3)$  和  $(60 + 120k_m, C/2)$  2 点, 直线  $L_n$  过  $(90 + 120k_n, 255 - C/3)$  和  $(60 + 120k_n, C/2)$  2 点。

上述 6 段直线将  $f(H, S=C, V)$  划分成 6 个相似色区域。注意这些区域的分界线与  $H$  轴并不垂直,换句话说相似色还是  $V$  的函数。我们可将这些相似色区域进一步进行变换以使得变换后的相似色分布对  $V$  的变化近似不变。设变换前后的色度值分别为  $H_{old}$  和  $H_{new}$ , 则所需变换为:

(1) 当时  $H_{old} \in [120k, 60 + 120k], k=0, 1, 2$  时,若  $(H, V)$  在直线  $L_m, m=1, 3, 5$  下方:

$$H_{new} = 120k + \frac{H_{old} - 120k}{b_1 - V} \times a \times 30 \quad (5)$$

若  $(H, V)$  在直线  $L_m, m=1, 3, 5$  上方:

$$H_{new} = 60 + 120k + \frac{H_{old} - 120k - 60}{V - M/2} \times a \times 30 \quad (6)$$

(2) 当  $H_{old} \in [60 + 120k, 120(k+1)], k=0, 1, 2$  时,若  $(H, V)$  在直线  $L_n, n=2, 4, 6$  下方:

$$H_{new} = 120(k+1) + \frac{H_{old} - 120(k+1)}{b_1 - V} \times a \times 30 \quad (7)$$

若  $(H, V)$  在直线  $L_n, n=2, 4, 6$  上方:

$$H_{new} = 60 + 120k + \frac{H_{old} - 120k - 60}{V - M/2} \times a \times 30 \quad (8)$$

对图 3 如上变换后得到图 4(图版 I)。由图 4 可见现在各相似色区间的分界线近乎与  $H$  轴垂直,基本上消除了  $V$  对相似色划分的影响。

### 4 4 种新的图象检索算法

基于上面介绍的概念和方法,我们设计了 4 种新的彩色图象检索方法,下面分别介绍:

算法 1:

当对色度的量化间隔为  $1^\circ$  时,采用  $60^\circ$  为区间的长度,将  $H$  轴共分成 6 个不重叠的局部区间,  $[60k, 60(k+1)], k=0, 1, \dots, 5$ , 通过分别计算每个局部区间的累加直方图进行检索。

算法 2:

色度轴上各种颜色的分布实际上是连续过渡的,各颜色区之间并不存在截然的界限。算法 1 以  $60^\circ$  为间隔来划分相似色区域,虽然保证了在各局部区间内使用累加直方图的条件,但在区间分界处附近忽视了颜色的相似连续性,会造成与量化间隔过

大而产生的相同问题<sup>[5]</sup>。在算法 2 中,先采用算法 1 的方法计算出每个局部区间的累加直方图,再改变区间的划分为 $[30+60k, (30+60(k+1)) \bmod 360]$   $k=0,1,\dots,5$ ,计算出这时每个局部区间的累加直方图,最后将这 2 次计算的累加直方图逐项相加取平均,作为最终的特征直方图用于检索。这样在以欧氏距离为相似度测度时,更能体现色度信号在分布轴上各抽样点间的相关性(图 5)。

#### 算法 3:

将色度经上面的式(5)~(8)进行变换后,基本消除了  $V$  变化的影响。算法 3 在此基础上对  $H_{new}$  以  $60^\circ$  为间隔进行新的相似色区间划分并按算法 1 计算局部累加直方图进行检索。

#### 算法 4:

类似算法 2 对算法 1 的改进,先用算法 3 计算出每个局部区间的累加直方图,再改变区间划分并计算出这时每个局部区间的累加直方图。最后将这 2 次计算的累加直方图逐项相加取平均,作为最终的特征直方图用于检索。

