

# 基于HVS的彩色图像边缘检测算子

林生佑 石教英

(浙江大学CAD&CG国家重点实验室, 杭州 310027)

**摘要** 边缘检测是数字图像处理中的基本预处理方法之一, 由于利用检测出来的图像边缘可以对图像做进一步的处理, 因此它是图像处理中的基础算法。大家知道, 边缘检测问题, 其本质上是颜色差分的计算问题。尽管边缘检测在灰度图像处理当中得到了深入的研究, 但对于彩色图像仍然是一个难题。为了能够较好地处理彩色图像进行边缘检测, 结合人类视觉系统(human vision system, HVS)的特点, 通过分离颜色的亮度信息和色度信息, 并通过压制次要信息来强调其中的重要信息, 提出了一种新的彩色图像边缘检测算法。该算法先分别计算两个颜色的亮度距离和色度距离, 然后将这两个距离的加权平均值作为最终的颜色距离。由于它能较好地检测出图像边缘, 因此是一种实用有效的彩色图像边缘检测方法。

**关键词** 梯度 亮度 色度 边缘检测

**中图分类号**: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2005)01-0043-05

## A Color Edge Detection Operator Based on Human Vision System

LIN Sheng-you, SHI Jiao-ying

(State Key Laboratory of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

**Abstract** Edge detection is one of the basic pre-processing methods in digital image processing and computer vision. It is one of the most important algorithms making the processing going further. Edge detection is essentially a problem of color difference computing. Although edge detection has been explored deeply in gray image, it is still a difficult problem in color image for its trouble to define the color difference including not only value, but also direction. In this paper, a new color edge detection algorithm is proposed. This algorithm is based on Human Vision System (HVS) separating the chroma and intensity information of RGB color to emphasize the more important one. Inspired by this important property of HVS, the intensity difference and chroma difference are computed respectively, and then the weighted mean over these two differences is taken as the final color difference. This algorithm solves some problems produced by the existing algorithms and is proved to be a practical and effective color edge detection algorithm.

**Keywords** gradient, intensity, chroma, edge detection

## 1 引言

图像的边缘对人的视觉具有重要意义, 因为人类识别物体需依赖于物体的边缘。例如当人们看到一个色彩亮度变化缓慢的区域时, 很难把这个区域分为轮廓分明的两部分, 但是当该区域有颜色突变时, 人们就能立刻感受到边缘的存在。边缘检测是图像分割的一种重要途径, 它用于检测图像中具有

颜色突变的地方, 包括颜色的亮度和色度的不连续, 这种不连续性就称为边缘<sup>[1]</sup>。一般来说, 图像中的边缘由深度不连续、表面法向量不连续, 光照不连续和材料的反射性质不连续等几种不连续情况造成。边缘提取是图像分析的经典研究课题之一, 目前的理论和方法仍存在许多不足之处。大家知道, 边缘与物体间的边界并不等同, 边缘指的是图像中像素的颜色值有突变的地方, 而物体的边界则指的是现实场景中的存在于物体之间的边界, 如果要找出图像上颜

**基金项目**: 国家自然科学基金重点项目(60033010); 国家创新群体科学基金项目(60021201)

**收稿日期**: 2003-12-25; **改回日期**: 2004-07-15

**第一作者简介**: 林生佑(1976~), 男, 1998年于浙江大学获得计算机学士学位, 现为浙江大学CAD&CG国家重点实验室博士研究生。主要研究方向包括计算机视觉及图像处理。E-mail: lsy@cad.zju.edu.cn

色值有突变的像素点,则首先必须进行不同像素点颜色之间的比较。由于灰度图像像素点的颜色都落在一条直线上,因此颜色的比较相对容易。灰度图像边缘检测的方法<sup>[1-4]</sup>有 Roberts 算子、Prewitt 算子、Kirsch 算子、Laplace 算子、Sobel 算子、Canny 算子<sup>[4]</sup>等。

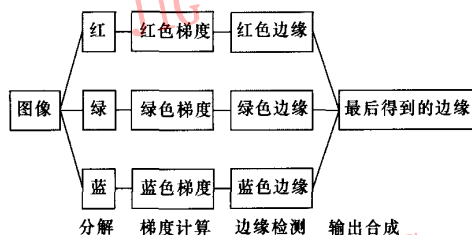
相对于灰度图像,在 RGB 颜色空间中比较不同颜色则较为困难。1977 年,南加州大学的 Nevatia 教授发表了第 1 篇关于彩色边缘检测的论文<sup>[5]</sup>,该文把 Hueckel 算子应用到彩色图像边缘检测中。到目前为止,在国际会议期刊上已经发表了大量有关彩色图像边缘检测的论文,其中大部分方法都试图把灰度图像边缘检测方法应用到彩色图像边缘检测中去。本文从另一个角度出发,提出了一种基于 HVS 的彩色图像边缘检测算法,该算法过程合理直观,在大量的例

