

基于 SIFT 特征匹配的 CamShift 运动目标跟踪算法

马正华 顾苏杭 戎海龙

(常州大学信息科学与工程学院 常州 213164)

摘 要 针对复杂背景下采用一般 CamShift 算法跟踪目标容易失败,提出将 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)特征点匹配融入到 CamShift 算法。该算法利用 SIFT 特征对尺度和方向无关特性实现连续图像序列的精准匹配,具有对尺度缩放、目标旋转以及亮度变化保持不变性的优点,不仅弥补了一般 CamShift 算法只以颜色为关键信息的不足,而且可将目标跟踪窗口形心和质心间的位移稳定在设定阈值内。最后通过对比性实验来验证该算法的有效性和稳定性。实验结果表明,该算法能够对复杂背景下的光照突变、缩放和旋转运动目标实现实时稳定跟踪。

关键词 复杂背景, CamShift 算法, SIFT 特征点匹配, 光照突变, 缩放和旋转

中图分类号 TP393.08 文献标识码 A

CamShift Moving Object Tracking Algorithm Based on SIFT Feature Points Matching

MA Zheng-hua GU Su-hang RONG Hai-long

(College of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract A new algorithm integrating SIFT feature points matching into CamShift algorithm was proposed, aiming at tracking object which is prone to failure caused by using general CamShift algorithm under complex backgrounds. The algorithm uses the SIFT feature to realize precise matching of the continuous image sequence which has nothing to do with scale and direction. And it is partially invariant to object scaling, translation and illumination change. Not only it compensates for the lack of taking color as key information of the general CamShift, but also the displacement between the centroid and the center of mass of object tracking window is stable within the threshold. Finally, the effectiveness and stability of the algorithm were verified via comparative experiments. The experimental results show that the new algorithm can achieve stable tracking object against illumination mutations, scaling and rotation under the complex backgrounds.

Keywords Complex backgrounds, CamShift algorithm, SIFT feature points matching, Illumination mutations, Scaling and rotation

进入 21 世纪以来,无人机在军民两用方面愈加广泛,使得视觉跟踪技术^[1]研究和相关系统的开发不仅吸引了国内外学者、院校和科研机构的广泛关注,也促使了许多商业技术公司的大量研发投入。视觉跟踪系统不仅是计算机视觉领域的一个重要分支,而且被广泛应用于目标跟踪^[2]、公路巡航^[3]等诸多领域。

MeanShift 算法^[4,5]是一个基于梯度分析的无参数快速模式匹配算法,具有实时性、鲁棒性的特点,因此有着广泛的应用。但是该算法单一地考虑颜色特征,缺少目标的运动方向和速度信息,当跟踪目标发生缩放和旋转运动时,容易跟踪失败。CamShift(Continuously Adaptive Mean-Shift)算法^[6,7]是 MeanShift 算法的改进,称为连续自适应的 MeanShift。CamShift 算法以运动目标的颜色为特征,将 RGB 颜色空间转化为 HSV 颜色空间,HSV 颜色空间对光照变化不敏感,有利于目标的跟踪,但在复杂背景下目标区域与背景区域颜色对比度较低时目标容易跟丢。Yihu Huang^[8]等将 CamShift

算法与最小错误率的贝叶斯决策理论相结合来准确区分目标区域和背景区域,在一定程度上提高了 CamShift 跟踪算法的效率。由于复杂背景下目标还存在缩放和旋转运动,图像中目标搜索窗口的形心与质心之间的位移易超出阈值,目标偏出搜索窗口, CamShift 跟踪算法失效。

SIFT^[9]算法是一种基于图像局部特征提取的方法, SIFT 特征^[10]具有尺度缩放不变性、旋转不变性,对视角变化、光照变化、物体运动、噪声也具有良好的稳定性。SIFT 算法利用 RANSAC(Random Sample Consensus)随机抽样一致性^[11,12]方法计算出图像变换矩阵^[13],实现前后两帧图像的精准匹配。因此,利用此性质可以缩小 CamShift 算法中搜索窗口形心与质心之间的位移,很好地解决了由于目标缩放和旋转运动带来的问题,提高了在复杂背景环境下目标跟踪的稳定性。