## 5 新算法性能的检验

为检验新算法的性能并与原有算法比较,我们借助一个由近 400 幅各种花草摄影图片组成的真实图象库进行了查询和检索实验。新图象库中图象均为 24bits 的真彩色图象,其尺寸一般为  $(120 \sim 160) \times (80 \sim 160)$ 。对比以国旗为主的合成图象库<sup>[5]</sup>,新图象库的图象数目更大、图象颜色更复杂。图 6 给出用算法 4 进行一次检索所得到的结果。在实验中,查询图是从图象库中选出来的,所以在检索结果中第 1 幅图即为查询图。结果中的其余各图是根据查询图而从图象库中检索出来的相似图,它们按照与查询图相似程度依次排列。从图 6(图版 I)也可看到新图象库中一些真实图象的例子。

对实验结果的评价,我们借助了检索效率这个参数<sup>[6]</sup>:

(1) 某种检索方法对某一幅查询图象  $P$  的检索效率定义为:

$$\eta_p = \begin{cases} n/N & \text{if } N \leq T \\ n/T & \text{if } N > T \end{cases} \quad (9)$$

其中:  $N$ : 为人眼主观从图象库找出的与图象  $P$  相似的图象数目;

$n$ : 为计算机自动检索输出的包含在  $N$  中的图象数目;

$T$ : 为计算机自动检索输出的总的图象数目。

(2) 某种检索方法的检索效率定义为对  $M$  幅查询图象的检索效率的均值:

$$\eta = \frac{1}{M} \sum_{p=1}^M \eta_p \quad (10)$$

实验中我们取  $M = 8$  幅有代表性的不同图象进行检索,这中间有 6 幅图象的  $N > 20$ ,取  $T = 20$ ,实验结果见表 1。另有 2 幅图象分别为  $N = 7, T = 10$  和  $N = 15, T = 20$ ,实验结果见表 2。两表中,  $CH$  和  $CM$  分别代表一般累加直方图法和中心矩法<sup>[5]</sup>;  $LCH1$  到  $LCH4$  分别代表本文中的算法一到算法 4。

从表 1 和表 2 所总结的实验结果可以看出:

(1) 本文所提出 4 种新算法的检索效率均远优于一般累加直方图法和中心矩法,这说明局部累加直方图法的确比一般累加直方图法更合理有效,尤其在检索颜色复杂的真实图象时。

(2) 无论在  $N > T$  或  $N < T$  的情况下,利用局部累加直方图法的检索结果都比一般累加直方图法要好。但是在  $N > T$  情况时差别更大。对较大的图象数据库,  $N$  常常大于  $T$ ,所以利用局部累加直方图法效果更好。

(3) 在检索效率上,算法 2 相对于算法 1,算法 4 相对于算法 3 都有提高。这说明对算法 1 和算法 3 的改进确实消除了相似色边界处的效应,使局部累加直方图的计算进一步反映了信号间的相关性。

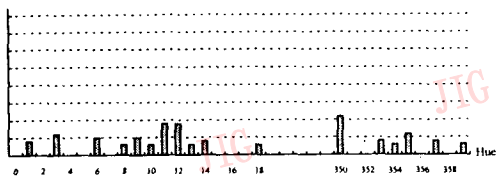
(4) 在检索效率上,算法 4 相对于算法 2,算法 3 相对于算法 1 也有一定提高。这说明本文中对相似色区间的划分和变换对提高检索效果是有益的。

表 1  $N > T$  时的实验结果

算法效率	CH	CM	LCH1	LCH2	LCH3	LCH4
$\eta_1$	35%	35%	80%	90%	90%	95%
$\eta_2$	25%	25%	90%	95%	90%	95%
$\eta_3$	35%	30%	95%	95%	90%	95%
$\eta_4$	35%	25%	90%	95%	90%	95%
$\eta_5$	40%	55%	90%	95%	90%	95%
$\eta_6$	45%	30%	90%	95%	90%	95%
$\eta_7$	35.8%	33.3%	89.2%	94.2%	90%	95%

表 2  $N < T$  时的实验结果

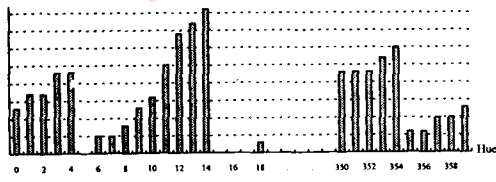
算法效率	CH	CM	LCH1	LCH2	LCH3	LCH4
$\eta_7$	62.5%	37.5%	75%	87.5%	75%	87.5%
$\eta_8$	53.3%	67%	86.7%	93.3%	93.3%	93.3%
$\eta$	57.9%	52.3%	80.9%	90.4%	84.2%	90.4%