子中都取得了较好的检测效果。

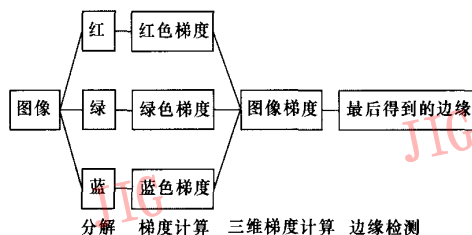
## 2 数字图像的边缘检测

边缘检测的本质是颜色差分的定义和计算问题。对于彩色图像来说,由于每个像素由 R, G, B 3 个分量决定,很难定义颜色差分的大小以及方向,因此彩色图像边缘的检测要困难许多。彩色图像边缘检测算法通常可以分为以下输出合成、梯度合成及矢量方法 3 类:

(1) 输出合成方法 该方法应用最为普遍,基本思想就是先对红、绿、蓝分量分别做 3 次边缘检测,然后合成 3 个检测结果作为最后的结果,其流程如图 1(a) 所示。



(a) 输出合成法



(b) 梯度合成法

图 1 彩色图像边缘检测流程图

Fig. 1 Flow chart of color edge detection

(2) 梯度合成方法 由于它是通过合成红、绿、蓝 3 个分量的梯度来进行检测,因此只需做一次边缘检测即可,其流程如图 1(b) 所示,本文将用该方法和其他方法进行比较。

(3) 矢量方法 该方法是把颜色看作一个 3 维矢量,1996 年有两篇论文<sup>[6,7]</sup>首先提到了这种方法。由于该方法计算复杂和理论欠完备,因此没有被广泛采用。本文介绍的基于人类视觉系统 (human vision system, HVS)<sup>[8-11]</sup>的边缘检测算子,也是把颜色看作一个矢量,通过模拟人类视觉系统来把颜色亮度和色度分开处理,并计算颜色梯度。由于它只需做一次边缘检测,无需建立复杂的模型,因此能较好地检测出物体的边缘。

## 3 基于 HVS 的边缘检测算子

在前面介绍的灰度图像的边缘检测算法中,虽然采用的模板各有不同,但最后都归结为颜色差分的计算问题。对灰度图像来说,两个颜色的差分大

小等于颜色的灰度值之差,而且差分的方向也可以由符号决定,而对于彩色图像来说,两个颜色的差分的计算则比较困难。

众所周知,由于使用 RGB 颜色无法准确描述人类对颜色的感知,因此有研究者试图用别的颜色空间来代替 RGB 颜色空间。由于 HSI 颜色空间比 RGB 颜色空间能够更准确地反映人眼感知颜色的性质,故 Carron 和 Lambert 于 1994 年提出了基于 HSI 颜色空间的彩色边缘检测<sup>[12]</sup>方法,即首先对 HSI 颜色空间中的每个分量分别用 Sobel 算子来得到各自的检测结果,然后加权平均这 3 个检测结果。1999 年, Wesolkowski 和 Jernigan 则提出了基于颜色矢量差和矢量角的彩色边缘检测方法<sup>[13]</sup>。该方法一方面把颜色看作一个矢量,同时认为矢量的长度就是该颜色的亮度,并将两个颜色矢量的矢量差作为这两个颜色的亮度差;另一方面,它认为两个颜色矢量之间所张的角的正弦值反应了这两个颜色的色度差的大小,在假设色度差和亮度差的单位一致的情况下,加权平均亮度差和色度差,即可得到两个颜色之间的差异。

近几年来, 基于 HVS 的应用出现在众多研究领域, 比如数字水印<sup>[14]</sup>、视频处理<sup>[15]</sup>、图像压缩<sup>[16]</sup> 等等。本文提出了一种基于 HVS 的边缘检测算法。该算法首先通过把颜色的亮度信息和色度信息分开来做不同处理, 并赋予不同的权重, 然后把颜色之间的差异进行量化, 最后采用灰度图像边缘检测模板来计算图像的梯度, 以得到图像边缘。它的颜色差分计算由颜色距离计算、权重计算和距离合成 3 个部分组成。

