

# 基于四元数视觉注意模型的肇事车辆匹配方法

徐 航 臧 笛 程 成 张亚英

(同济大学计算机科学与技术系 上海 201804)

(同济大学嵌入式系统与服务计算教育部重点实验室 上海 201804)

**摘 要** 在交通监控录像中快速准确地检索匹配肇事车辆是智能交通系统的重要任务。与传统的匹配方法相比,视觉注意模型融合了多种底层特征,为肇事车辆匹配提供了新的思路。针对车辆匹配的特点,提出了一种新的颜色信息提取方法,并在四元数数学框架下与亮度、方向特征相结合,将标量显著性转换成四元数显著性,提出了一种四元数视觉注意模型。将四元数显著性作为新的特征用于肇事车辆匹配。实验表明,该匹配方法可以根据肇事车辆信息有效地缩小搜索范围,具有较好的准确性和鲁棒性。

**关键词** 肇事车辆,匹配,视觉注意模型,显著性,四元数,颜色特征

**中图分类号** TP391.41 **文献标识码** A

## Vehicle Matching Based on Quaternion Visual Attention Model

XU Hang ZANG Di CHENG Cheng ZHANG Ya-ying

(Department of Computer Science and Technology, Tongji University, Shanghai 201804, China)

(The Key Laboratory of Embedded System and Service Computing, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract** Searching and matching the vehicle which caused traffic accidents is a challenging problem of great importance in Intelligent Transport System (ITS). Compared with the traditional methods, visual attention model provides a new perspective by merging several fundamental features. This paper presented a new method to extract color information from an image aiming at vehicle matching problem. By combining with intensity and orientations under the framework of quaternions, a quaternion visual attention model was proposed. Experiments use the quaternion saliency as the new feature to match the vehicle which caused traffic accidents and the results demonstrate that the proposed approach is able to narrow the searching range effectively with good accuracy and robustness.

**Keywords** Vehicle which caused traffic accidents, Matching, Visual attention model, Saliency, Quaternion, Color feature

## 1 引言

随着社会的不断发展,中国已经进入了机动化时代。但是在生活逐步便利的同时,交通事故、交通拥堵已成为急需解决的难题。基于视频的智能交通监控管理系统对保障出行安全、降低事故率、节省人力和物力资源具有重要意义。在实时监控或已存储的监控视频库中准确快速稳定地锁定肇事车辆,是智能交通系统的重要功能和交通管理控制的基本保证。在车辆图片的所有信息中,车牌是目前唯一能区分所有车辆的特征。但由于有些路口并没有安装高清摄像头,视频质量很难达到车牌识别的要求,而且交通事故的目击者有时不能提供准确的车牌信息,或者车牌遭到了人为遮挡或污染。因此,基于图像特征的肇事车辆匹配算法是智能交通系统必不可少的组成部分。

基于图像的肇事车辆匹配是图像匹配在智能交通领域的

具体应用,国内外研究人员将各种图像匹配的方法应用到车辆匹配中,已取得了一定的成果。早期的车辆匹配方法大多利用颜色、边缘等单个底层特征,例如 Zeng 等通过计算颜色直方图来匹配,并针对交通场景设计了光照补偿算法<sup>[1]</sup>。但有些匹配方法的鲁棒性和准确性往往都较差,受光照、环境等影响特别大。在 Lowe 等人提出了具有尺度、旋转等多种不变形的 SIFT 算子<sup>[2]</sup>之后,出现了很多基于 SIFT 或改进后的匹配方法<sup>[3-5]</sup>。其中 Chao-Yung Hsu 通过改进 ASIFT(仿射尺度不变特征变化)取得了较高的匹配准确率<sup>[6]</sup>。但基于特征描述子的匹配算法计算量较大且匹配效果依赖于训练图片的质量。除此之外, Ying Shan 等将车辆匹配问题转换成了一个两类的分类问题,并通过提取边缘信息设计了一个弱分类器<sup>[7]</sup>。Bo Yan 等提出了基于 3D 模型的车辆匹配方法,进而提出了基于形状大小和角度的多参数匹配模型<sup>[8]</sup>。Vedran Jelaca 等人直接将车辆图像的水平、垂直和对角线投影分布

到稿日期:2013-08-23 返修日期:2013-12-10 本文受科技部国际合作专项(2012DFG11580),铁道部科研开发计划(2012X014-E),国家自然科学基金项目(61003221,61103071),上海市自然科学基金(11ZR1440200)资助。

徐 航(1990-),男,硕士生,主要研究领域为图像处理与应用;臧 笛(1975-),女,副教授,主要研究领域为计算机视觉、模式识别, E-mail: zangdi@tongji.edu.cn(通信作者);程 成(1980-),男,博士后,主要研究领域为图像处理、模式识别;张亚英(1975-),女,副教授,主要研究领域为分布式计算、无线传感器网络以及嵌入式系统。