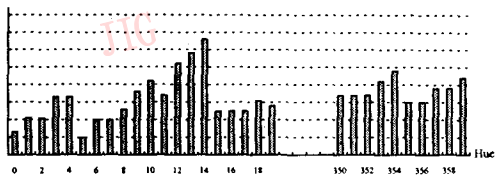
(a) 原始直方图



(b) 局部累加直方图 LCHI, 区间划分为  $[10k, 10(k+1)]$ ,  $k=0, 1, 2, \dots, 35$ .



(c) 局部累加直方图 LCH2, 区间划分为  $[5+10k, (5+10(k+1)) \bmod 360]$ ,  $k=1, 2, \dots, 35$ .



(d) 最终局部累加直方图  $LCH3 = (LCHI + LCH2) / 2$ .

图5 算法2和算法4中局部累加直方图的计算过程

## 6 结束语

本文通过对一般累加直方图算法原理的分析,提出了局部累加直方图的概念。还对颜色沿坐标轴的分布进行了研究,对相似色区域的划分提出了一种从视觉角度上更合理的划分和变换方法。基于以上研究,本文提出了4种新算法,并与一般累加直方图和中心矩法进行了实验比较。实验结果表明4种新算法均比原有的算法在检索效率上有明显提高。在这4种新算法中,算法2和算法4比较充分地体现了局部累加直方图的优点,检索效率更高。特别是算法4利用了较合理的相似色区间划分,因而检索效率最高。

实验中我们注意到对整幅图象进行计算机检索与人的视觉检索常存在不一致的地方。人眼观察一幅图象时,总是很自然地将图象分成目标和背景,并在检索中给予不同的权重。一般人对计算机检索结果的评价也主要是以目标来衡量的。但计算机对一幅图象并不能自动区分何为目标,何为背景。这样当

目标占整幅图象的比重很小时,背景部分有可能在相似度量中起很大作用而使机器检索产生与视觉不一致的伪“误检”。为适应人的这一视觉特性,同时也为了更有效的优化检索算法,我们正研究将对整图的检索与对目标的检索结合起来的方法。

## 参考文献

- 1 Swain M J, ballard D H. Color indexing. Intl. J. Computer Vision, 1991, (7): 11~32.
- 2 Mehtre B M. et al., Color matching for image retrieval, Pattern Recognition Letters, 1995, (16): 325~331.
- 3 Stricker M, Orengo M. Similarity of color images, SPIE, 2420, 1995, 381~392.
- 4 Kankanhalli M S et al. Cluster-based color matching for image retrieval, Pattern Recognition, 1996, (29): 701~708.
- 5 Zhang Y J. et al. Comparison and improvement of color-based image retrieval techniques. SPIE 3312, 1998, 371~382.
- 6 Zhang H J. et al. Image retrieval based on color feature; an evaluation study, SPIE, 1995, 2606: 212~220.
- 7 Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing. Addison-wesley, 3rd. ed., 1992.

## 附录

### $f(H, S = C, V)$ 二维分布的详细推导

在RGB空间的彩色图象可用下述变换转换到HSV空间<sup>[7]</sup>:

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{(R-G) + (R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right\}$$

$R \neq G$  或  $R \neq B$

若  $B > G$   $H = 2\pi - H$

$$S = \max(R, G, B) - \min(R, G, B)$$

$$V = (R + B + G) / 3 \tag{1}$$

现今  $S = C$ , 不失一般性, 可设:  $R = \max(R, G, B)$ ,  $B = \min(R, G, B)$ , 则  $R = B + C$ 。又记:  $R - G = K$ , 显然  $K \in [0, C]$ , 这样由式(1)可得:

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{K + C}{2\sqrt{K^2 + C(C - K)}} \right\} = \cos^{-1} \left\{ \frac{K + C}{2\sqrt{(K + C)^2 + [\sqrt{3}(K - C)]^2}} \right\} \tag{2}$$