1 CamShift 算法和 SIFT 算法

1.1 CamShift 算法

CamShift 算法是非参数的方法,是一种动态变化分布的

到稿日期:2013-08-29 返修日期:2013-11-01 本文受国家自然科学基金项目(61201096),常州市科技项目(CJ20110023, CM20123006)资助。

马正华(1962—),男,教授,主要研究方向为嵌入式系统应用技术, E-mail: zyfx1983@163.com; 顾苏杭(1989—),男,硕士,主要研究方向为计算机应用技术; 戎海龙(1980—),男,博士,主要研究方向为模式识别与智能系统。

概率密度函数梯度估计,颜色概率分布图是它的一个关键概念。CamShift 利用目标的颜色直方图模型将图像转换为颜色概率分布图,初始化一个搜索窗口的大小和位置,并根据上一帧得到的结果自适应调整搜索窗口的位置和大小,从而定位出当前图像中搜索窗口的形心位置。使用 CamShift 对目标进行跟踪时的步骤如下:

(1)由目标检测模块或手工标定方式初始化搜索窗口的位置和大小(依据需要进行)。

(2)逐个对搜索窗口中像素 H 通道上的值进行采样,获得目标的颜色分布直方图 $\{q(u)\}_{u=1,2,\dots,b}$, b 为颜色直方图箱格的数目,一般取 256。

(3)以搜索窗口形心 (x_0, y_0) 为中心,设置一计算区,其比搜索窗口尺寸稍大。

(4)通过颜色直方图色彩投影(反向投影)计算计算区的颜色概率分布图 $I(x, y)$ 。

$$I(x, y) = \left(\frac{255}{q_{\max}}\right) \cdot q(u) \delta[c(f(x, y)) - u] \quad (1)$$

式中, $f(x, y): R^2 \rightarrow R^3$ 为图像函数; $c(\cdot): R^3 \rightarrow \{1, 2, \dots, b\}$ 为颜色空间分布量化函数; $\delta(\cdot)$ 是 Kronecker 函数。

(5)计算 $I(x, y)$ 的零阶矩 J_{00} , 一阶矩 J_{01}, J_{10} 和质心 (x_c, y_c) 。

$$J_{00} = \sum_x \sum_y I(x, y) \quad (2)$$

$$J_{01} = \sum_x \sum_y x I(x, y) \quad (3)$$

$$J_{10} = \sum_x \sum_y y I(x, y) \quad (4)$$

$$x_c = \frac{J_{10}}{J_{00}}, y_c = \frac{J_{01}}{J_{00}} \quad (5)$$

(6)若 $|x_0 - x_c| < \epsilon$ (ϵ 为根据需要设定的阈值)且 $|y_0 - y_c| < \epsilon$, 或迭代次数大于某预设值, 执行(7); 否则, 执行(8)。

(7)统计新的搜索窗口中目标的颜色分布直方图, 输出搜索窗口中心 (x_c, y_c) 、宽 $w = \sqrt{J_{00}/256}$ 和高 $h = 1.2w$, 读入下一帧序列图像, 重新执行(2)。

(8)设置 $x_0 = x_c, y_0 = y_c$, 搜索窗口宽 $w = J_{00}/256$, 高 $h = 1.2w$, 重新执行(3)。

从上述步骤可知, CamShift 算法不占用过多的系统资源, 耗时少, 一定程度上可以获得良好的跟踪效果。但 CamShift 算法以颜色直方图为主要关键点, 忽略了目标的空间分布特征, 当背景相对复杂, 有类似目标颜色像素的干扰、目标发生形变和转动时, 将导致跟踪目标的丢失, 所以为了有效地解决这一问题, 应当加入精确的图像帧序列匹配。

1.2 SIFT 特征的生成

在计算机视觉领域, 一幅图像的尺度空间可由源图像与高斯含糊的卷积得到, 即

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (6)$$

式中, $G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$ 为二维高斯函数, σ 为尺度空间因子, 小尺度能反映图像的细节特征, 大尺度则可以对应图像的概貌特征。SIFT 算法在图像二维平面空间和 DoG (Difference of Gaussian) 高斯差分尺度空间中检测极值点, 将其作为图像关键点。DoG 高斯差分尺度空间即为两个不同尺度高斯核的差:

