基于改进 SURF 算法的交通视频车辆检索方法研究

张子龙，薛静，乔鸿海，智永锋

（西北工业大学 自动化学院，陕西 西安 710072）

摘 要：针对传统车辆检索方法中存在准确性和区分度较低的问题，提出了一个基于改进 SURF（speeded up robust features）算法的视频车辆检索方法。在车辆视频关键帧提取的基础上，根据改进 SURF 算法完成车辆图像的特征提取及匹配，其中包含改进 FAST（features from accelerated segment test）特征点检测、SURF 特征向量提取以及最近邻查询方法来进行特征点的匹配；通过计算比较待检索车辆图像与数据库车辆图像的相似度，算法完成图像筛选并反馈检索结果。实验结果表明：针对交通监控视频中待检索车辆，该方法能够较为准确地进行检索并反馈结果。

关 键 词：车辆视频检索，改进 SURF 算法，改进 FAST 特征点，特征点匹配，相似度
中图分类号：TP391.4 **文献标志码：**A **文章编号：**1000-2758(2014)02-0297-06

基于交通视频的车辆检索系统是智能交通领域的重要组成部分之一。近年来，基于 SURF 算法的视频图像检索方法在交通视频图像处理等关键技术中得到了广泛应用。SIFT（scale invariant feature transform）算法是一种鲁棒性好、具有尺度不变性的特征点检测方法，但算法复杂度高，实时性较差；SURF[1]（speeded up robust features）算法是继 SIFT 算法后的又一个稳定快速的特征提取算法，它除了具有 SIFT 算法的稳定性外，最突出的优点是算法速度快，实时性较强。文献[2]采用一种基于改进 SURF 算法的特征点提取算法使其能够实时地提取图像中均匀分布、更具健壮性的特征点，减少了算法的运算量，提高了处理速度；文献[3]研究了基于 SURF 特征和快速近似最近邻搜索的图像匹配算法，通过双向近似快速最近邻搜索算法 FLANN 进行特征点的匹配，提高了特征点的匹配精度，但匹配时间却有所增加。

基于内容的视频检索技术常常归结于针对视频关键帧图像的检索，而基于图像的检索技术关键在于图像特征的提取和相似性度量。因此，本文针对以上方法存在的不足，提出了一种改进 SURF 算法，并应用于交通监控视频车辆检索领域。首先，在车辆视频关键帧提取的基础之上，本文改进 SURF 算法检测待检索车辆图像和车辆数据库图像特征点并提取 SURF 特征向量；同时，采用最近邻查询方法进行特征点的匹配；最后，通过计算和比较图像之间的相似度，反馈最终检索结果。

1 改进 SURF 的特征点提取及匹配

在特征点检测部分，本文采用改进 FAST 特征点检测代替多尺度近似 Hessian 矩阵来进行特征点的检测以缩短检测时间；然后，根据特征点提取 SURF 特征向量，并基于最近邻查询方法完成特征点之间的匹配。

1.1 特征点检测

经典的 SURF 算法在特征点检测部分是利用积分图像和快速 Hessian 矩阵行列式在尺度空间上进行特征点的检测。本文采用改进 FAST 特征点检测方法[4-5]来代替多尺度空间中基于近似 Hessian 矩阵的特征点检测。FAST 特征点的检测原理是当前像素点与其领域点进行比较判别。首先，本文采用了 $r=3$ 的图像模板（见图 1），即比较 O 点附近半径为 3 的圆环上的 16 个邻域点；然后，根据（1）式进行计算，如果存在 n 个点与 O 点的灰度差值超过阈值

收稿日期：2013-10-30 基金项目：国家自然科学基金（61201321）与西北工业大学研究生创业种子基金（Z2014153）资助
作者简介：张子龙（1989—），西北工业大学硕士研究生，主要从事智能交通系统与模式识别研究。

t,则判定 O 点为特征点。

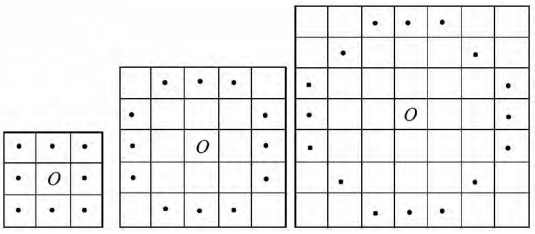


图1 特征点探测的三级模板

当 O 为待检测特征点中心像素点时,它的圆环上的点检测结果有3种情况,即相似点 s、较暗点 d 以及较亮点 b。

$$T_O=\begin{cases}d, & H_i\leqslant H_O-t(\text{较暗点})\\ s, & H_O-t<H_i<H_O+t(\text{相似点})\\ b, & H_O+t\leqslant H_i(\text{较亮点})\end{cases}\quad(1)$$

