

# 针对虚拟现实跟踪技术的快速滤波算法\*

常 红 王涌天 阎达远 周 雅 华 宏 徐 彤  
(北京理工大学光学工程系, 北京 100081)

**摘 要** 提出一种用于实现手位手形跟踪的颜色滤波方法的计算模型。它可以取代虚拟现实中的数据手套, 成为人机交互的工具。本方法是基于计算机视觉技术, 模仿人眼的颜色视觉的特性, 通过提取手的像素的特征颜色作为参考, 对整个图像进行颜色滤波处理, 从而将背景和干扰物体的像滤除, 只保留手的像。然后经过平滑和轮廓提取处理, 得到只含有手的轮廓的图像。颜色滤波算法能大大提高跟踪和识别的可靠性和实时性。

**关键词** 跟踪, 虚拟现实, 颜色, 滤波。

## 1 引 言

虚拟现实中的跟踪技术主要用于虚拟现实头盔和虚拟现实手套。现有的虚拟现实手套主要是机械传感器式和光纤传感器式<sup>[1]</sup>, 它们普遍存在着沉重、累赘、运动不灵活、易损坏等缺点, 以致影响虚拟现实沉浸感的实现。基于计算机视觉的虚拟现实手套的跟踪技术, 能有效地解决上述问题。它无需戴任何手套, 在完全自然的状态下, 直接通过 CCD 采集手的运动图像, 通过图像处理与模式识别技术实现完全非接触的跟踪。由于这种方法在技术上存在困难, 国际上一些研究机构使用了一些辅助手段, 例如在手上设置发光的或反光的标志来解决。而不使用标志、在完全自然的状态下的跟踪还未见报道, 存在的问题之一就是背景的干扰。

为了对图像中的手进行识别, 首先要进行轮廓提取<sup>[2, 3]</sup>。但灰度图像中包含有很多背景中物体的轮廓, 这些轮廓干扰了识别过程, 甚至导致跟踪失败。人眼对物体的观察和识别不但准确而且具有很强的主动性<sup>[4, 5]</sup>, 原因之一就在于它对带颜色的物体的识别过程。经过对人眼的这种视觉特性的研究, 本文提出颜色滤波算法的计算模型。图像经过颜色滤波后, 只剩目标物体的图像, 其它物体和背景的干扰均被滤除。因此能简化轮廓提取和识别, 有效地解决匹配过程中存在的问题。

## 2 颜色滤波和轮廓提取的计算模型

根据色度学原理, 每一种颜色都能用三个选定的原色按适当的比例混合而成。若以红、

\* 国家教委跨世纪优秀人才培养计划资助项目。

收稿日期: 1998-07-06; 收到修改稿日期: 1999-04-26

绿、蓝作为三个基本原色, 则可用颜色匹配方程表示如下:

$$C(C) = R(R) + G(G) + B(B),$$

其中(C)、(R)、(G)、(B)分别为各颜色的单位,  $R$ 、 $G$ 、 $B$ 为颜色  $C$  的三刺激值。三刺激值是色度学单位, 即三 T 单位, 因此上式还可用亮度单位表示如下<sup>[6]</sup>:

$$C_L(C) = R_L(R) + G_L(G) + B_L(B),$$

其中  $C_L$ 、 $R_L$ 、 $G_L$ 、 $B_L$  分别为匹配所需各色光的流明值。

本实验采用彩色 CCD 作为图像采集和光电转换元件。它将物体呈现的颜色用各图像像素的不同的三原色的亮度显示, 并可通过模数转换以数值形式输出到计算机。由于物体在不同的光照条件下呈现不同的颜色, 而本实验并未采用色度学中的标准光源, 因此通过图像采集和模数转换得到的是在特定光照条件下物体所呈现的颜色用三原色表示的亮度值。为区别起见, 文中用  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  表示, 即物体的  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  是随光照不同而变化的。本实验对颜色的处理采用相对比较法, 因此图像采集和模数量化过程中的非线性误差对滤波结果的影响不大。实验中选择蓝色的笔、黑色的 IC 插座和灰色的计算机键盘作为干扰物体。CCD 器件采集的图像通过模数转换后为 24 Bit True Color 格式(即红绿蓝三原色分别用 8 位二进制数表示)。本文中为方便起见转化为十进制表示(0~ 255)。表 1 列出了在一定光照条件下测得的各物体的  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  数值范围。

Table 1.  $R'$ ,  $G'$ ,  $B'$  values of the objects and the background in the experiment