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \quad (7)$$

如图 1 所示, 左侧的每一阶尺度空间是由初始图像重复与高斯函数卷积生成的一组高斯尺度空间图像, 右侧是相邻两个高斯图像经差分得到的一组高斯差分尺度空间, 每一阶的第一个图像由高斯图像经因子为 2 的亚采样得到。

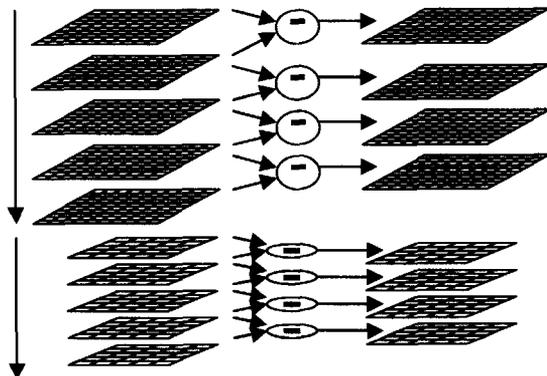


图 1 第一阶段和第二阶段 DoG 高斯差分尺度空间

SIFT 特征生成包括以下 4 步:

a) 尺度空间极值点检测, 如图 2 所示 ‘×’ 为当前考察点, 采用 $3 \times 3 \times 3$ 非极大抑制 (non max suppress), 将当前考察点与同一尺度周围 8 邻域的所有像素以及上下相邻对应位的周围邻域共 26 个像素进行比较, 保证在二维图像空间和尺度空间为局部极值点, 粗略确定极值点的位置坐标和所在尺度。

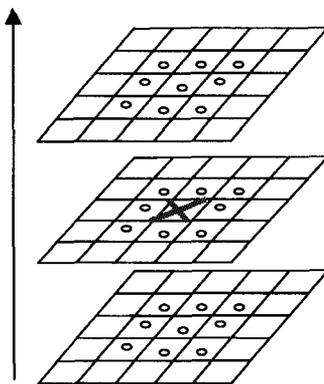


图 2 DoG 空间 3×3 邻域极值点检测

b) 通过拟合三维二次函数来确定极值点的位置和尺度, 使其达到亚像素和亚尺度精度, 同时去除不稳定的边缘响应点以及对低度度的极值点, 在增强匹配稳定性的同时提高算子的抗噪声能力。

c) 特征点方向分配, 通过计算特征点周围邻域像素的梯度方向直方图来为每个特征点确定方向参数, 使其具有旋转不变性。特征点所在尺度的高斯差分图像为 $I(x, y)$, 梯度模值 $l(x, y)$ 和方向 $\theta(x, y)$ 可以利用像素差来计算:

$$l(x, y) = \sqrt{(I(x+1, y) - I(x-1, y))^2 + (I(x, y+1) - I(x, y-1))^2} \quad (8)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{I(x, y+1) - I(x, y-1)}{I(x+1, y) - I(x-1, y)} \right) \quad (9)$$

d) 特征向量的生成, 先将坐标轴变换为上一步得到的特征点的方向, 以保证 SIFT 特征旋转不变。统计关键点周围方形邻域内像素梯度(包括幅度和方向)的高斯加权分布, 构造出特征向量。

由此可知, 利用 SIFT 算法生成的特征点具有以下优点:

(1)对尺度缩放、目标旋转以及亮度的变化保持不变,对视角变化、噪声、仿射变换也有一定程度的稳定性。

(2)信息量丰富,独特性好,因此非常适合在海量特征数据库等应用场合中进行快速、准确的匹配。

(3)多量性,即使图像很小,图像数据很简单,SIFT 算法也能在其中提取出大量的特征。

(4)高速性,优化过的 SIFT 匹配算法甚至可以满足实时的要求。

(5)可扩展性好,可以很方便地与其他形式的匹配和跟踪算法进行联合。

2 基于 SIFT 特征匹配的 CamShift 运动目标跟踪算法

直接使用 CamShift 算法跟踪运动目标存在以下问题:

