

文章编号: 1001-2486 (2002) 01-0100-05

# MATLAB 环境下目标图像的实时辨识方法\*

潘仲明

(国防科技大学机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:** 介绍一种在 MATLAB 环境下彩色立体视觉装置在环的实时图像处理系统, 用于自动识别前方汽车目标和计算距离。鉴于汽车均具有红色尾灯这一普遍特征和人观测色彩的一致性, 在此采用了基于色度-饱和度-亮度模型的模糊规则来提取汽车尾灯的颜色特征; 利用汽车上的反射光或阴影区域的亮度特征来进一步确认辨识结果, 以克服复杂环境中背景颜色和各种光照视角、强度的变化对图像特征所产生的影响。此外, 文中还提出一种新颖而快速的自适应“移位滤波器”算法, 以消除颗粒状和细长带状噪声, 并给出了实验结果和结论。

**关键词:** 立体视觉; 图像处理; 自适应滤波; MATLAB; 模糊逻辑

**中图分类号:** TN911.73      **文献标识码:** A

## Real Time Identification for Objective Images Using Matlab Toolbox

PAN Zhong-ming

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** This paper presents a real time image processing system, with a stereo color image instrument being chained to Matlab platform, for automatically identifying automobiles ahead and then calculating the distance between the instrument and the object. A fuzzy rule based on a color model (hue-saturation-value) is proposed to extract the color characteristic of the taillights, motivated by the fact that all the automobiles have a pair of red color taillights and the HSV model conforms to the color consistency of human vision system. In order to accommodate varying background colors and illumination conditions, the rear window or the shadow of a automobile is further identified by using the value information in the HSV model. Moreover, a new algorithm is presented here for quick filtering out the noise consisted of the granulated or slim pixels. Finally, experimental results are reported and analyzed.

**Key words:** stereo image; image processing; adaptive filter; MATLAB; Fuzzy logic

在汽车上安装彩色摄像机、测速和测距传感器以及相应的控制系统, 用于监测路况, 进而自动调节汽车方向盘、油门和车闸, 是未来高级小车和大型载重货车必备的安全辅助装置<sup>[1,2]</sup>。本文提交的研究内容是美国汽车中心和美国坦克研究中心资助的“汽车防碰撞系统”研究课题的一部分, 该课题由美国奥克兰大学电气与系统工程系承担。

采用摄像机系统, 自动识别公路环境中前方敏感区域内 (AOI) 的目标 (主要是汽车), 是一件相当困难的事。因为光照的角度、强度以及物体的反射光等因素的变化, 均可能使目标图像的颜色失真<sup>[3]</sup>。在极端情形下, 可能无法将目标的特征从背景中提取出来。但在通常情况下, 当驾驶员执行刹闸、换道和拐弯等动作时, 汽车尾灯都会自动发出红光, 以提醒随后行驶的汽车驾驶员, 故可用尾灯作为识别汽车的主要特征之一。为此, 本文建构了图 1 所示的彩色立体视觉系统, 用于自动抓取和识别目标图像。该系统是基于 HSV 模型中的色度和饱和度的大小, 采用模糊识别方法和快速自适应移位滤波技术, 来辨识汽车红色尾灯, 并用亮度值的大小作为辅助参量, 来进一步确认辨识结果。这种方法可在各种不同的颜色和光照背景下, 准确地识别汽车目标, 具有一定的实用价值。

图 1 所示的实时图像处理系统是由彩色 CCD 摄像机 (分辨率为  $640 \times 320$  像素, 帧存取器速率为 30

\* 收稿日期: 2001-08-11

作者简介: 潘仲明 (1959—), 男, 副教授, 硕士。

帧/秒)、V-形反射镜、棱镜、帧抓取器(frame grabber)和微计算机以及MATLAB图像处理工具箱等构成的。在该系统中,采用单摄像机与V-形反射镜和棱镜共同构成立体视觉装置,从而,避免了采用左、右两个摄像机所带来同步问题和参数补偿问题,当然,这样做是以降低系统测距分辨率为代价的。