### 3.1 颜色距离计算

#### (1) 亮度距离计算

对任意一个 RGB 颜色  $C(R, G, B)$ , 其亮度值由下式计算:

$$I_C = 0.114R + 0.588G + 0.298B \quad (1)$$

根据式(1)即可计算出颜色  $A$ 、 $B$  的亮度值  $I_A$  和  $I_B$ , 定义这两个颜色的亮度距离为

$$\Delta l = |I_A - I_B| = |I_{A,B}| \quad (2)$$

容易知道,  $\Delta l$  的取值范围为  $[0, 255]$ 。

#### (2) 色度距离计算

RGB 颜色空间为一单位立方体, 将过点  $(1, 0, 0)$ 、 $(0, 1, 0)$  和  $(0, 0, 1)$  作出的一个等边三角形切面称为 RGB 颜色空间的单位平面  $s$ , 如图 2(a) 中白色部分所示, 然后在图 2(b) 中通过单位平面的几何中心  $o$  把该平面分为 6 个全等的直角三角形 (I) ~ (VI)。由于人眼对颜色的感知主要由该颜色 RGB 分量的最大分量决定, 因此如果最大分量为红色分量, 那么该颜色就被人眼感知为偏向红色。由于任意一个颜色向量  $C$  在单位平面  $\varphi$  上都有一个投影点  $\hat{C}$ , 设其色度为  $c$ , 因此对任意两个颜色向量  $A$  和  $B$ , 假设它们在单位平面上的投影点分别为  $a$ 、 $b$ , 则根据投影点落在不同的直角三角形的情况, 就可定义不同的颜色相似参数  $\eta$ 。

(1) 如果  $a$ 、 $b$  落在以下 3 个区域内部: 区域(I)、

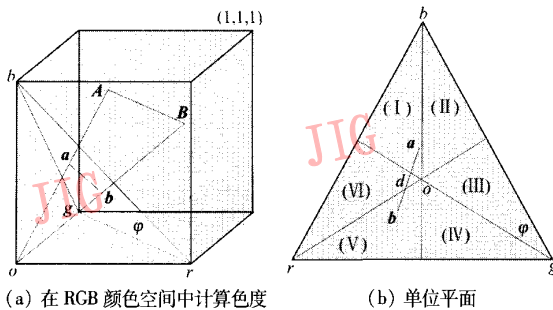


图 2 色度距离示意图

Fig.2 Illustration of chroma distance

(II), 区域(III)、(IV), 区域(V)、(VI), 那么颜色向量  $A$  和向量  $B$  的最大分量一样, 此时可设定参数  $\eta = 1$ ;

(2) 如果  $a$ 、 $b$  分别落在相反区域, 如 (I) 和 (IV)、(II) 和 (V)、(III) 和 (VI) 内部, 那么颜色向量  $A$  和向量  $B$  的最大分量和最小分量刚好相反, 设定参数  $\eta = 3$ , 其余情况设定参数  $\eta = 2$ ;

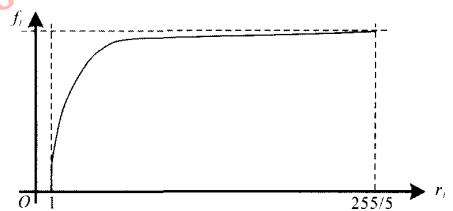
计算单位平面上点  $a$ 、 $b$  的距离  $d = |\vec{ab}|$ , 由于  $d$  的取值范围为  $[0, \sqrt{2}]$ , 因此需要归一化为  $[0, 255]$  区间内的值, 本文定义色度距离  $\Delta c = \min(d \times \eta \times 255/\sqrt{2}, 255)$ , 即它是量化后的单位平面上点  $a$ 、 $b$  的距离与颜色相似参数的乘积。由此可见, 两个颜色的色度差并不简单地只和  $d$  存在联系, 它还和两个颜色在单位平面  $\varphi$  上的投影点的相对位置有关, 即便  $d$  相同, 但如果投影点落在不同的位置, 那么色度差也是不一样的。由以上计算可知,  $\Delta c$  的取值范围为  $[0, 255]$  (如图 2 所示)。