(1)CamShift 算法利用移动搜索窗口的中心到质心实现两者在位移上的近似吻合进而实现跟踪目标,但如果位移过大常常会导致算法跟踪的失败。

(2)如果目标部分面积被遮挡以及发生缩放和旋转,图像中目标区域过小,通过颜色直方图色彩投影后得到的目标区域颜色概率分布因较小而不能实现有效跟踪。

(3)当图像中的背景区域存在过多颜色成分与目标颜色成分相似时,难以检测出图像中的目标区域而导致跟踪不稳定。

2.1 SIFT 特征匹配实现图像中两点位移稳定在一定阈值内

针对上述问题(1),采用 CamShift 算法跟踪运动目标时,如果在移动目标搜索窗口形心到质心前先让连续的前后两帧图像实现精准匹配,那么可将目标搜索窗口形心和质心间的位移稳定在设定阈值内,取得较好的跟踪稳定性。图像匹配的关键是要计算出图像间的变换模型,即变换矩阵,实现原理如下:假设某一数据集 D ,与之相应的数据模型为 δ , D 中支撑模型 δ 的数据称为内点,不支撑模型 δ 的数据称为外点。通过 RANSAC 方法首先随机地选择一小部分数据作为内点模拟得到符合模型 δ 的参数,然后再利用模拟获得的模型参数寻找出数据集 D 中所有的其他内点。

图像变换模型——仿射变换,其矩阵表示形式为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & l_x \\ m_{21} & m_{22} & l_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

给定两幅帧图像序列 A 和 B,假设 B 是由 A 经过仿射变换得到的,利用 RANSAC 计算仿射变换矩阵步骤如下:

a)从图像 A 和 B 相匹配 SIFT 关键点对中随机选择 3 对(仿射变换的自由度为 6)构造方程组,求解出 A 到 B 的图像变换模型参数,即可求出仿射变换矩阵 J 。

b)假设图像 A 中 SIFT 特征点为 O ,图像 B 中与之对应的 SIFT 特征点为 O' ,利用 a)中求得的仿射变换矩阵 J 将图像 A 中的所有 SIFT 特征点变换到图像 B 中,如果特征点 O 经过仿射变换后在图像 B 中的位置与 O' 基本重合或者两者间的位移差在一个像素内,那么此图像 A 和 B 的关键点对支撑仿射变换矩阵 J ,即为图像模型变换的内点,如果内点数达到预期设定的阈值,那么矩阵 J 符合图像 A 和 B 的变换模型。

2.2 高斯加权构造 SIFT 特征向量

当图像中的目标区域较小或者背景区域的颜色与目标近

似时,利用 CamShift 算法跟踪目标,在初始化目标搜索窗口设置某一计算区后,通过颜色直方图色彩投影计算获得的颜色概率直方图中因背景区域所占的比重较大而影响跟踪效果。为了减小这种影响,可以采用高斯加权的方法构造目标区域的 SIFT 特征,因为离目标中心距离越远的像素其权重越小,所以采用高斯加权的方法可以使目标区域中的像素较背景区域的像素有较大的权重值。实验表明,CamShift 算法结合此方法可以实现稳定跟踪目标。高斯加权的欧氏距离具体表达式如下:

$$w(i, j) = \exp\left(-\frac{\|v(N(i)) - v(N(j))\|_{2,c}}{h^2}\right) \quad (11)$$

2.3 SIFT 特征匹配融入 CamShift 算法后的系统框图

在简单背景环境下如光照条件变化微弱,呈现在图像中的目标运动处于平缓状态,单独地使用 CamShift 算法跟踪目标可能会取得较好的跟踪效果。但实际情况并非如此,复杂背景环境下,光照强度会发生明显变化,背景区域颜色会出现与目标颜色相似,图像中的目标区域会发生旋转和尺度缩放,这种情况下再单一使用 CamShift 算法会出现目标跟踪丢失,跟踪效果很不稳定。因此,必须优化 CamShift 算法,如融入其它的算法——SIFT 特征匹配算法,来弥补 CamShift 算法的不足,实现稳定跟踪目标。将 SIFT 特征匹配融入 CamShift 运动目标跟踪算法后的系统框图如图 3 所示。