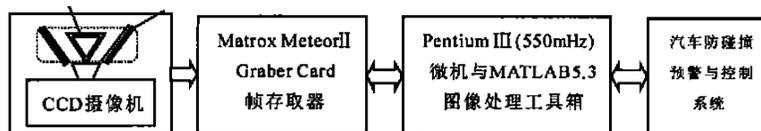


图1 彩色立体视觉

Fig. 1 System of color stereo image processing

值得指出,文中编写了特殊的mexFunction视窗动态连接库程序,使得可在MATLAB的工作平台中直接访问即插即用的帧抓取器。这样一来,就可以调用MATLAB图像处理工具箱中的各种相关函数来进行实时图像处理,从而大大提高了程序质量和工作效率。

## 1 立体视觉的几何关系

立体视觉装置获得图像样本的几何关系如图2所示。为了便于分析,在图2中按左手规则定义了直角坐标系( $X, Y, Z$ ),于是,目标像素 $p(x, y, z)$ 到“镜头”中心线 $C_1-C_2$ 的距离 $d$ 可根据相似三角形的关系计算如下:

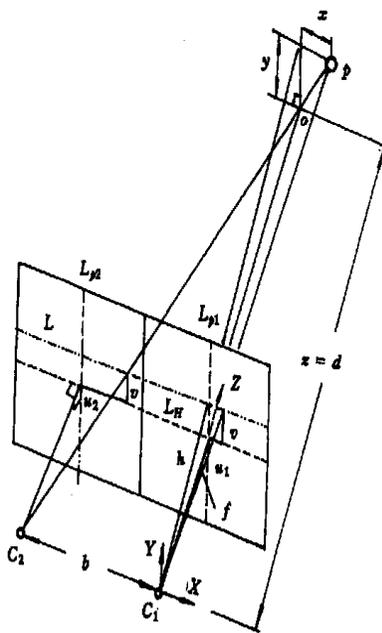


图2 立体视觉的空间几何关系

Fig. 2 Geometry of stereo image

$$\frac{u_1}{h} = \frac{x}{d} \quad (1)$$

$$\frac{u_2}{h} = \frac{b}{d} \quad (2)$$

$$d = \frac{bh}{u_2 - u_1} \quad (3)$$

式中,  $x$  为目标点 $p$ 至 $Z$ 轴的距离;  $b$ 为摄像机“左、右”镜头中心( $C_1, C_2$ )的宽度;  $u_1, u_2$ 分别为 $pC_1, pC_2$ 与成像平面的交点到左、右成像垂直中线 $L_{p1}, L_{p2}$ 的距离;  $h$ 为外极线 $L$ 与 $L_{p1}$ 的交点至 $C_1$ (或外极线 $L$ 与 $L_{p2}$ 的交点至 $C_2$ )的长度。由于 $h$ 是三角形的斜边,所以

$$h = \sqrt{f^2 + v^2} \tag{4}$$

式中,  $f$  为摄像机镜头的焦距;  $v$  为目标  $p$  点在外极线  $L$  上的投影点到成像平面水平中线  $L_H$  的距离。

如果定义:

$$m = \frac{d}{h} = \frac{b}{u_2 - u_1} \tag{5}$$

式中,  $u_1 - u_2$  称为视差, 则  $p$  点的坐标  $(x, y, z)$  可由图 2 所示的相似三角形分别求得, 即

$$(x, y, z) = (mu_1, mhv/f, mh) \tag{6}$$

如因测量误差的影响, 图 2 所示的相似三角形可能不封闭, 则可采用最小二乘法<sup>[5]</sup>来确定  $p$  点的坐标, 即

$$\|(x, y, z) - (mu_1, mhv/f, mh)\| \leq \varepsilon, \quad \varepsilon < 0$$

## 2 汽车尾灯的自适应模糊识别

在 MATLAB 图像处理工具箱中, 用函数  $HSV = rgb2hsv(RGB)$  将  $RGB$  (红绿蓝) 三维图像转换为  $HSV$  数值的三维图像, 并做了归一化处理。物体的色度  $H$  和饱和度  $S$ , 通常是由物体材料的光线吸收率和反射特性来决定的, 而物体的亮度  $V$ , 则明显地受到光照和视角的影响。因此, 在本系统中, 我们将主要在“ $H-S$ ”平面上分割图像 (将亮度值作为辅助变量)。假设有  $k$  条模糊规则

$$R_i: \text{“if } h \in H_i \text{ and } s \in S_i \text{ then } r \text{ is } Red_i\text{”} \quad i = 1, 2, \dots, k$$

那么, 总蕴涵关系  $R$  可表示如下:

$$R = \bigcup_{i=1}^k \mu_{R_i} = \bigcup_{i=1}^k \mu_{(H_i \text{ and } S_i \rightarrow Red_i)}[h(m, n), s(m, n), r(m, n)] \\ = \left\{ \bigcup_{i=1}^k \mu_{H_i}[h(m, n)] \text{ and } \mu_{S_i}[s(m, n)] \right\} \rightarrow \bigcup_{i=1}^k \mu_{Red_i}[r(m, n)] \tag{8}$$

式中,  $h(m, n)$ 、 $s(m, n)$  分别等于  $HSV(m, n, 1)$  和  $HSV(m, n, 2)$ , 即表示图像矩阵中第  $m$  行、第  $n$  列像素的色度值和饱和度值;  $r(m, n)$  表示属于红色范畴的目标值。  $H_i$ 、 $S_i$  和  $Red_i$  分别是  $h(m, n)$ 、 $s(m, n)$  和  $r(m, n)$  的语言值;  $h(m, n)$ 、 $s(m, n)$  和  $r(m, n)$  的论域分别为  $H$ 、 $S$  和  $Red$ ;  $\mu_X$  表示  $X$  论域中的隶属函数 ( $X = H, S$  或  $Red$ )。最后求得推理结论是:

$$(Red)' = (H' \text{ and } S') \circ R \tag{9}$$

式中, “ $\circ$ ” 是合成运算符, 通常采用“最大-最小”合成法。

按上述方法, 辨识汽车尾灯的结果如图 3 (b) 所示。此外, 由于光的反射作用, 小汽车后窗的区域光的亮度值特别大, 而汽车轮胎区域的亮度值则特别小, 因而还可利用亮度值  $v(m, n) = HSV(m, n, 3)$  来辨识前方目标, 如图 3 (c) 所示, 由此可进一步确认辨识结果。