	$R'$	$G'$	$B'$
hand	24~ 184	16~ 180	16~ 184
pen	40~ 72	44~ 80	64~ 112
IC socket	24~ 88	28~ 84	32~ 88
symbols on key board	0~ 80	20~ 96	24~ 80
surface of key board	128~ 168	158~ 176	166~ 192
shade	30~ 80	28~ 110	32~ 98
background	160~ 192	180~ 208	184~ 224

从表 1 可以看出, 虽然各个物体的颜色数据的范围各不相同, 但是它们都有一定的交叉。而在图像中表现为手的像中的某些像素的三原色分量与背景或其它物体相近。这就给颜色滤波带来一定的困难, 正确选择手的特征颜色和带通宽度成为必不可少的工作。

由于手的图像的  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  值随光照条件等因素的改变而发生变化, 其特征颜色也应随之进行调整。本文采用预先校准的方法使系统适应不同光照条件。即在系统使用之前, 先对手的图像采样, 得到当时环境下手的代表像素的  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  数值范围, 据此选择颜色滤波的手的特征颜色。

虚拟现实跟踪中需解决的主要问题是剔除背景物体的干扰, 因此以手的特征颜色为中心对  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  分别设定滤波通带域值范围。当图像中像素的  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  同时在各自的域值范围内时, 表示此像素为被跟踪物体(本文为手)的图像的一部分给予保留, 否则将被从图像中剔除。设选定的手的特征颜色的  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  数值范围分别为  $R'_1 \sim R'_2$ 、 $G'_1 \sim G'_2$ 、 $B'_1 \sim B'_2$ , 本文构造了以下形式的连续函数作为颜色滤波函数:

$$F(x, y) = F_R \cdot F_G \cdot F_B,$$

其中,

$$F_R = \frac{1}{1 + \exp(R'_1 - R')} - \frac{1}{1 + \exp(R'_2 - R')},$$

$$F_G = \frac{1}{1 + \exp(G'_1 - G')} - \frac{1}{1 + \exp(G'_2 - G')},$$

$$F_B = \frac{1}{1 + \exp(B'_1 - B')} - \frac{1}{1 + \exp(B'_2 - B')},$$

式中  $x$ 、 $y$  为像素的坐标,  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  是  $(x, y)$  点的值。函数  $F_R$  的图像如图 1 所示。可以看出

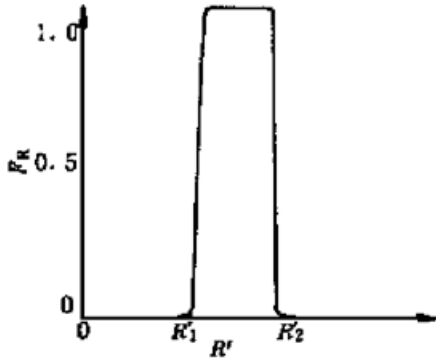


Fig. 1 Color filter function

当  $R'$  在  $R'_1 \sim R'_2$  之间时使滤波函数为 1, 即滤波通过。

把用 CCD 获取的图像进行颜色滤波计算, 即将图像上每个像素的  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  数值代入上述公式。这时, 具有手的黄色特征的像素使函数  $F(x, y)$  输出为 1, 而其它颜色像素使  $F(x, y)$  输出为 0。把如此得到的  $F(x, y)$  结果输出, 图像中就只有手的像, 而背景和其它物体的像被滤除掉了。

滤波之后, 保留原图像中  $F(x, y) = 1$  的各像素及其临近点, 进行轮廓提取的计算, 用高斯函数进行平滑:

$$G_\sigma(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right),$$

设  $p(x, y)$  为图像中  $(x, y)$  坐标点的像素值, 对它作卷积运算相当于对局部取均值, 因此得到:

$$P(x, y) = G_\sigma(x, y) \circledast p(x, y),$$

其中  $P(x, y)$  为平滑后的像素值,  $\sigma$  表示平滑尺度。 $\sigma$  小则函数在小区域内平滑,  $\sigma$  大则表示在较大范围内进行平滑。轮廓提取的计算则相当于对图像求导数, 轮廓所在位置是一阶导数的极值点, 是二阶导数的过零点。这里用线性拉普拉斯算子  $\nabla^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$  来处理, 即:

$$\nabla^2 [G_\sigma(x, y) \circledast p(x, y)] = [\nabla^2 G_\sigma(x, y)] \circledast p(x, y),$$

其中,

$$\nabla^2 G_\sigma(x, y) = -\frac{1}{\pi\sigma^4} \left(1 - \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right).$$