又因为  $K \in [0, C]$ , 所以  $G \in [0, \frac{\pi}{3}]$ , 且  $H = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{3}(C - K)}{C + K} \right\}$ , 这样可得到:

$$C + K = \frac{2\sqrt{3}C}{\tan H + \sqrt{3}} \tag{3}$$

将式(3)代入式(1)得到:

$$V = \frac{1}{3}(R + G + B) = \frac{1}{3}(R + R - K + R - C) = R - \frac{1}{3}(C + K) = R - \frac{2}{3} \left( \frac{\sqrt{3}C}{\tan H + \sqrt{3}} \right) \quad (4)$$

因为前面已设  $R = \max(R, G, B)$ , 所以可知

$R \in [C, 255]$ , 进一步可确定  $V$  的取值范围是:  $V \in \left[ C - \frac{2}{3} \left( \frac{\sqrt{3}C}{\tan H + \sqrt{3}} \right), 255 - \frac{2}{3} \left( \frac{\sqrt{3}C}{\tan H + \sqrt{3}} \right) \right]$

由此可见  $f(H, S = C, V)$  在  $H \in [0, \pi/3]$  区间是由  $R$  从  $C$  变化到 255 的一族曲线组成的, 见图 1。对  $H$  在其它区间的情况也可类似推导, 最后将各结果归纳就可得到式(1)。



刘忠伟 清华大学电子工程系, 硕士研究生。1993 年获清华大学工学学位。主要研究领域为图象分析, 模式识别。



章毓晋 清华大学电子工程系教授,《中国图象图形学报》编委。主要研究兴趣是图象工程(图象处理、图象分析、图象理解及其应用)和相关学科,已在上述领域发表了 60 余篇研究论文。

## Color Image Retrieval Using Local Accumulative Histogram

Liu Zhongwei, Zhang Yujin

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** Along with the analysis of color image retrieval using accumulative histogram, the concept of local accumulative histogram is first introduced in this paper. In addition, the distribution of similar colors in HSV space is studied and a new dividing method for similar color regions is obtained. Based on these studies, four new algorithms of image retrieval using local accumulative histogram and new dividing method for similar color regions are proposed. The performances of these new algorithms are proved much better than the algorithms using accumulative histogram as shown by the retrieval experiments with real images.

**Keywords** Image retrieval, HSV space, Accumulative histogram, Similar color region

### ▲ Sony 生产 21 英寸平板 CRT ▲

Sony 近日扩大了它的显示器生产线,增加了新的旗舰 Trinitron 产品,并生产出了首台平板显示器。CPD-520GS-F500 CRT 的价格为 1 300 美元,该产品为 21 英寸,具有高分辨率,主要面向企业应用。GDM-F500 的价格为 1 900 美元,可提供  $1\ 800 \times 1\ 400$  的分辨率,刷新频率为 80Hz,栅距为 0.22mm。Multiscan 520GS 使用 Sony 的短颈 CRT,提供从 0.25 mm 到 0.27mm 的可变化栅距,75Hz 的刷新频率及  $1\ 600 \times 1\ 200$  的分辨率。CPD-L150 显示器可提供 1600 万种颜色,分辨率为  $1\ 024 \times 768$ ,刷新频率为 85Hz,预计售价为 2 200 美元。