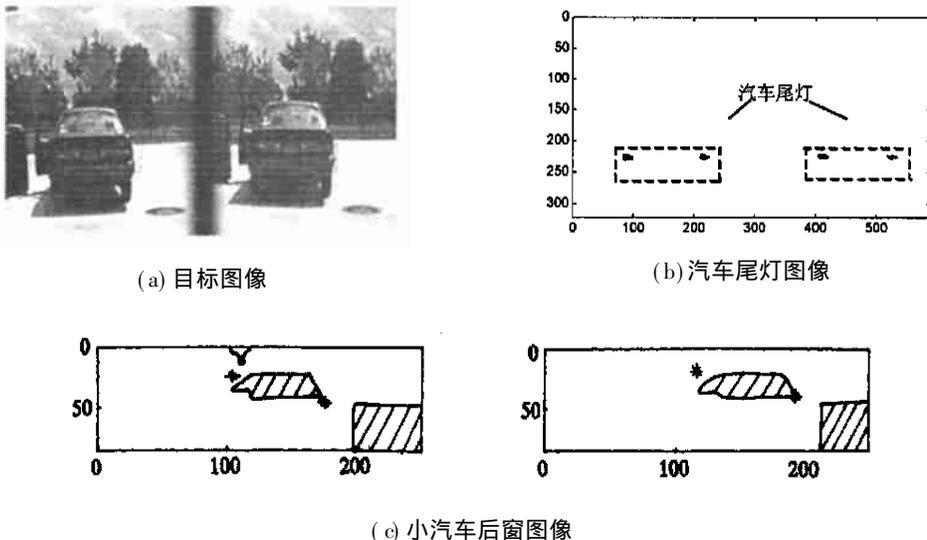


图 3 立体视觉及图像处理结果

Fig. 3 Results of stereo image processing

图 4 所示的二值数字图像  $ImgRed(m, n)$ , 是采用模糊逻辑提取尾灯特征的中间结果。显然, 图中仍有许多颗粒状和长条形噪声混入尾灯的特征图像中。如采用 MATLAB 图像处理工具箱提供的滤波算法(如线性滤波  $filter2()$ 、中值滤波  $medfilt2()$  和自适应滤波  $wiener2()$  等), 将占用较长的计算时间, 不宜用于实时图像处理, 而且还可能将有用信息滤掉。为此, 设计了两个特殊的移位函数:  $shiftd$  ( $A, k$ ) 和  $shiftr$  ( $A, k$ ) 用于实现快速滤波。下面, 先介绍这两个函数的功能:

$shiftd$  —— 当  $k$  为正整数时,  $shiftd$  使矩阵  $A(m, n)$  向上移动  $k$  行, 底部的  $(m - k)$  行用零填充, 反之, 矩阵  $A(m, n)$  向下移动;

$shiftr$  —— 当  $k$  为正整数时,  $shiftr$  使矩阵  $A(m, n)$  向左移动  $k$  列, 右边的  $(n - k)$  列用零填充, 反之, 矩阵  $A(m, n)$  向右移动。

有了这两个函数, 可采用如下两种算法

$$ImgRed(m, n) = ImgRed(m, n) \cdot * shiftd(ImgRed(m, n), k) \quad (10)$$

和 
$$ImgRed(m, n) = ImgRed(m, n) \cdot * shiftr(ImgRed(m, n), l) \quad (11)$$

来实现滤波功能, 分别用于过滤二值图像  $ImgRed(m, n)$  水平方向和垂直方向上的细长条形或颗粒状噪声。在此, 点乘符号“ $\cdot *$ ”表示对两矩阵施加元素对元素的乘法运算。

参数  $k, l$  是不能随意确定的, 因为, 前方汽车距摄像机越近, 尾灯的特征图像“面积”就越大, 反之则越小。故参数  $k, l$  既不能选得太大, 又不能取得太小。大了有可能将尾灯的特征信息滤掉; 小了则不能完全将噪声去除, 必须增加附加的判定程序来辨认数字图像中的特征信息。鉴于各类常见的汽车尾灯, 在摄像机前方的“有效距离”内, 其特征图像“面积”的变化范围可事先确定, 因而, 可预先将选定的几种特征图像“面积”作为模板, 通过有监督的离线学习训练来确定各个模板所对应的最佳参数值  $k, l$ 。在具体操作过程中, 从大至小依次选取参数  $k, l$  实施自适应移位滤波, 以判定数字图像中是否含有尾灯的特征信息。移位滤波后, 还应根据实际选定的  $k, l$  参数和左、右两幅图像的“一致性”, 修补尾灯的特征像素。否则, 在计算左、右数字像素的视差时, 将带来较大的误差(参见图 4 最靠右边的尾灯, 移位滤波后, 将只剩下残缺不全的尾灯图像)。