通过以上计算, 剔除了背景及物体的干扰, 最后提取出手的轮廓。

### 3 实验分析

利用彩色 CCD 摄像机采集的图像如图 2 所示。图像中黄色的手是需要跟踪的目标, 而黑色的 IC 插座、灰色的键盘和蓝色的笔是干扰识别的物体。经校准, 采样选择特征颜色范围为  $R'_1 = 88$ 、 $R'_2 = 120$ 、 $G'_1 = 80$ 、 $G'_2 = 104$ 、 $B'_1 = 72$ 、 $B'_2 = 96$ 。根据表 1 可知, 手的部分像素处于特征颜色范围内, 而 IC 插座、键盘和笔的像素的  $R'$  值都不在特征颜色范围内。将此图像经上述颜色滤波处理后得到的结果如图 3。可以看到图中只有手的像, 而 IC 插座、键盘和笔的像被滤除了。然后对手的像素取邻域, 再由原图像中对应部分进行平滑和轮廓提取后得到的图像如图 4 所示。图像中只有手的轮廓, 因此识别相对容易了。

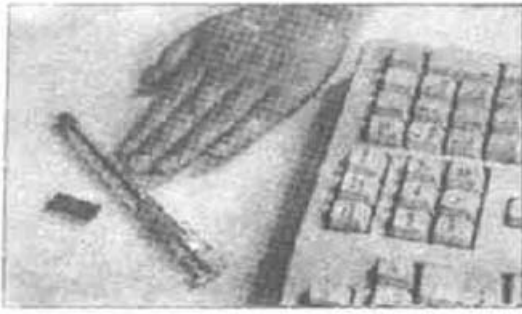


Fig. 2 Original image



Fig. 3 Result of color filtering

如果将选取的特征颜色光谱范围增大, 例如取  $R'_1 = 60$ 、 $R'_2 = 160$ 、 $G'_1 = 92$ 、 $G'_2 = 152$ 、 $B'_1 = 72$ 、 $B'_2 = 144$ , 即将颜色滤波的通道增大, 滤波的结果如图 5 所示。虽然 IC 插座、笔的像素的  $R'$  值都不在特征颜色范围内而被滤除, 物体产生的阴影部分和键盘上的部分字符却在特征颜色范围内不能滤除, 很明显不能实现颜色滤波的目的。同样, 如果选取颜色光谱范围过小也会给识别带来困难, 如图 6 所示。



Fig. 4 Result of smoothing and edge extraction

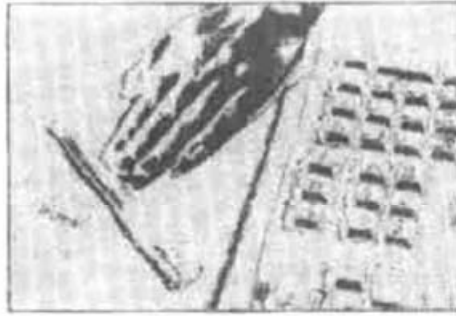


Fig. 5 Result of color filtering with wide pass band



Fig. 6 Result of color filtering with narrow pass band

改变光源以后, 如果使用原颜色滤波的特征颜色范围进行滤波计算, 结果不再正确, 需要再次校准。本文实验中改变光照条件后, 经校准需把手的特征颜色范围改为  $R'_1 = 112$ 、 $R'_2 = 136$ 、 $G'_1 = 96$ 、 $G'_2 = 112$ 、 $B'_1 = 88$ 、 $B'_2 = 104$ , 则滤波计算正常。上述特征颜色范围的选取可由软件自动完成。

实验中使用 Pentium 266 PC 计算机, 图像分辨率为  $150 \times 100$ , 颜色为 24 bit。计算颜色滤波所用的时间是每帧 0.2 s, 计算轮廓提取所用时间为每帧 0.08 s, 计算一帧所需时间共 0.28 s, 基本能够作为实时控制使用。随着计算机速度的提高, 计算所需时间会进一步缩短。如果设计专用硬件实现计算过程, 可将识别速度提高一个数量级以上。

#### 4 颜色滤波方法的鲁棒性

影响图像识别的因素很多, 其中对颜色滤波的影响主要有以下几个方面:

1) 用其它识别方法时, 一般要求图像中包含完整的手的像。但在颜色滤波计算中, 当手的一部分在可视窗口之外, 手的图像不完整时, 经过颜色滤波计算仍然可以提取部分手的图像。

2) 当照明光源发生变化时, 会引起图像  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  数值的改变。这种改变如果在进行颜色滤波的特征颜色通带范围内, 则不会造成影响。但如果  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  数值变化较大则出现不能正确提取信息的情况, 可能造成跟踪的不稳定。在这种情况下必须重新对手的颜色进行校

准。

3) 由于滤波算法对颜色的  $R'$ 、 $G'$ 、 $B'$  数值敏感, 当背景或其它物体上含有与手的颜色相同或相近的像素时, 会引起错误匹配, 造成跟踪系统的不稳定。在这种情况下, 应结合其它识别方法对滤波结果进行综合判断。