式中:T_O 为圆环上对应的每种点的个数,H_i 为圆环上第 i 个点对应的灰度值,H_O 为待检测点对应的灰度值。

本文设 f_1 和 f_2 分别为图像中亮点和暗点在整幅图像中的比重。

$$T_o^{\#}=\begin{cases}b_n\leqslant\alpha d_n & 0<f_1/f_2\leqslant\alpha\\ \alpha d_n<s_n<\beta d_n & \alpha<f_1/f_2<\beta\\ b_n\geqslant\beta d_n & f_1/f_2>\beta\end{cases}\quad(2)$$

式中:权重 α 取值为0.5,β 取值为3;而 b_n、d_n 和 s_n 分别为加入约束后得到的亮点、暗点和相似点个数。在提取特征点时可能会检测到多个相邻的特征点,必须要计算其局部极值性来去除这些不是局部极值的点。为此定义一个函数 W 来进行非特征点的剔除。

$$W=\max\Big(\sum_{N\in S_b}|H_i-H_O|-t,\sum_{N\in S_d}|H_O-H_i|-t\Big)$$
$$S_b=\{N\mid H_i\geqslant H_o+t\},S_d=\{N\mid H_i\leqslant H_o-t\}\quad(3)$$

传统FAST特征点数量极大,并极易在局部区域出现聚集现象,在一定程度上造成了图像局部细节信息的冗余,同时过多的特征点也会增加特征匹配耗时。本文对此采用最小距离约束策略。

设2个特征点之间的最小约束距离为 D_m,具体的取舍方法是:选取一个特征点,然后遍历所有特征点并进行距离计算。若2个特征点之间距离大于 D_m,则保留。否则,判断为冗余点并予以剔除。通过上述方法,本文能够迅速地完成图像特征点的检测,并剔除冗余点和噪声点。使车辆图像特征点的数量适中且较为均匀地分布于目标车辆区域。

1.2 特征描述子生成

SURF特征描述子[6]的生成主要分为特征点主方向分配和特征向量的生成。

首先,算法需要对每个特征点分配一个主方向,保证其特征向量具有旋转不变性。算法在以每个特征点为中心,并以 $6s$(s 为特征点的当前尺度)为半径的圆形区域内,对图像进行以 $4s\times4s$ 模板大小的Haar小波梯度运算。对Haar小波的响应值使用 $\sigma=2s$ 的高斯加权函数进行加权运算。以特征点为中心、角度为 $\pi/3$ 的扇形滑动窗口,获取特征点的主方向。对滑动窗口以内的图像进行Haar小波的变换后,其响应值在 $\mathrm{d}x$ 方向和 $\mathrm{d}y$ 方向进行累加,最终得到一个向量。特征点的主方向为最大Haar小波响应累加值对应的方向,也就是最长向量所对应的方向。

在主方向分配生成的基础上,算法再以该特征点为中心,划分出一块 $20s\times20s$ 大小的矩形区域窗口,并将其分为 4×4 的正方形的子区域,分别计算每个子区域中 $5s\times5s$ 大小的空间采样点的Haar小波响应值,如图2所示,其中 $\mathrm{d}x$ 为主方向上的Haar小波响应,$\mathrm{d}y$ 为垂直于主方向上的Haar小波响应;然后,以特征点为中心对上述2个方向以 σ 为 $3.3s$ 的高斯函数进行加权处理;最后,对响应值进行统计,得到 $\sum\mathrm{d}x$、$\sum\mathrm{d}y$、$\sum|\mathrm{d}x|$ 和 $\sum|\mathrm{d}y|$ 形成4维的特征向量 V,整个特征点包含了 4×4 个子区域,则生成了64维的SURF特征向量。