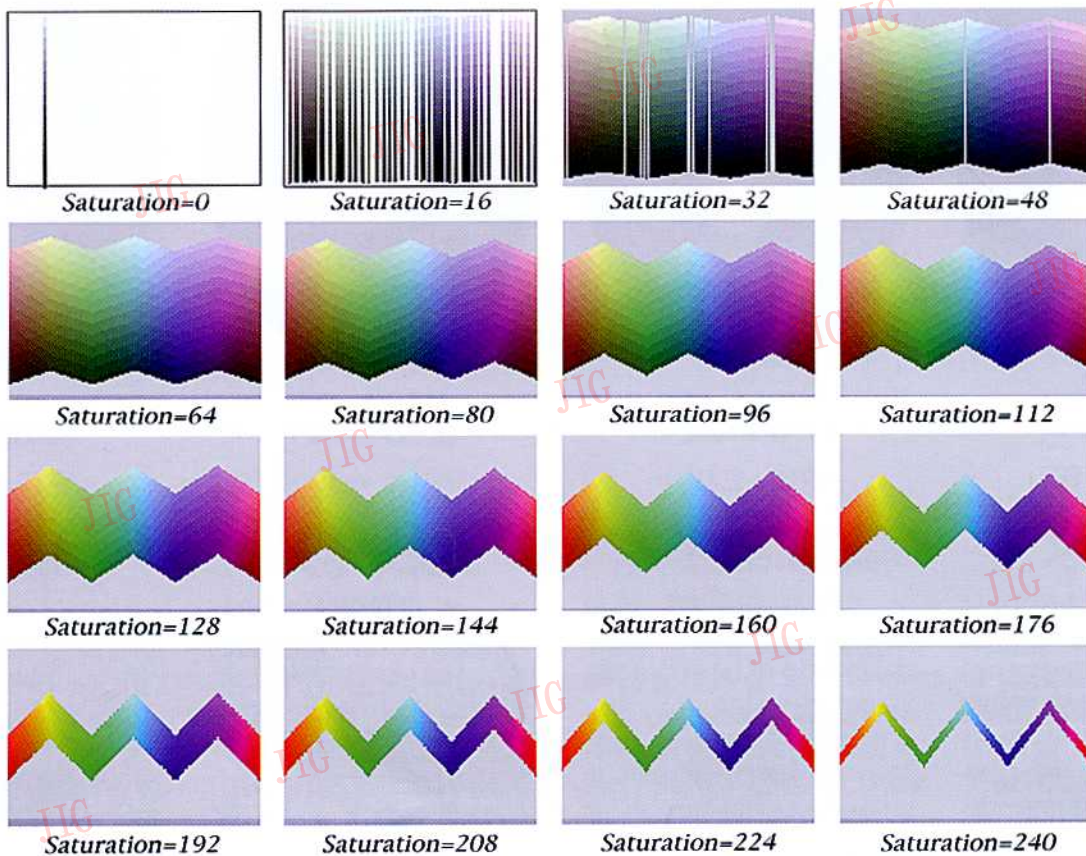


图1  $f(V, H, S=C)$  的颜色分布

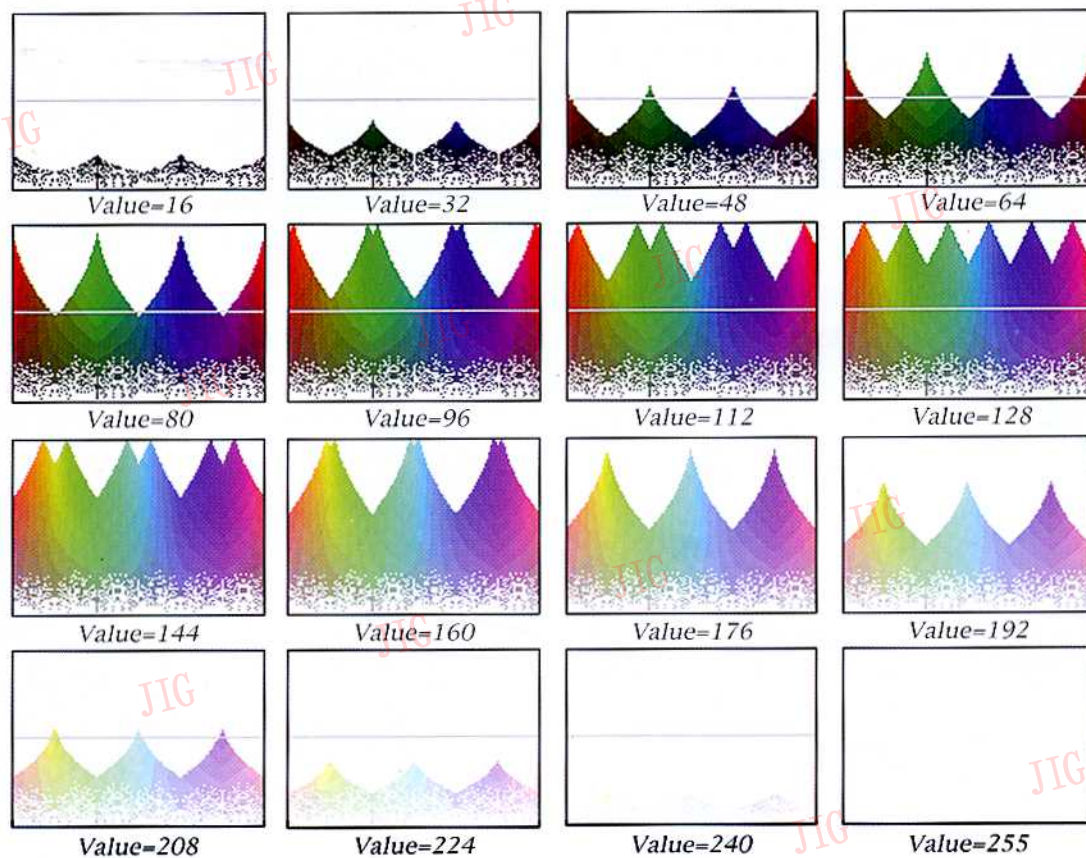