**结 论** 实验证明基于颜色滤波的计算机视觉算法具有识别准确率高、计算速度快的优点。在虚拟现实手套的实验中能快速识别和提取手的图像, 基本能够满足人机交互的实时性、准确性和可靠性要求。本文提出的颜色滤波算法对于被跟踪或识别的物体的颜色与背景和其它物体的颜色差别较大的情况下, 具有很大的优势。特别对干扰物体较多、识别较困难的情况更为有效。它不仅可用于虚拟现实技术中对于手的跟踪, 而且对图像识别和计算机视觉的研究具有普遍意义。本文的颜色滤波算法对照明的变化不是自动适应的, 需要进行校准, 它与人眼识别的可靠性和精度相比还相距甚远。因此进一步研究人眼的视觉机理, 提高颜色滤波算法的性能是很有意义的。

### 参 考 文 献

- [1] 汪成为, 高文, 王行仁. 灵境(虚拟现实)技术的理论、实践及应用. 北京: 清华大学出版社, 1996. 251~ 256
- [2] 吴立德. 计算机视觉. 上海: 复旦大学出版社, 1993. 12~ 116
- [3] Haralick R. Digital step edges from zero crossing of second directional derivatives. *IEEE Trans. PAMI*, 1984, 6(1) : 58~ 68
- [4] Hubel D H, Wiesel T N. Brain mechanisms of vision. *Scientific American*, 1979, 198(9) : 150~ 162
- [5] Livingstone M S. Art, illusion and the vision system. *Scientific American*, 1988, 258(1) : 78~ 75
- [6] 汤顺青. 色度学. 北京: 北京理工大学出版社, 1990. 37~ 39

## Tracking Scheme Based on Color Filtering for Virtual Reality

Chang Hong      Wang Yongtian      Yan Dayuan

Zhou Ya      Hua Hong      Xu Tong

(Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

(Received 6 July 1998; revised 26 April 1999)

**Abstract** An image processing method based on color filtering is proposed to realize hand tracking in a virtual reality system. Based on computer vision techniques, the method simulates the exclusive property of color vision of human eyes. Using the color of hand as a reference, the image received by CCD is processed to eliminate images of the background and other objects. After smoothing and contour extraction, only the profile of the hand is left in the image. The method can effectively eliminate the disturbance of the background and other objects. It can improve the reliability and increase the speed of hand recognition.

**Key words** tracking, virtual reality, color, filter.

## 参 考 文 献

- [1] 黄德双, 马德颂. 关于前馈网络分类器的研究进展. 见: 靳藩, 范俊波主编. 神经网络理论与应用研究'96. 重庆: 西南交通大学出版社, 1996. 62~ 69
- [2] 胡飞, 靳藩. 模式分类学习样本的重构原则. 见: 靳藩, 范俊波主编. 神经网络理论与应用研究'96. 重庆: 西南交通大学出版社, 1996. 520~ 524
- [3] Baum E B, Haussler D. What size net gives valid generalization. *Neural Computation*, 1989, **1**(1) : 151~ 160
- [4] Schwartz D B, Samalam V B, Solla S A *et al.*. Exhaustive learning. *Neural Computation*, 1990, **2**(3) : 374~ 385
- [5] 张鸿宾. 训练多层网络的样本数问题. 自动化学报, 1993, **19**(1) : 71~ 77
- [6] 何振亚. 神经智能——认知科学的若干前沿问题研究. 南京: 东南大学出版社, 1996. 58~ 63
- [7] Kan T C. Ill-posed problem of the constant-constraint criterion in optical correlation pattern recognition. *J. Opt. Soc. Am (A)*, 1995, **12**(10) : 2114~ 2121

## Selecting of Learning Samples Based on Hamming Distance

Shen Jinyuan    Liu Yue    Zhang Wenwei    Chen Shu

Guo Pengyi    Song Zhuang    Zhang Yanxin

(Nankai University, Institute of Modern Optics, Optoelectronic Information Science and technology Lab,  
Education Ministry of China, Tianjin 300071)

(Received 15 January 1999; revised 12 May 1999)

**Abstract** Learning samples significantly affect the recognition ability of neuron network models. One of selecting rules of learning samples is proposed according to the principle of the pattern recognition model. A method of selecting learning samples based on Hamming distance used in the cascade neuron network model for rotation invariance recognition is analyzed. The results of the computer recognition show that the effective selection of the learning samples can not only reduce the training time but also improve the recognition ability of the model.

**Key words** neural network, pattern recognition, learning sample, the cascade neural network model.