### 3.2 权重计算

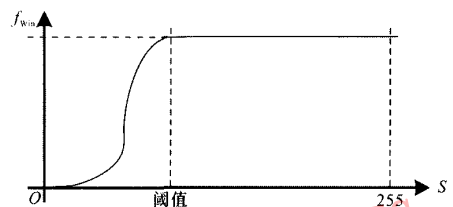
计算较大灰度值与较小灰度值的比值  $r_i$  时, 为防止出现奇异情况, 当颜色的灰度小于 5 时, 由于都把它们设定为 5, 因此有  $1 \leq r_i \leq 255/5$ 。根据  $r_i$  和  $\Delta c$ , 即可计算  $\Delta l$  和  $\Delta c$  的权重  $w_l = f_l \times \Delta c^{1/m}$  和  $w_c = (1 - f_l) \times \Delta c^{1/n}$ , 其中权重函数  $f_l$  的定义如下:

$$f_l = ((r_i - 1)/50)^{1/n}$$

其定义域为  $[1, 255/5]$ , 值域为  $[0, 1]$ , 而且  $m, n$  越大, 函数的图形就越陡峭。在权重计算时, 取  $m = 3$ ,  $n = 10$ 。权重函数曲线如图 3(a) 所示。



(a) 权重函数  $f_l$  曲线



(b) 窗口函数  $f_{win}$  曲线

图 3 权重函数和窗口函数曲线

Fig.3 The curves of weight function and window function

### 3.3 距离合成

在进行距离合成时,首先计算  $\Delta l$  和  $\Delta c$  的加权平均值

$$S_{A,B} = (w_l \times \Delta l + w_c \times \Delta c) / (w_l + w_c) \quad (3)$$

由于当两个颜色的灰度值较小时,式(3)计算出来的  $S_{A,B}$  误差很大,因此极不可靠。事实上,此时的颜色差  $D_{A,B}$  趋向于 0。为了解决这个问题,本文在  $S_{A,B}$  前面乘上一个窗口函数  $f_{win}$ 。窗口函数一般情况下取值为 1,当颜色的亮度值小于一个阈值时,窗口函数值迅速趋向于 0。在实现中,可取阈值为 20,即当两个颜色的亮度值的平均值小于 20 时,  $f_{win}$  的值迅速趋向 0。该函数曲线如图 3(b) 所示。

由以上步骤可知,最后的颜色差分  $D_{A,B} = f_{win} \times S_{A,B}$  的取值范围为  $[0, 255]$ 。

## 4 结果与比较

图版 I 图 1 是 3 张例子的原图。图 4~图 6 是几种梯度合成方法、本文方法和矢量角方法的彩色边缘检测结果比较。图版 I 图 1 (a) 左下方的人和红色背景之间,以及右上方的两个背景颜色之间都存在较为明显的颜色差异,用人眼可以较容易判断出物体的边缘,但是用梯度合成方法则无法检测出这两个地方的边缘(见图版 I 图 1 (a))。基于 HVS 的边缘检测方法在灰度接近,色度有较大差别时,由于它具有放大色度差的作用,因此它能很好地检测出该处的颜色差

异(见图 5(a)),而矢量角方法则只能部分检测出物体的边缘(见图 6(a))。图版 I 图 1 (b) 的背景虽存在着颜色差,但是由于颜色的变化比较缓慢,因此一般的彩图边缘检测算子无法检测出颜色变化,矢量角方法也无法做出检测,而 HVS 方法则能够做出部分的检测。图版 I 图 1 (c) 中物体的颜色变化多种多样,用 HVS 方法也得到了比一般方法更好的结果,而矢量角方法的结果则不尽人意。

和用于灰度图像检测的 Sobel, Prewitt 等算子比较, HVS 边缘检测算法的处理过程相对来说要复杂,一般来说,虽然其所花的时间为 Sobel 等算子的 5~8 倍左右,但其边缘检测效果却明显改善;和矢量角方法比较,两者所需的时间虽相差不多,但 HVS 算法取得了比矢量角方法更好的边缘检测效果。

和矢量角彩色边缘检测方法比较,其不同点主要在于:(1)计算亮度的方法不同,即矢量角方法把颜色矢量长度当作颜色亮度,而本文方法则采用式(1)来计算颜色亮度。(2)计算色度差的方式不同,即矢量角方法认为颜色矢量之间夹角的正弦就是色度差,而本方法则把颜色投到单位平面上,然后结合它们落在在单位平面上的位置来计算色度差,虽然矢量角的正弦相当于已考虑到颜色在单位平面上的投影点距离,但却没有考虑投影点在单位平面的位置关系;(3)矢量角方法在两个颜色的亮度都很小的时候没有做特殊处理,而本方法此时则只考虑颜色的亮度差异。