图2  $f(S, H, V=C)$  的颜色分布

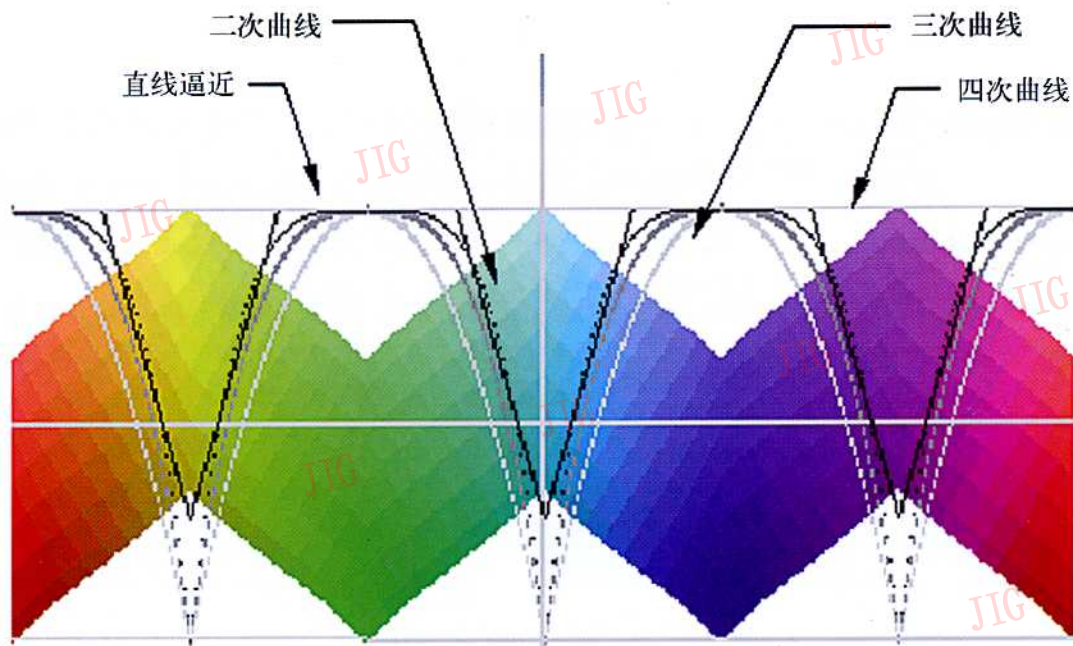


图3  $f(V, H, S=192)$  的相似色区间的划分