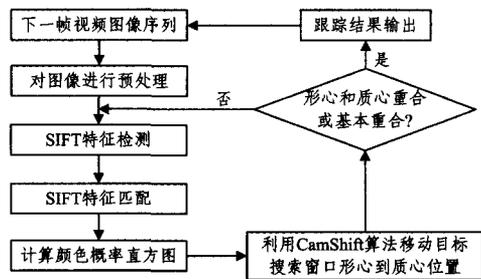


图3 改进后的 CamShift 运动目标跟踪算法框图

3 实验结果与分析

为了验证本文算法,选取了型号为 GoPro HD HERO 的摄像机拍摄的高清视频,分别用 CamShift 算法和改进后的算法对其进行实时测试比较。转换后的视频帧率为 25 帧/秒,分辨率为 360×240 ,总的帧数为 1557。实验算法测试环境:操作系统为 Microsoft Windows XP Professional,CPU 为四核的 AMD Phenom(tm) II X4 955,主频为 3.20GHz,内存为 3.25GB,软件开发工具为 Visual Studio 2010 结合版本为 2.4.4 的开源计算机视觉库 OpenCV。本文采用实验对比来验证本文算法跟踪目的的有效性以及稳定性,实验中选取运动着的人物手臂作为跟踪目标。为了增加实验的可比性,本文还给出了文献[6]提出的算法的跟踪效果,此算法在 CamShift 跟踪算法的框架中加入了 SURF 检测与匹配的方法。

图 4 是在光照突然变暗时进行的实验。由于一般的 CamShift 算法主要通过视频图像中运动物体的颜色信息来达到跟踪目的,而在各种色彩空间中,只有 HSV 空间(或与 HSV 类似的色彩空间)中的 H 分量可以表示颜色信息。因此,当目标所处环境光照条件发生突变时,目标区域跟踪窗口容易收敛到错误位置。图 4(a)中在 603 帧(拉上窗帘遮挡住外面强烈的太阳光)时目标跟踪窗口尺寸突然增大,此帧以后

目标逐渐脱离跟踪窗口,直至在 761 帧时目标完全跟丢;图 4 (b)中当室内光照突变后跟踪窗口尺寸有所变大,但目标始终在跟踪窗口内,在 761 帧时目标大部分面积偏出了跟踪窗口;(c)中目标跟踪窗口大小在光照突变后未发生明显变化,但在 761 帧时跟踪窗口尺寸有所增大,较之图 4(a)和(b),跟踪窗口能基本收敛到目标区域的边缘,跟踪更加稳定,验证了本文改进后的算法的有效性和稳定性。



图 4 光照发生突变情况下各算法的跟踪效果



图 5 目标部分面积被遮挡住以及发生偏转情况下各算法的跟踪效果

图 5 是在目标部分面积被遮挡以及发生偏转情况下进行的实验。人物在前进中手臂部分面积被遮挡物遮住,人物继续向前进并转向进行较大幅度转弯,手臂发生明显的偏转。由于一般的 CamShift 算法只以颜色统计作为跟踪的“眼睛”,当目标部分面积被遮挡或者目标发生偏转后,可利用的区域变小,得到的颜色信息也随之减少,经过每一帧的循环积累后很有可能导致跟踪失败。因此,图 5(a)中的目标跟踪窗口逐渐拉长,当目标发生偏转后,目标完全脱离了跟踪窗口,跟踪失败。文献[6]中由于加入了 SURF 算子,利用 CamShift 算法跟踪目标前,在前后两帧图像序列之间事先建立匹配关系,

因此,跟踪的稳定性有较大提高。图 5(b)中当出现遮挡物时,跟踪窗口大小有较小变化,当目标偏转后,跟踪窗口尺寸大幅度拉长,跟踪效果一般。SIFT 特征具有多量性,即使图像很小、图像数据很简单,SIFT 算法也能够从中提取出大量的特征。SIFT 算子是很稳定的局部特征算子,它能够在连续图像序列间建立精确的匹配,甚至能够达到图像吻合的效果,在利用 CamShift 算法跟踪时,大大地缩小了搜索窗口形心和质心间的位移。图 5(c)中,即使目标部分面积被遮挡住以及目标发生偏转,跟踪窗口仍能以较为精准的尺寸大小收敛到目标边缘,收敛精度较高,很好地验证了本文改进后的算法的有效性和稳定性。

从两组图的实验效果还可以得出 SIFT 特征算子在运动目标跟踪区域比 SURF 特征算子要优越,算法的稳定性更好,跟踪精度更高。

由表 1 知,文献[6]和本文跟踪算法耗时主要用在特征提取和运动检测两个部分,SIFT 较 SURF 耗时更少,有利于目标的实时跟踪。虽然单帧图像中检测到的 SIFT 特征少于 SURF 特征,但提纯后的特征数和匹配对数都多于 SURF 特征,跟踪窗口更能精确地收敛于目标边缘。SIFT 特征的匹配正确率也高于 SURF 特征匹配,使得跟踪更加稳定。本文算法跟踪耗时虽多余一般的 CamShift 算法,但却能得到稳定的跟踪效果。