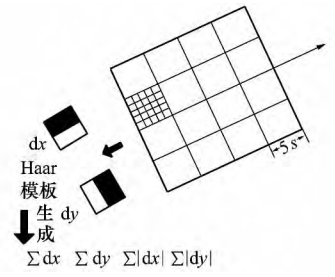


图2 特征描述子的表示

为了使生成的SURF特征向量具备亮度和对比不变性,需要进行特征向量的归一化处理,得到最终的SURF特征描述子。

1.3 特征点匹配

本文采用最近邻查询方法来进行特征点之间的

特征向量快速匹配。最邻近查询(nearest neighbor，NN) 的概念是在空间数据库理论中首先提出来的。首先，特征点的相似度是根据 SURF 特征向量之间的欧式距离来计算度量。

首先，待匹配图像之间的一个特征点，根据欧式距离的大小找出它对应另一幅图像的最近邻特征点 P_{n1} 和次近邻特征点 P_{n2}，然后计算这 2 个特征点与样本点之间欧式距离的比值 K，当比值小于阈值 ε 时，则判定为特征点匹配。反之，则继续计算比较到算法终止。

$$K = \gamma \frac{d_{P_{n1}}}{d_{P_{n2}}} \leqslant \varepsilon \tag{4}$$

设定权值 γ 参数，进行 K 值的整定来减少错匹配对的数量。通过上述方法，可以较快地进行待检索图像和数据库图像的特征向量之间的匹配。

2　相似度计算与车辆检索策略

车辆图像之间的相似度计算主要用于图像之间依据其属性或者特征的相近程度进行打分，并且根据分数的高低来判断图像整体内容的近似程度。

首先，按照本文方法对待匹配车辆图像进行特征点的提取和匹配流程，求取特征匹配对数 n; 再者，待检索车辆图像与数据库中的任意一张车辆图像进行匹配比较，得到匹配对数 m。

设定阈值为 δ，并根据 m/n 进行分类，当 $m/n \geqslant \delta$ 时，说明待检索车辆图像与当前数据库车辆图像相似度较高。通过特征点匹配对进行加权处理，增加了车辆图像之间的匹配区分度。通过计算待检索图像关键点匹配对的欧式距离 d，并求得匹配对中的最小距离 $\min d$ 最大距离 $\max d$ 的匹配对，设置权值，

$$M = \begin{cases} 1 - \eta \dfrac{d_i - \min d_i}{\max d_i - \min d_i} & (\max d_i > \min d_i) \\ 1 & (\max d_i = \min d_i) \end{cases} \tag{5}$$

式中: η 为权值参数，取经验值为 0.1。则相似度 s 定义如下:

$$s = \begin{cases} m/n & (m/n) < \delta \\ \sum_{i=1}^{m} \left(1 - \eta \dfrac{d_i - \min d_i}{\max d_i - \min d_i}\right) / n & (m/n) \geqslant \delta \end{cases} \tag{6}$$

若车辆信息数据库包含了 X 张车辆关键帧图像，则可以表示为数据集 $Q_1 = \{q_1, q_2, \cdots q_x\}$; 待检索车辆图像与数据库中车辆图像进行匹配，提取出 $s > 0.7$ 的数据并可以得到疑似匹配车辆数据集 $Q_2 = \{q_1, q_2, \cdots q_c\}$，然后根据数据集按照 s 值进行排序，提取前 z 个 s 值较高的车辆图像即为可能检索到的匹配目标车辆。其中，本文中 z 取监控车辆信息数据库数据总量的 1%。

3　实验结果与分析

3.1　实验条件及总体流程图

实验设备: CPU 为英特尔酷睿双 2.10 GMZ、2 G 内存的 PC 机，操作系统为 Windows XP，软件开发环境为 VC++6.0 并结合 Opencv 图像处理库。

首先，算法采用运动车辆检测和视频关键帧提取相关方法分别完成待检索车辆视频记录和交通监控视频中的车辆检测及视频关键帧的提取，并建立车辆信息数据库; 再者，算法结合本文中改进 SURF 算法进行待检索车辆关键帧和数据库车辆图像的特征点检测及其 SURF 特征向量提取; 然后，基于最近邻查询方法进行特征点的匹配; 通过计算待检索车辆图像与数据库车辆图像的相似度，满足阈值条件的车辆图像存入疑似匹配车辆数据集，并判定为待检索车辆; 最后，反馈检索结果，其中算法主流程如图 3 所示。