定义为一组信号量来匹配车辆,这种方法的特点是简单、速度快,但准确率并不高<sup>[9]</sup>。由于车辆全身匹配的难度较大,研究人员提出了一些专注于车身某一区域和细节的匹配方法,如Wang通过提取车头下方的细节特征进行匹配,取得了一定的效果<sup>[10]</sup>。

视觉注意模型是受人眼的注意模型的启发而发展起来的,分为自底向上和自顶向下两种机制<sup>[11-13]</sup>。最著名的是Itti在1998年提出的一种自底向上、基于多种特征融合的视觉注意模型<sup>[14]</sup>。通过并行提取颜色、亮度和方向的对比度等底层特征并进行多尺度描述和中心-边缘操作,形成特征图。最后再将所有特征图融合成一张独立的显著图。与传统的特征提取方法相比,显著性包含了多种信息,对目标的表达能力更强,已被广泛地应用到目标检测中。但是直接将Itti模型应用到图像匹配的缺点很明显,Itti模型在并行提取多种特征之后,只进行了简单的线性融合,使不同特征反映的目标信息重新被掩盖到单一的标量显著性中,区分度不够。

1996年,Pei首次提出了彩色图像的四元数模型<sup>[15]</sup>。将彩色图像的红、绿、蓝3通道的像素值组合成一个实部为0的纯四元数。四元数的虚部系数分别代表红、绿、蓝通道的像素值,将彩色图像处理转换成了对四元数矩阵的处理。这种方法避免了对三通道分别处理带来的信息损失,已被广泛应用于纹理分割、水印等图像处理领域<sup>[16-18]</sup>。2008年Guo Chen-Lei利用相位谱上的四元数傅立叶变换也提出了一种显著性的提取方法<sup>[19]</sup>,但和Itti模型一样,最终生成的是单一的标量显著性,无法有效区分不同车辆。

综合视觉注意和四元数彩色图像处理的优点,本文在四元数数学模型的框架下,提出一种新的四元数视觉注意模型,将标量显著性转换成四元数显著性,作为新的特征用于肇事车辆匹配,避免了简单融合中的信息丢失。根据肇事车辆匹配应用的特点,还提出了一种新的颜色特征提取方法,与亮度、方向相结合后,有效地缩小了肇事车辆搜索的范围。实验表明,这种方法具有较好的准确性和鲁棒性。

## 2 基于四元数的视觉注意模型及匹配

### 2.1 四元数显著性及匹配

经典Itti视觉注意模型并行提取图像的方向、亮度和颜色3种特征。其中,根据RGB到HSV色彩空间的转换关系,亮度的定义为:

$$I = \frac{r+g+b}{3} \quad (1)$$

在人脑中,存在一个颜色对抗合成(color opponent-component)系统。在感受野神经细胞中,对一种颜色光线(如红色)敏感的细胞会被另一种光线(如绿色)所抑制。红/绿、绿/红、蓝/黄和黄/蓝是这个系统中存在的颜色对。基于这个原理,Itti将颜色特征值定义为RG和BY两种,公式如下:

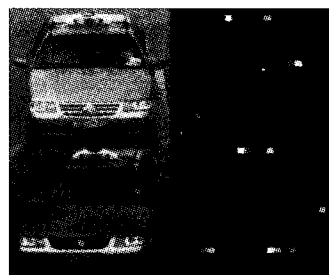
$$\begin{cases} R = r - \frac{g+b}{2} \\ G = g - \frac{r+b}{2} \\ B = b - \frac{r+g}{2} \\ Y = \frac{r+g}{2} - \frac{|r-g|}{2} - b \end{cases} \quad \begin{cases} RG = R - G \\ BY = B - Y \end{cases} \quad (2)$$

其中, $r, g, b$ 为像素点在红、绿、蓝通道的像素值。

方向特征值则由Gabor滤波器生成,Itti选择了0, 45, 90, 135等4个方向。将所有特征分通道多尺度进行中心-边缘操作,可以生成各自的特征图。

$$\begin{cases} I(c, s) = |I(c) \otimes I(s)| \\ RG(c, s) = |RG(c) \otimes RG(s)| \\ BY(c, s) = |BY(c) \otimes BY(s)| \\ O(c, s, \theta) = |O(c, \theta) \otimes O(s, \theta)| \end{cases} \quad (3)$$

其中, $c$ 和 $s$ 表示尺度, $\theta$ 表示方向度数, $\otimes$ 表示中心-边缘操作。最后将所有特征值线性融合成一张独立显著图。如图1所示,左边是根据运动信息从监控视频中自动截取下来的两张车辆图片,右边是根据Itti模型生成的两张对应的显著图。