表 1 3 种算法单帧跟踪性能对比

算法	CamShift	SURF	SIFT
前帧图像特征数	—	289	213
后帧图像特征数	—	172	138
提纯后特征数	—	75	94
特征匹配对数	—	93	105
特征提取耗时/ms	—	997.34	226.72
特征匹配耗时/ms	—	157.24	146.10
匹配正确率	—	80.65%	89.52%
运动检测耗时/ms	—	259.55	167.47
跟踪总耗时/ms	10.25	1106.52	628.17

结束语 尺度不变特征变换 SIFT 作为一种优秀的局部特征算子,其匹配精度较高,可以处理帧序列图像中目标发生平移、旋转、仿射变换等情况下的匹配问题,甚至在某种程度上对任意角度拍摄的图像也具备较为稳定的特征匹配能力。CamShift 算法对于纯色目标在黑白背景下的跟踪效果非常好,但是如果背景颜色与目标相近,或者目标附近存在与目标色调相近的物体,CamShift 算法会自动将其归为目标区域,使目标搜索窗口扩大,跟踪发散,直至跟踪失败。鉴于此,本文在 CamShift 算法中融入 SIFT 特征匹配,从而得到一种对尺度缩放、目标旋转以及光照变化保持不变的跟踪算法,同时解决了 CamShift 算法因目标搜索窗口形心与质心位置无法重合使算法容易发散的问题。实验结果表明,本文提出的基于 SIFT 特征匹配的 CamShift 运动目标跟踪算法能够实现目标的稳定跟踪。

参考文献

- [1] Liu Meng, Wu Cheng-dong, Zhang Yun-zhou, et al. A review of traffic visual tracking technology[C]// 2008 International Conference on Audio, Language and Image Processing, 2007: 1015-1020

(下转第 323 页)

当车辆以匀速 v_s 行驶时,从首次可以检测识别地面交通标志到车辆无法检测地面交通标志的时间为:

$$t_s = (S_{\max} - s - x) / v_s \quad (30)$$

结束语 基于该算法的软件已经成功应用于北京汽车工业控股有限责任公司 C70 和 C30 汽车上。成功行驶 500 小时以上,运行稳定,算法鲁棒性强,实时性好。对重度污损的地面交通标志的识别将是以后研究的重点。