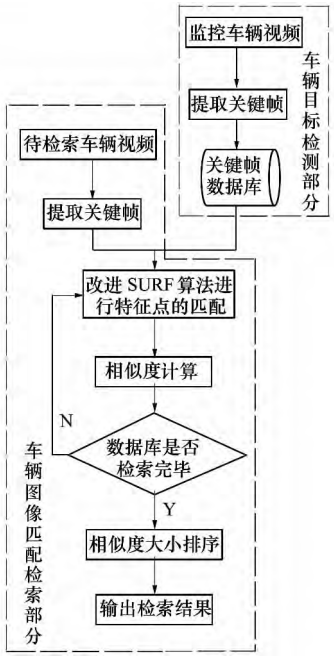


图 3　整体流程

3.2 实验结果与分析

1) 图像特征点的检测。本文针对SIFT算法、SURF算法以及本文方法在同一组车辆图像中进行特征点的检测和特征点的检测时间进行测试，其中，阈值 t 取为20，n 取12，Dm 取11个单位像素。如图4和图5所示。



a) SIFT算法



b) SURF算法



c) 本文算法

图4 第1组车辆图像特征点检测结果



a) SIFT算法



b) SURF算法



c) 本文算法

图5 第2组车辆图像特征点检测结果

表1 特征点检测时间数据表

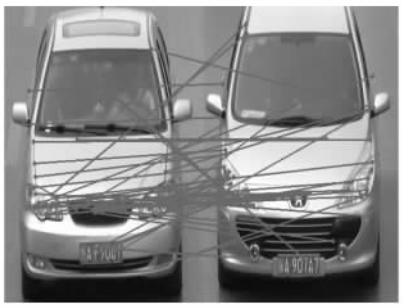
方法	检测项目	第1组	第2组
SIFT算法	特征点数	519	555
	检测时间/s	0.349	0.365
SURF算法	特征点数	143	158
	检测时间/s	0.169	0.171
本文方法	特征点数	256	290
	检测时间/s	0.034	0.039

实验结果表明：SIFT算法的特征点数量多，检测时间最长，导致后续匹配过程较为繁琐复杂；SURF算法与SIFT算法相比，特征点数较少，则其代表的局部信息量较少；本文算法特征点的检测数量比SURF算法多1倍，但检测时间较SURF算法更少，而且特征点的分布区域基本为目标车辆区域，更具车辆图像内容的代表性。综上而言，本文算法更具有一定优势。

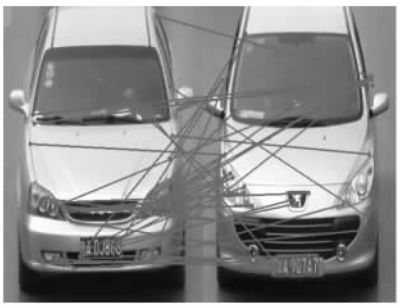
2) 算法整体测试。文献[7]提出了一种基于颜色和形状特征的图像检索方法。在上述实验基础上，通过本文方法和文献[7]的方法进行对比实验，完成对指定车辆(图6中右侧车辆)在数据库中的检索。整体检索相似度测试数据如表2所示，而图6中的3组图像代表了部分检索匹配情况，图6a)为相同车辆图像匹配效果；图6b)、图6c)为待检索车辆图像与数据库中宏观特征(颜色和车型)相近的车辆图像匹配效果。



a) 相同车辆



b) 相似车辆组1



c) 相似车辆组2

图6 待检索车辆与数据库中车辆图像匹配结果

表2 相似度测试数据

图像	本文方法	文献[7]检索方法
图6a)	1.000	1.000
图6b)	0.201	0.824
图6c)	0.171	0.882

在完全相同车辆进行匹配实验，文献[7]和本文方法得到的相似度大小基本相同，几乎接近于1。但在视频车辆图像检索中，针对宏观特征相似的车辆进行查找区分，如文献[7]方法对图6中宏观特征(颜色和车型)相近的车辆进行匹配，计算得到

的两者相似度均超过了 0. 8，最后的检索结果为图像匹配; 而本文的方法得到的两者相似度为 0. 2 左右，由于车牌号码、车辆标志和车内驾驶员状态等细节的不同使一些特征点没有匹配或者错误匹配，最终检索结果为车辆图像不匹配。

实验结果表明: 本文的检索方法选取图像细节局部特征进行匹配并计算车辆图像之间的相似度值，较于传统的基于全局特征(颜色和车型) 的方法更具有较高准确性和区分性，并能够适应交通监控中出现的复杂情景。