左边为车辆原图,右边为Itti模型显著图

图1

直接利用Itti模型匹配肇事车辆的最大不足在于将颜色简单地定义为RG和BY两种模型,并进行线性融合,导致不同的颜色对比产生的显著性差异不大,无法区分不同颜色的车辆。从图1可以看出,两张颜色差异很大的车辆图片生成的显著图几乎一样。

在交通场景中,很多车辆的车型都大同小异,颜色就成为匹配的关键特征。为了充分利用颜色信息,更加有效地利用视觉注意模型来匹配肇事车辆,本文提出了一种新的颜色特征提取方法来计算R、G、B3个通道各自的特征值,详细方法在2.3节中说明。

除了颜色特征之外,由于车辆图片均是标清图片,无法进行准确的车牌定位和车牌分析。但是利用显著图可以准确地把车头部分分割出来,因此可以利用车头图片进行灰度匹配来进一步缩小肇事车辆搜索范围,详细方法在2.4节中说明。

Itti模型另外一个不足是将多种特征的特征值简单融合成单一的标量显著性,掩盖了不同特征所反映的图像信息差异。而四元数彩色图像处理的特点就是在不损失颜色信息的前提下对R、G、B进行处理,比分通道或灰度处理更有效。

本文借鉴这一理念,在四元数数学框架下,提出一种四元数视觉注意模型。

对图像的任一像素点,我们可以利用Itti模型得到其亮度和方向特征值,然后通过提出的新的颜色特征提取方法得到R、G、B3通道各自的颜色特征值。利用这些特征值,计算这一点的四元数显著性S为:

$$S = q_1 + q_2 i + q_3 j + q_4 k = H + C_r i + C_g j + C_b k \quad (4)$$

其中, $q_1, q_2, q_3, q_4$ 为四元数显著性S的实部系数和虚部系数, $H$ 为图像的车头特征值, $C_r, C_g, C_b$ 分别为R、G、B3个通道的特征值。根据四元数理论, $i, j, k$ 满足Hamilton规则:

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1 \quad (5)$$

$$ij=-ji=-1; jk=-kj=-1; ki=-ik=-1 \quad (6)$$

将标量的显著性转换成四元数显著性,避免了简单的线性融合中信息的损失,完整地保留了不同特征所表示的图像信息。这样,肇事车辆图像的匹配问题就转换成四元数矩阵的匹配问题。

对于两张车辆图片,根据这一视觉注意模型生成对应的四元数显著图,然后采用 Y 轴投影的相似性来进行匹配。即将两张显著图向 Y 轴进行投影,得到对应的四元数投影分布,计算两个分布之间的巴氏距离,小于经验阈值则表示匹配成功,反之,则表示匹配失败。

$$D_{P_1, P_2} = D_{Y_1, Y_2} = \frac{\omega_1 D_{Y_{q_1}, Y_{q_1}} + \omega_2 D_{Y_{q_2}, Y_{q_2}} + \omega_3 D_{Y_{q_3}, Y_{q_3}} + \omega_4 D_{Y_{q_4}, Y_{q_4}}}{4} \quad (7)$$

其中,  $P_1, P_2$  表示两张车辆图片,  $Y_1, Y_2$  表示图片对应的四元数显著图的 Y 轴投影分布,  $Y_{q_t}, Y_{q_t} (t=1, 2, 3, 4)$  分别表示四元数的实部系数和虚部系数的 Y 轴投影分布,  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  表示各自不同的权值,  $D$  表示两个分布之间的巴氏距离。

## 2.2 四元数亮度和方向特征

由于不同时刻光照和摄像机曝光的影响,不同车辆图片之间的亮度差异会比较大,但车身不同区域之间的亮度差会基本保持稳定。因此首先对待匹配的车辆图片进行亮度调整。本文采用分通道调整方法。

$$\begin{cases} r' = r - r_A \\ g' = g - g_A \\ b' = b - b_A \end{cases} \quad (8)$$

其中,  $r, g, b$  和  $r', g', b'$  分别表示待匹配的车辆图片调整前和调整后的 RGB 分量值。  $r_A, g_A, b_A$  表示车辆图片 RGB 3 个通道各自的平均值。调整之后图像的亮度特征值为  $I'$ :

$$I' = \frac{r' + g' + b'}{3} \quad (9)$$

车辆图片的方向特征采用 Gabor 滤波器来提取,本文提取了 0, 30, 60, 90, 120, 150 等 6 个方向。

最后根据 Itti 模型对亮度和方向进行多尺度中心-边缘操作,得到各自的特征值。然后将车辆图片的亮度特征值和方向特征值线性融合,就得到了四元数显著性的实部系数。为了抑制噪声和背景的干扰,本文在融合后将特征值较小的点都置 0,只保留特征值大的点。