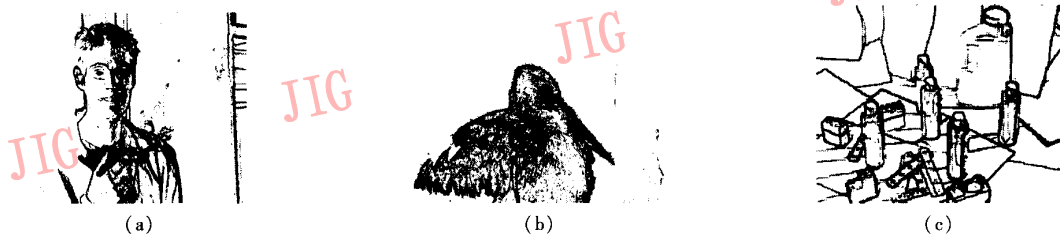


图 4 图版 I 图 1 梯度合成方法检测结果

Fig. 4 Edge detection results of multi-dimensional gradient methods

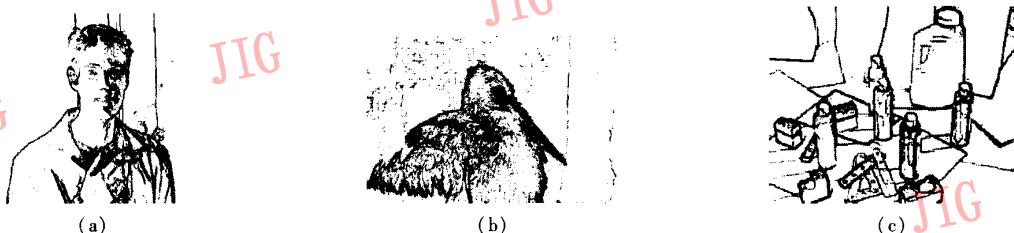


图 5 图版 I 图 1 HVS 边缘检测算子检测结果

Fig. 5 Edge detection results of HVS edge detection operator

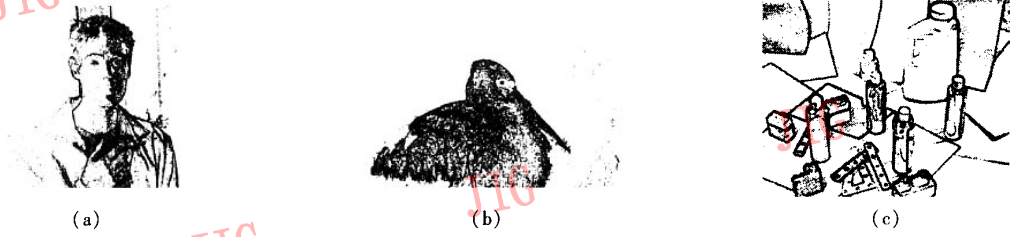


图 6 图版 I 图 1 矢量角方法检测结果

Fig. 6 Edge detection results of vector angle methods

## 5 结论与展望

根据以上的描述,基于 HVS 的边缘检测算法具有以下几种性质:

(1) 保持了灰度边缘检测算法的特点,因为它采用灰度图像边缘检测算子来计算颜色梯度;

(2) 当灰度接近,而色度有较大差别时,它具有放大色度差和抑制灰度差的功能;

(3) 当色度接近,而灰度有较大差别时,它将只考虑灰度差;

(4) 当灰度较小时,它忽视色度差异而只考虑灰度差。

该算法的这几种性质都是对人类视觉系统的模拟,且通过这种模拟,它能较好地检测出物体的边缘。如果物体的边缘颜色过渡比较缓慢,但确实存在着颜色差异,那么要想做到不漏检,可改变检测算子的模板大小为  $5 \times 5$ ,甚至更大。这么做的优点有以下两个:一是可以起到抑制噪声的作用;二是能尽可能多地检测出边缘,但其缺点也很明显,如模板大了以后,使检测到的边缘宽度增加,对边缘的定位比较困难。

尽管已发现投影点在单位平面上的位置也会给颜色色度差的计算造成影响,但是定义颜色相似参数的处理方法还是有点简单。如何更好地结合人类视觉系统,以便更加准确地计算颜色之间的色度差,如何更加准确地求得颜色的亮度差和色度差之间的换算关系,也即这两种距离的单位一致性问题,是今后有待进一步研究的方向。