参考文献

- [1] 李阳,丁辉,王云飞,等.多特征融合的交通标志检测与分类研究[J].光学技术,2012,38(5):564-568
- [2] 初秀民,严新平,毛焜.道路标志图案识别方法研究[J].汽车工程,2006,28(11):1051-1055
- [3] Yenikaya S, Yenikaya G, Düven E. Keeping the vehicle on the road: A survey on on-road lane detection systems[J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2013, 46(1):2
- [4] Kucukyildiz G, Ocak H. Development and optimization of dsp based real time lane detection algorithm on a mobile robot platform[C]//Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2012 20th, IEEE, 2012;1-4
- [5] Zhou S, Jiang Y, Xi J, et al. A novel lane detection based on geometrical model and gabor filter[C]//Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010 IEEE, IEEE, 2010;59-64
- [6] 陈放.道路车道线检测识别与建图方法研究[D].上海:上海交通大学,2012
- [7] 韩月林.支持向量机在路面交通标志识别中的应用研究[D].大连:大连理工大学,2012
- [8] 方启龙.基于无人车辅助导航的交通标线识别方法研究[D].合肥:安徽大学,2012
- [9] Khan J F, Bhuiyan S M A, Adhami R R. Image segmentation and shape analysis for road-sign detection[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(1):83-96
- [10] Cao Y, Liu X, Cao Y, et al. Automatic Segmentation of Femoral Cartilage from MR Image Based on Hough Transform and Adaptive Canny Detection[J]. International Journal of Signal Processing, Image Processing & Pattern Recognition, 2013, 6(4):265
- [11] Chen W, Cao L, Xiao J, et al. Surface Texture Detection for Composite Material Placement Based on Vision[J]. Advanced Materials Research, 2011, 186:16-20
- [12] Gao J, Lei Z, Wang Z, et al. Canny-based Active Contour Accurate Locating[J]. Energy Procedia, 2011, 13:4562-4566
- [13] Ogawa K, Ito Y, Nakano K. Efficient Canny edge detection using a GPU[C]//2010 First International Conference on Networking and Computing (ICNC). IEEE, 2010;279-280
- [14] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants[J]. Information Theory, IRE Transactions on, 1962, 8(2):179-187
- [15] Wu J, Xiong S. Research of web image retrieval technology based on hu invariant moments[M]//Advances in Swarm Intelligence. Springer Berlin Heidelberg, 2012;66-73
- [16] Xiang F, Yong H, Dandan S, et al. An Image Retrieval Method based on Hu Invariant Moment and Improved Annular Histogram[J]. Electronics & Electrical Engineering, 2013, 19(10):114-118
- [17] Zhang R, Wang L. An image matching evolutionary algorithm based on Hu invariant moments[C]//2011 International Conference on Image Analysis and Signal Processing (IASP). IEEE, 2011;113-117
- [18] Li C, Li J, Fu B, et al. Fingerprint Verification Based on DFB and Hu Invariant Moments[J]. Journal of Computational Information Systems, 2012, 8(4):1407-1414
- [19] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [20] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [21] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [22] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [23] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [24] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [25] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [26] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [27] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [28] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [29] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [30] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [31] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [32] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [33] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [34] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [35] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [36] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [37] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [38] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [39] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [40] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [41] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [42] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [43] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [44] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [45] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [46] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [47] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [48] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [49] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [50] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [51] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [52] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [53] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [54] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [55] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [56] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [57] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [58] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [59] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [60] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [61] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [62] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [63] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [64] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [65] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [66] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [67] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [68] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [69] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [70] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [71] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [72] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [73] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [74] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [75] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [76] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [77] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [78] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [79] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [80] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [81] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [82] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [83] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [84] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [85] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [86] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [87] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [88] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [89] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [90] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [91] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [92] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [93] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [94] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [95] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [96] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [97] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [98] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [99] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238
- [100] 戴斌,裘伟.逆透视投影下车道偏离时间的在线估计[J].计算机工程与应用,2007,43(21):235-238

(上接第 294 页)

- [2] Ariyur K, Fregene K. Autonomous tracking of a ground vehicle by a UAV[C]//ACC. 2008;669-671
- [3] Sivakumar R, Zu W K, Raja S. Vision-Based following of structures using an unmanned aerial vehicle[R]. USA; UCB-ITS-RR-2006-1, 2006
- [4] Li Zhe-yuan, Liu Hong, Xu Chao, et al. Real-time human tracking based on switching linear dynamic system combined with adaptive Meanshift tracker[C]//2011 18th IEEE International Conference on Image Processing. 2011;2329-2332
- [5] Tian Gang, Hu Rui-min, Wang Zhong-yuan, et al. Object tracking algorithm based on Meanshift algorithm combining with motion vector analysis[C]//2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science(ETCS). vol. 1, 2009;985-988
- [6] 王晋疆,刘阳,吴明云,等.基于快速鲁棒特征的 CamShift 跟踪算法[J].计算机应用,2013,33(2):499-502
- [7] LI Yi-bo, Shen Xiao-ling, Bei Shan-shan, et al. Real-time tracking method for moving target based on an improved Cam-Shift algorithm[C]//2011 International Conference on Mech at-ronic Science, Electric Engineering and Computer. vol. 1, 2011;978-981
- [8] Huang Yi-hu, Wang Jin-li, Jia Xi-mei, et al. Research of soccer robot target tracking algorithm based on improved CamShift[C]//Advanced Polymer Science and Engineering. Advanced Materials Research, Vol. 221, 2011;610-614
- [9] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110
- [10] 赵辉.基于点特征的图像配准算法研究[D].济南:山东大学,2006
- [11] Fischler M A, Bolles R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Comm. of the ACM, 1989, 24(6):381-395
- [12] Chum O, Matas J. Matching with ProSAC-Progressive sample consensus [C]// IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005 (CVPR 2005). vol. 1, 2005;220-226
- [13] 廖斌.基于特征点的图像配准技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2008