如图 2 所示,最左边两列分别为车辆的原始图片和亮度调整后的车辆图片。右边三列依次为亮度特征图、方向特征图和亮度方向融合后的特征图。



从左至右为:原始图片,亮度调整后的图片,亮度特征图,方向特征图以及融合亮度和方向的特征图

图 2

## 2.3 四元数颜色特征

为了更好地利用车辆的颜色信息,本文提出了一种新的颜色特征提取方法。在 RGB 彩色模型中,每种颜色由 R、G、B 3 个分量组成。一幅 24 比特的 RGB 彩色图像, R、G、B 3 个分量均占 8 比特,一共可以表示  $(2^8)^3 = 16777216$  种颜色。但单一分量的大小都不能表示该点的颜色色调趋向。例如两点  $P_1, P_2$  的 RGB 分量为 (100, 20, 20) 和 (200, 220, 220)。  $P_1$  明显偏红色,但其 R 值只有  $P_2$  的一半。为了避免这种情况,本文分通道定义颜色特征值为:  $C_r, C_g, C_b$ 。

$$\begin{cases} C_u = u_1 + u_2 \\ u_1 = \frac{u}{\max(r, g, b)} \quad u = r, g, b \\ u_2 = \frac{u}{255} \end{cases} \quad (10)$$

其中,  $C_r, C_g, C_b$  表示这一点的红色、绿色和蓝色特征值,  $r, g, b$  表示原本的 RGB 分量大小。本文实验所用的图像均为 24 比特的 RGB 彩色图像,因此 RGB 分量的最大值均为 255;  $u_1$  表示该点的色调趋向,  $u_2$  表示该分量的饱和度。

通过对大量车辆图片进行分析,发现亮度特征值较大的像素点基本上都分布在车头保险杠、车灯等颜色偏白且与周围对比度较大的区域。这些区域的  $C_r, C_g, C_b$  特征值都特别高,但不同车辆之间的差异不大,而且会抑制对车身其他区域颜色的提取。因此为了提高颜色信息提取的鲁棒性和准确性,首先从原图中将这些区域剔除,并为了消除平均亮度差异的影响,按照 2.2 节中同样的方法进行亮度调整,这样可以在最大限度保留车身颜色信息的基础上剔除干扰信息,提高不同颜色车辆之间的差异性。如图 3 所示,左边 3 张分别是车辆的原始图片、亮度调整后的车辆图片和亮度特征图,最右边是利用亮度特征图剔除掉干扰信息后的车辆图片。



从左至右为:原始图片,亮度调整后的车辆图片,亮度特征图,以及剔除干扰信息后的车辆图片

图 3

在剔除干扰信息的基础上分通道计算颜色特征值  $C_r, C_g, C_b$ ,可以得到 3 张颜色特征图,如图 4 所示。



从左至右为:剔除干扰信息后的车辆图片,红色特征图,绿色特征图和蓝色特征图

图 4

为了增强显著点与非显著点的对比度,抑制噪声、背景等信息的干扰,本文从每个通道内部和 3 个通道之间的关系两

个方面矫正颜色特征值。

首先从每个通道内部分别矫正红、绿、蓝特征值。计算每张特征图的最大值,将远小于最大值的特征值置0,本文选取最大值的1/10为阈值。然后以整张图所有特征值的中位数为分界点,对像素值大于中位数和小于中位数的点分别进行伽玛校正<sup>[22]</sup>。目的是为了抑制特征值较小的像素点,如背景,突出特征值较大的点,如车身。因此对于像素值大于中位数的点选择大于1的伽玛值矫正,对于像素值小于中位数的点选择小于1的伽玛值进行矫正。

然后通过分析红、绿、蓝3个通道特征值之间的关系进行矫正。

对于不同颜色的车辆,3个通道的特征值会有很大的不同,例如图4中的红色车辆,其 $C_r$ 就会比 $C_b$ 和 $C_g$ 大很多,而黄色车辆的 $C_r$ 和 $C_g$ 都很大, $C_b$ 很小。

为了增大不同颜色之间的差别,提高匹配的准确性,本文对3个通道的特征值大小再进行一次调整。对任一像素点,将其非主要的颜色通道的特征值置0。例如,将红色点的绿色和蓝色通道特征值置0,黄色点的蓝色通道特征值置0。具体调整算法如下:

1. 利用otsu算法<sup>[21]</sup>将车辆图片的3张颜色特征图二值化,然后两两异或。若异或结果为0,则表示这两张颜色特征图大致相同。

$$x_{U,V} = C_U \otimes C_V \quad U \neq V; U, V = R, G, B \quad (11)$$

其中, $\otimes$ 表示异或运算。

2. 若 $x_{R,G}$ 、 $x_{R,B}$ 、 $x_{B,G}$ 均为0,表示这辆车为白车、黑车或灰车。若 $C_R$ 、 $C_G$ 、 $C_B$ 值比较小,则全部置0,否则不变。