### 参考文献 (Reference)

- 1 Castleman Kenneth R. Digital image processing[M]. 北京,清华大学出版社,2002.
- 2 Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle. Image processing, analysis, and machine vision (Second Edition) [M]. Boston MA, USA: Thomson Brooks/Cole, 1998.
- 3 Rogers David F. Procedural elements for computer graphics [M]. New York: Mc. Graw Hill Education.
- 4 Canny John. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679 ~ 698.
- 5 Netavia R. A color edge detector and its use in scene segmentation [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1977, 7(11): 820 ~ 826.
- 6 Yang C K, Tsai W H. Reduction of color space dimensionality by moment-preserving thresholding and its application for edge detection in color images [J]. Pattern Recognition Letters, 1996, 17(5): 481 ~ 490.
- 7 Trahanias P E, Venetsanopoulos A N. Vector order statistics operators as color edge detectors [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1996, B-26: 135 ~ 143.
- 8 Daly S. A visual model for optimizing the design of image processing algorithms [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [C], Austin, Texas, USA, 1994, 2: 16 ~ 20.
- 9 Zeki S. A vision of the brain [M]. Oxford England, Blackwell scientific publications, 1993.
- 10 Wandell B. Foundations of vision (First edition) [M]. Sunderland MA USA: Sinauer Associates, Inc. 1995.
- 11 Kaiser P, Boynton R. Human color vision [M]. Washington USA, Optical Society of America, 1996.
- 12 Carron T, Lambert P. Color edge detection using jointly hue, saturation and intensity [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [C], Austin, Texas, USA, 1994, 3: 977 ~ 981
- 13 Wesolkowski S, Jernigan E. Color edge detection in RGB using jointly euclidean distance and vector angle [A]. In: Proceedings of the Vision Interface '99 conference [C], Trois-Rivières, Canada, 1999.
- 14 Delaigle J F, De Vleeschouwer C, Macq B. Watermarking algorithm based on a human visual model [J]. Signal Processing, 1998, 66(3): 319 ~ 335.
- 15 Wolf S, Pinson M H. Spatial-temporal distortion metrics for in-service quality monitoring of any digital video system [A]. In: Proceedings of SPIE [C], Boston, MA, USA, 1999, 3845: 266 ~ 277.
- 16 Bolin M. R, Meyer G W. A visual difference metric for realistic image synthesis [A]. In: Proceedings of SPIE [C], San Jose, CA, USA, 1999, 3644: 106 ~ 120.



图1 用于边缘检测的3幅彩色原始图像

Fig.1 Original image used in color edge detection

程义民等：一种彩色视频信息的隐秘传输方法



图1 原始视频帧和隐藏数据后视频帧的比较

Fig.1 Contrast between frames of original video and relevant frames of video hiding data

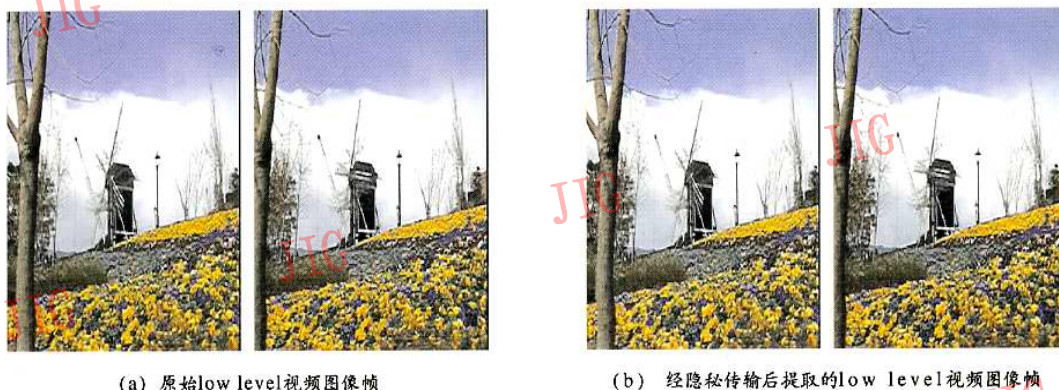


图2 原始low level视频帧和经隐秘传输后提取的low level视频帧的比较

Fig.2 Contrast between frames of original video and relevant extracted frames of low level video through covert communication