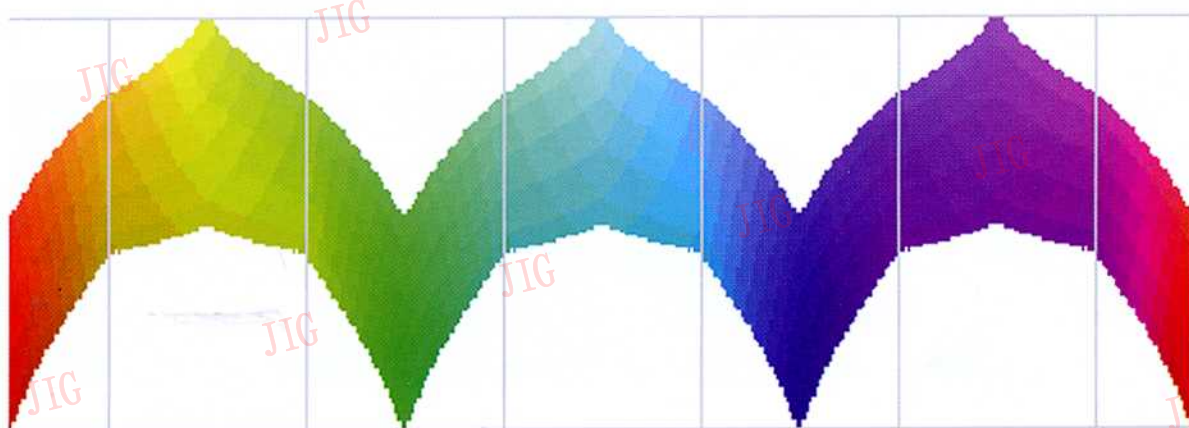


图4 经变后的颜色分布  $f(V, H, S=192)$

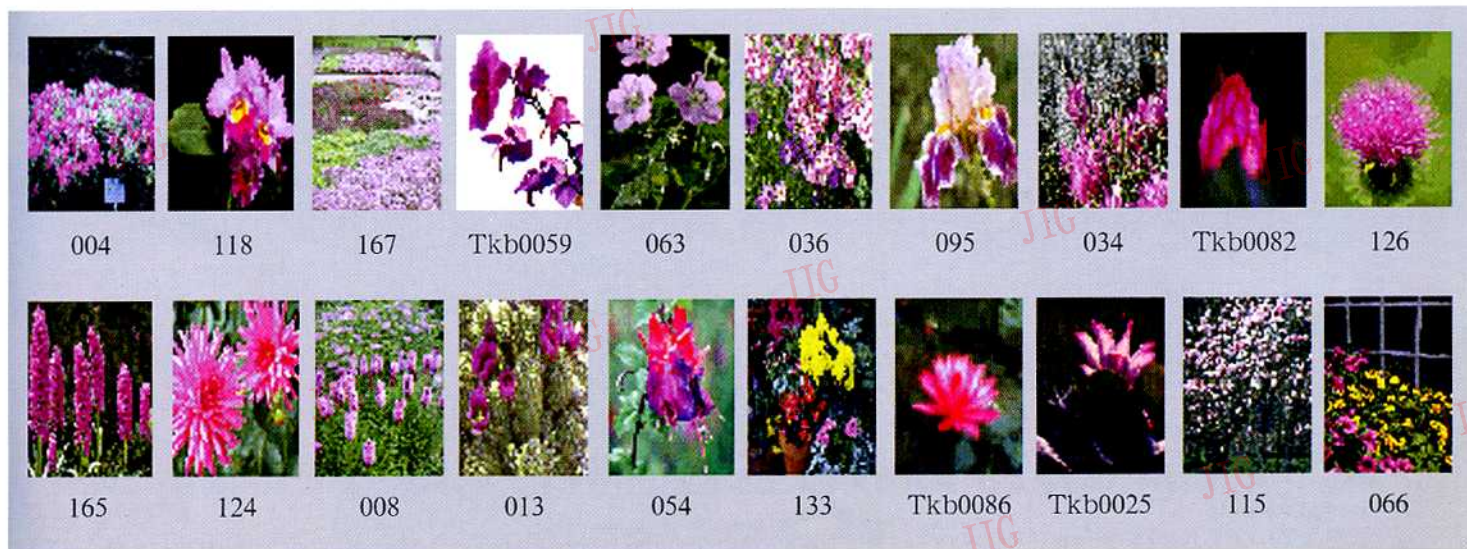


图6 一些图象库中的图象