3. 若 $x_{R,B}$ 、 $x_{B,G}$ 为1, $x_{R,G}$ 为0,

a) 若 $C_R > C_B$ ,则表示这辆车为黄车,保持 $C_R$ 、 $C_B$ 不变,置 $C_G$ 为0。

b) 若 $C_R < C_B$ ,则表示这辆车为蓝车,置 $C_R$ 、 $C_G$ 为0,保持 $C_B$ 不变。

4. 其他情况类似3。

在实际场景中,不可能出现 $x_{R,G}$ 、 $x_{R,B}$ 、 $x_{B,G}$ 中有1个1,2个0,因为只要出现2个0,就表示 $C_R$ 、 $C_G$ 、 $C_B$ 三者相等,剩下一个也为0。因此,通过上述算法可以减少不重要的颜色信息的干扰,提高匹配的准确性和鲁棒性。图5所示是利用亮度特征图剔除干扰信息后的车辆图片,以及矫正后的红色、绿色和蓝色特征图。



从左至右为:剔除干扰信息后的车辆图片,以及矫正后的红色特征图、绿色特征图和蓝色特征图

图5

#### 2.4 四元数车头特征

在无法获取车牌信息的情况下,即车辆图片都为低分辨率标清图片时,颜色特征为匹配肇事车辆提供了最准确的信

息。除此之外,利用亮度和方向特征,可以非常准确地从车身中截取车头部分。对于几乎所有车辆来说,车灯、车标和车牌的显著性都非常高,因此,即使无法准确识别车牌或车标,仍然可以通过模板匹配计算两个车头图片之间的相似度,从而进一步缩小肇事车辆搜索范围。

车头特征图通过将融合亮度和方向的特征图像Y轴进行投影,从下到上的一个波峰即为车头部分。利用经典模板匹配方法可以得到两张车头特征图之间的相似度,如图6所示。



从左至右为车辆图片,融合亮度和方向的特征图,车头特征图

图6

### 3 实验与分析

本文的车辆图片数据来自交通路口监控视频,如图7所示,其中A、B两段视频是在上海市拍摄,C在江苏省启东市拍摄。

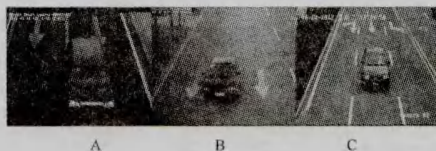


图7 3段监控视频

本文利用一个简单的车辆跟踪系统,通过运动信息从这3段视频中截取出3组车辆图片,图1—图5的所有图片都来自于这3组车辆图片。

为了分析和验证四元数视觉注意模型,本文设计了两个实验,分别进行定性和定量分析。

实验1 对从3组图片中随机选取各种类型的车辆进行分析,其中第一组图片选取了339张,第二组303张,第三组266张。从第一组车辆图片中挑出7张作为肇事车辆,与第二组和第三组的所有图片进行匹配,找出最相似的车辆图片,以此说明对于不同车型的车辆,本文提出的方法都可以有效地缩小肇事车辆的检索和匹配范围。

实验2 只对3组图片中的出租车图片进行分析,一共有881张图片,并与Vedran Jelaca等人提出的信号量匹配方法<sup>[8]</sup>进行比较。大多车辆匹配方法都能有效地将车型差别较大的车辆区分开来,这里只选择出租车图片,可以定量地分析在车型差别不大的情况下各种匹配方法的准确性。

实验1和实验2均针对白天的交通监控视频。在大雾、

夜晚、暴雨等特殊天气情况,往往无法准确获取车辆颜色信息。可以通过动态降低颜色特征的权值,增加边缘、方向的比重来提高匹配准确性。

本系统和实验 2 中用于比较的信号量匹配方法均是在 Intel Core 2 3.00 GHz CPU, 2G 内存的 Windows 平台下,利用 C++ 实现的。

### 3.1 实验 1

本文从视频 A 的 339 张车辆图片中选取 7 张不同颜色、不同形状的车辆图片作为肇事车辆,将其分别与视频 B 和 C 的车辆图片进行一一匹配,找出相似性最高的一张图片,7 张肇事车辆图片如图 8 所示。



图 8 7 张肇事车辆图片

对每一张肇事车辆图片利用四元数视觉注意模型提取四元数显著性,若将显著性的实部系数和虚部系数拉伸到 0~255,可以得到 4 张特征图。其中实部系数是由亮度特征和方向特征融合而成,3 个虚部系数分别表示红、绿、蓝特征值,如图 9 所示。最左边一列是 7 辆肇事车辆的原始图片,右边 5 列依次表示亮度和方向融合后的特征图、红色特征图、绿色特征图、蓝色特征图以及车头特征图,分别代表四元数显著性的实部和 3 个虚部系数。在提取红色、绿色和蓝色特征图之前,车辆图片都进行了亮度调整,而且剔除了干扰信息。