4　结　论

本文提出了一种基于改进 SURF 算法的视频车辆检索方法。该方法较快地对车辆视频关键帧进行特征点检测并提取 SURF 特征向量，而且能够准确地完成车辆图像的匹配; 再通过计算比较待检索车辆图像与数据库中车辆图像相似度，能够快速准确地进行车辆检索。通过实验证明，本文提出的视频车辆检索方法基本满足了车辆检索准确性和区分性的要求。随着更进一步的检索方法完善，基于监控视频的车辆检索方法将能够应用于违章检测、交通参数统计等更多的领域，并能够在交通道路监控、安防监控等领域有广泛的应用前景。

参考文献:

[1] Bay H，Tuytelaars T，Van Gool L. SURF: Speeded up Robust Features [J] . Computer Vision and Image Understanding，2008，110(3) : 346-359

[2] 蔡佳，黄攀峰. 基于改进 SURF 和 P-KLT 算法的特征点实时跟踪方法研究 [J] . 航空学报，2013，34(5) : 1204-1214
Cai Jia，Huang Panfeng. Research of a Real-Time Feature Point Tracking Method Based on the Combination of Improved SURF and P-KLT Alogrithm [J] . Acta Aeronautica et Astronautica Sinica，2013，34(5) : 1204-1214 (in Chinese)

[3] 赵璐璐，耿国华，李康. 基于 SURF 和快速近似最近邻搜索的图像匹配算法 [J] .计算机应用研究，2013，30(3) : 921-923
Zhao Lulu，Geng Guohua，Li Kang. Images Matching Algorithm Based on SURF and Fast Approximate Nearest Neighbor Search [J] . Application Research of Computers，2013，30(3) : 921-923 (in Chinese)

[4] Zhang Huijuan，Hu Qiong. Fast Image Matching Based-on Improved SURF Algorithm [C] // International Conference on Electronics，Communications and Control (ICECC) ，2011: 1460-1463

[5] 郭莉莎，李俊山，朱英宏. 基于多尺度 FAST-9 的图像快速匹配算法 [J] . 计算机工程，2012，38(12) : 208-210
Guo Lisha，Li Junshan，Zhu Yinghong. Fast Image Matching Algorithm Based on Multi-Scale FAST-9 [J] . Computer Engineering，2012，38(12) : 208-210 (in Chinese)

[6] 王永明，王贵锦. 图像局部不变性特征与描述 [M] . 北京: 国防工业出版社，2010: 135-142
Wang Yongming，Wang Jingui. Image Local Invariant Features and Descriptors [M] . Beingjing，National Defence Industry Press，2012: 135-142 (in Chinese)

[7] 叶银兰. 基于颜色和形状的图像检索 [J] . 太原理工大学学报，2008，39(2) : 127-131
Ye Yinlan. Image Retrieval Based on Color and Shape Feature [J] . Journal of Taiyuan University of Technology，2008，39(2) : 127-131 (in Chinese)

[8] 樊兆宾，史忠科，杨珺. 基于视频的车辆检测系统设计 [J] .计算机工程，2008，34(6) : 255-257
Fan Zhaobin，Shi Zhongke，Yang Jun. Design of Video-Based Vehicle Detection System [J] . Computer Engineering，2008，34 (6) : 255-257 (in Chinese)

The Vehicle Retrieval Methods of Traffic Video Based on Improved SURF Algorithm

Zhang Zilong, Xue Jing, Qiao Honghai, Zhi Yongfeng
(Department of Automatic Control, Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072, China)

Abstract: To overcome the problem low accuracy and discrimination of traditional vehicle retrieval methods, a new vehicle video retrieval method based on improved SURF algorithm is proposed. On the basis of vehicle video key frame extraction, the improved SURF algorithm is used for extracting and matching of vehicle image features, including improved FAST angular point algorithm to extract the image feature points, including SURF algorithm to extract the image feature vector and including nearest neighbor query algorithm to get matching points; through calculating and comparing vehicle images to be retrieved and the database of vehicle images in similarity, image filtering is completed and the retrieval results are output. The experimental results and their analysis show preliminarily that this method not only can detect the video vehicle, but also can feedback retrieval results fairly accurately.

Key words: algorithms, automobiles, calculations, computer programming languages, experiments, feature extraction, flowcharting, image matching, image retrieval; improved SURF(Speeded Up Robust Features) algorithm, improved FAST key points, key points matching, similarity, vehicle retrieval