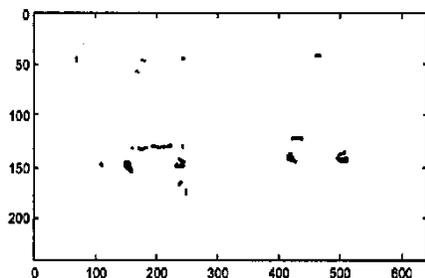


图 4 含有杂散噪声的汽车尾灯图像  
Fig. 4 Scrap noise mixed with taillight image

### 3 MATLAB 平台与图像数字化仪的实时通讯

自行编写图像处理程序, 尤其是编写 WINDOWS 程序, 是一项十分复杂而繁重的工作。如果能够调用 MATLAB 的图像处理函数来进行实时图像处理, 不仅有助于改善程序质量, 而且将大大提高工作效率。为此, 我们将图像数字化仪的图像抓取函数( $mil's$ )包含在用 VC 语言编写的 MATLAB 应用程序接口  $mexFunction$ <sup>[6]</sup> 之中。于是, 就可以在 MATLAB 平台上直接进行实时图像处理。

如果在 MATLAB 平台上, 不实时显示摄像机捕捉的图像, 而仅仅处理敏感区域(AOI)内的目标图像, 则可在 200 毫秒内处理一幅图像, 其结果如图 3、4 所示。当然, 图像处理的速度与计算机的运行速度和算法的复杂性有关。这里给出的结果, 展示了在 MATLAB 平台上直接进行实时图像处理的可行性。

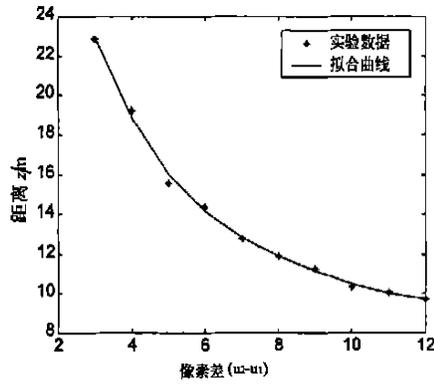


图5 距离与视差的关系

Fig. 5 Relation between  $z$  and  $u_2 - u_1$ 

## 4 结 论

图5是该立体视觉系统的距离与视差的关系曲线,从图中可以看出, $z$ 近似与 $1/(u_2 - u_1)$ 成比例关系。

在复杂环境(尤其是在公路上)进行实时图像处理,受环境因素(如雨、雪和沙尘以及光照条件等)的影响很大,迄今为止,对这一问题仍然没有很好的解决办法。目前,一般倾向于用微机控制的摄像机自动拍摄前方目标,在方便于驾驶员观看的位置上显示目标图像;同时,进行图像处理,计算出目标物的面积,以此作为辅助信号判定是否有必要向驾驶员发出预警消息,或自动控制车速和方向,乃至记录事故现场。因为,若仅仅采用反射原理进行目标测量时,当物体平面与传感器发出的“射线”不垂直时,传感器的接收器可能接收不到反射信号,所以,在汽车中安装摄像机作为安全辅助设备是必要的。至于监测前方目标的相对距离和速度,通常认为采用毫米波雷达是最佳的。本文提出的立体视觉方案,仅仅能作为一种探索性研究,供今后开发、研制车载安全辅助系统参考。

## 参考文献:

- [1] Ka C. Cheok, Pan Zhong ming, et al. Multi-Sensor based Collision Warning System[A]. ISATA, June. 1999, Vienna Austria.
- [2] Future Safety Systems Predict Crashes[J]. U. S. Auto Science, 1999, 17(38).
- [3] Robert C. Bolles, H. Harlyn Baker. Epipolar-Plane Image Analysis: A Technique for Analyzing Motion Sequences[A]. Recovering Science Geometry, 1985: 26-36.
- [4] Amar Mitiche. Computational Analysis of Visual Motion[M]. Plenum Press, 1994: 73-74.
- [5] Beend Jahne. Practical Handbook on Image Processing for Sci. Application[M]. CRC Press, 1997: 173-201.
- [6] MatLab Application Program Interface Guide[R]. MathWorks Inc. 1998.