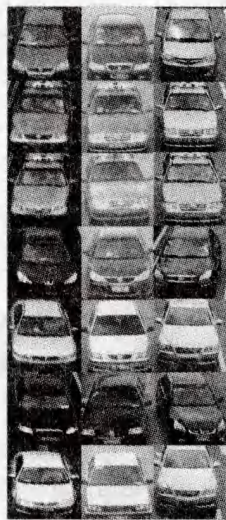
从左至右为:原始图片,融合亮度和方向的特征图,红色特征图,绿色特征图,蓝色特征图,车头特征图

图 9

利用 Y 轴投影将这 7 张图片与视频 B 和 C 的车辆图片进行匹配,找出相似性最高的图片,如图 10 所示。最左边一列是 7 张肇事车辆的原始图片,中间一列为视频 B 中与肇事车辆相似性最高的图片,最右边的为视频 C 中相似性最高的

图片。

从图 10 可以看出,利用本文提出的四元数视觉注意模型找出的相似性最高的车辆图片与肇事车辆在颜色和车型上都较为相似,因此在实际检索匹配车辆的过程中,本文提出的方法对于不同车型都可以有效地缩小检索和匹配范围。



从左至右为:肇事车辆图片,视频 B 中匹配成功的车辆图片,视频 C 中匹配成功的车辆图片

图 10

### 3.2 实验 2

实验 2 选择了 881 张出租车图片,车型都较为相似,在这种情况下,一般车辆匹配方法都很难将不同车辆区分开来。针对这种情况,本文设计了一个一对多的匹配实验,即将每一张车辆图片与其他所有图片进行匹配,得到两者之间的相似性,并人为设定一个阈值,若相似性小于阈值,则认为这两张图片是一辆车,若大于阈值,则是不同的车辆。图 11 为部分出租车图片。

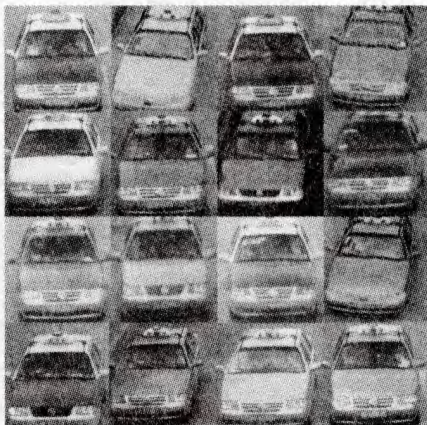


图 11 出租车图片

将匹配结果与实际情况相比较,可以得到 4 种结果,如表 1 所列。

表 1 4 种结果

		匹配结果	
		相同车辆	不同车辆
实际情况	相同车辆	R1	R2
	不同车辆	R3	R4

其中  $R_1, R_2, R_3, R_4$  分别是匹配结果和实际情况比较后的 4 种情况,  $R_1$  和  $R_4$  表示正确结果,  $R_2$  和  $R_3$  表示匹配结果与实际情况不相符。

在实际匹配过程中, 4 种情况都有可能发生, 因此本文通过统计正确率和查准率来比较所提方法和 Vedran Jelaca 等人提出的信号量匹配方法。

$$\text{正确率} = \frac{R_1 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \quad (12)$$

$$\text{查准率} = \frac{R_1}{R_1 + R_3} \quad (13)$$

$$\text{召回率} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (14)$$

其中正确率用来衡量匹配成功或匹配失败的正确性, 查准率用来衡量所有匹配成功图片中实际正确的比例, 召回率用来衡量所有相同车辆中匹配成功的比例。利用这 3 个统计值可以有效地比较不同匹配方法的优点和局限性。

在实际实验中, 本文将 881 张图片的每一张都与其他所有图片进行比较, 得到其相似性, 并人为设定一个阈值, 若小于阈值, 则认为这两张图片是同一辆车, 若大于阈值, 则认为不是同一辆车。为了方便统计, 在实验之前, 将所有的图片编号, 相同的车辆图片用同一编号表示。这样, 对于任何一个阈值, 都进行 881 次实验, 得到其平均正确率和平均查准率。

不同的匹配方法对阈值的敏感程度不同。由于相似性是在 0 到 1 之间, 0 表示完全一样, 1 表示完全不同, 因此本文从 0 到 1, 以 0.1 为单位, 选择了 100 个阈值, 分别进行实验, 得到了两种匹配方法在不同阈值情况下的平均正确率和平均查准率, 如图 12 所示。

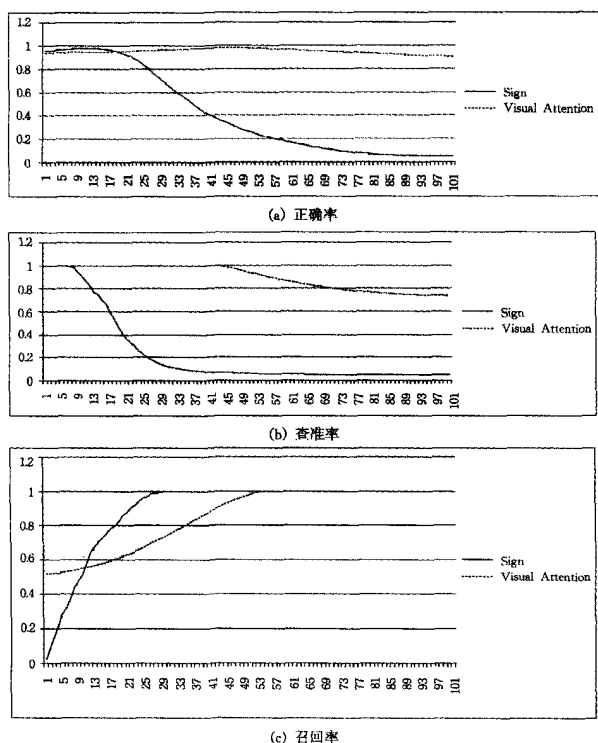


图 12 视觉注意方法和信号量方法的比较情况

图 12 中图(a)纵轴坐标为正确率, 图(b)纵轴坐标为查准率, 图(c)纵轴坐标为召回率。横轴坐标均为阈值, 虚线为本

文提出的四元数视觉注意方法的匹配结果, 实线为 Vedran Jelaca 等人提出的信号量方法的匹配结果。可以看出不论阈值为多少, 本文提出的方法的正确率和查准率都较高, 而信号量匹配的结果则变化特别大。这是因为本文提出的方法有效地提取了颜色信息, 将颜色差别较大的图片都不纳入匹配范围, 这样使得表 1 中的  $R_4$  会始终较高, 即不同的车辆图片匹配失败的准确率较高。而信号量匹配方法从灰度图出发, 提取车辆图片的车型特征, 使得很多颜色不同车型相近的图片也会匹配成功, 导致正确率和查准率都较低。图 12(c)中信号量匹配方法的召回率在阈值较小的情况下有一部分高于本文提出的方法, 说明此时实际相同的车辆匹配成功的比例比视觉注意模型要高。但是在同样的阈值条件下信号量的查准率已经降到了很低, 说明此时已经有大量实际不同的车辆也匹配成功。综合对比, 本文提出的方法匹配的稳定性更高, 对于实际应用匹配意义更大。

实验 2 用定量的方法表明本文提出的四元数视觉注意模型匹配的准确性较高, 而且对于不同阈值的敏感度也较低, 鲁棒性较大。

**结束语** 本文在四元数数学框架下提出了一种四元数视觉注意模型, 借鉴了四元数彩色图像处理的整体性和经典视觉注意模型多特征融合的特点, 并根据肇事车辆匹配问题的特点, 提出了一种新的颜色信息提取方法, 有效地剔除了图片中的次要信息, 抑制了背景和噪声的影响, 并与亮度、方向特征相结合, 将标量显著性转换成四元数显著性, 作为新的特征进行肇事车辆匹配。实验表明, 这种方法具有较高的鲁棒性和准确性, 能有效地缩小肇事车辆的检索和匹配范围。

利用本文的方法可以大幅度缩小肇事车辆的检索范围, 但仍然不能达到一对一的匹配效果。下一步研究工作主要是对车辆的细节特征如车标、车身图案等进行分析。同时, 恶劣天气情况下的匹配问题也依然有待研究。

## 参考文献

- [1] Zeng N, Crisman J D. Vehicle matching using color [C]// IEEE ITS Conf. 1997; 206-211
- [2] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints[J]. International Journal Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110
- [3] Hu X L, Tang Y C, Zhang Z H. Video Object Matching Based on SIFT Algorithm [C]// IEEE International Conference Neural Networks & Signal Processing. 2008; 412-415
- [4] 纪华, 吴元昊, 孙宏海, 等. 结合全局信息的 SIFT 特征匹配算法 [J]. 光学精密工程, 2009(2): 439-444
- [5] Alhwarin F, Wang C, Ristic-Durrant D, et al. Improved SIFT-Features Matching for Object Recognition [C]// BSC International Academic Conference. 2008; 170-190
- [6] Hsu C Y, et al. Cross-camera vehicle tracking via affine invariant object matching for video forensics applications [C]// IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo (ICME). 2013

(下转第 303 页)

目前,多数文献采用基于方向场约束的 Gabor 滤波器来对条纹图像进行增强,本文在此基础上引入频率场。实验结果表明,使用基于方向场和频率场约束的增强算法,可以获得更加清晰流畅的条纹图像的纹线,能更有效、完整地提取结构光图像的条纹信息,有利于图像的进一步处理。

**结束语** 结构光三维重建的首要任务是对结构光条纹进行提取与解码。由于环境影响,获取的结构光图像往往光照是不均匀的,无法直接提取出精确的条纹。结构光图像具有明显的条纹结构信息,本文在分析指纹条纹增强算法的基础上进行改进,提出了一种基于图像方向场与频率场约束的条纹图像增强算法,设计了图像方向场与频率场的计算方法,构造了方向场与频率场的约束的 Gabor 滤波器。实验结果表明,该算法可有效消除图像光照不均匀及噪声较强(如金属件表面)的影响,较好地增强结构光图像的条纹信息。

### 参 考 文 献

[1] Kass M, Witkin A. Analyzing Orientation Patterns [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1987, 37(3): 362-385

[2] Jain A K, Hong L, Bolle R. On-line fingerprint verification [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(4): 302-314

[3] Wang Yi, Hu Jian-kun, Schroder H. A Gradient Based Weighted Averaging Method for Estimation of Fingerprint Orientation Fields [C] // Proceedings of Digital Imaging Computing: Techniques and Applications. Queensland, 2005: 195-202

[4] Bazen A M, Gerez S H. Systematic methods for the computation of the directional fields and singular points of fingerprints [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelli-

gence, 2002, 24(7): 905-919

[5] Perona P. Orientation Diffusions [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(3): 457-467

[6] Jain A K, Prabhakar S, Hong L. A multichannel approach to fingerprint classification [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(4): 348-359

[7] Karu K, Jain A K. Fingerprint classification [J]. Pattern Recognition, 1996, 17(3): 389-404

[8] Sherlock B G, Monro D M. A model for interpreting fingerprint topology [J]. Pattern Recognition, 1993, 28(2): 139-153

[9] Vizcaya P, Gerhardt L. A nonlinear orientation model for global description of fingerprints [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(7): 1221-1231

[10] Gu J, Zhou J, Zhang D. A combination model for orientation field of fingerprints [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(3): 543-553

[11] Li Jun, Yau Wei-yun, Wang Han. Constrained nonlinear models of fingerprint orientation with prediction [J]. Pattern Recognition, 2006, 39(1): 102-114

[12] Yang Yi, Hu Jian-kun, Phillips D. A Fingerprint Orientation Model Based on 2D Fourier Expansion (FOMFE) and Its Application to Singular Point Detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 29(4): 573-585

[13] Huckemann S, Hotz T, Munk A. Global Models for the Orientation Field of Fingerprints; An Approach Based on Quadratic Differentials [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30(9): 1507-1519

[14] 陈大海, 郭雷, 李海. 基于二值指纹图像的 Gabor 滤波增强算法 [J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(29): 4-7

[15] Hong Lin, Wan Yi-fei, Jain A. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(8): 777-789

(上接第 274 页)

[7] Shan Y, Sahwney H S, Kumar R. Unsupervised learning of discriminative edge measures for vehicle matching between non-overlapping cameras [C] // IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005, 1: 894-901

[8] Yan Bo, Wang Sheng-jin, Chen You-bin, et al. Deformable 3-D model based vehicle matching with weighted Hausdorff and EDA in traffic surveillance [C] // International Conference on Image Analysis and Signal Processing, 2010: 22-27

[9] Jelać V, Castañeda J O N, Frías-Velázquez A, et al. Real-Time Vehicle Matching for Multi-Camera Tunnel Surveillance [C] // Proceedings of the SPIE 2011. San Francisco, 2011

[10] Wang Hao-you, Shih H-C. A Robust Vehicle Model Construction and Identification System using Local Feature Alignment [C] // 2013 IEEE 17th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE), 2013

[11] Itti L. Models of Bottom-Up and Top-Down Visual Attention [D]. California Institute of Technology Pasadena, 2000

[12] 李旂. 基于视觉注意机制的运动目标识别算法研究 [D]. 长沙: 国防科技大学, 2010

[13] 宋雁澜. 视觉注意模型及其在图像分类中的应用 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008

[14] Itti L, Koch C, Niebur E. A Model for Saliency-Based Visual

Attention for Rapid Scene Analysis [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259

[15] Pei S-C, Cheng Ching-min. A novel block truncation coding of color images by using quaternion-moment preserving principle [C] // IEEE International Symposium Circuits and Systems, 1996, 2: 684-687

[16] Bas P, Bihan N L, Chassery J. Color watermarking using quaternion Fourier transform [C] // Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2003: 521-524

[17] Sangwine S J. Color image edge detector based on quaternion convolution [J]. Electron Letters, 1998, 34(10): 969-971

[18] Shi L, Funt B. Quaternion color texture segmentation [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2007, 107: 88-96

[19] Guo C L, Ma Q, Zhang L M. Spatio-temporal saliency detection using phase spectrum of quaternion Fourier transform [C] // IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 2008: 1-8

[20] Daugman J G. Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters [J]. Journal of the Optical Society of America A, 1985, 2: 1160-1169

[21] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Trans. Biomed. Eng., 1979, BME-9: 63-66