

·测试、试验与仿真·

基于多传感器的地面移动目标识别技术研究

李伟帅,姜月秋

(沈阳理工大学 通信与网络工程中心,沈阳 110159)

摘要:在传统的地面目标识别系统上,综合运用可见光和红外传感器,开发了基于多传感器信息融合的地面目标识别系统,有效地解决了在夜晚、雨雪天气和浓烟浓雾遮挡的情况下,能够获取有效的目标信息。首先,分析研究确定对可见光图像进行高斯模板均值滤波,对红外图像进行中值滤波处理。然后运动目标检测运用了帧间差分法和背景差分法结合的检测算法。并且研究了一种基于连通域重心坐标标记的算法,并成功定位了目标区域。其次,使用Haar-like矩形特征来表达车辆,对原有特征库进行扩展,添加旋转单一矩形特征来描述车底阴影区域。最后,对传统AdaBoost算法作出了改进,成功训练出可见光和红外车辆分类器。结果证明,该系统具有一定实用价值和研究意义。

关键词:目标识别;运动目标检测;Haar-like矩形特征;车辆分类器

中图分类号:TP212.4

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2016)-03-0062-06

Research on Ground Moving Target Recognition Technology Based on Multi-sensor

LI Wei-shuai, JIANG Yue-qiu

(Communication and Network Engineering Center, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

Abstract: Based on traditional ground target recognition systems, a new ground target recognition system based on multi-sensor information fusion, using visible light sensors and infrared sensors, is developed in order to get effective target information in the cases of night, rain, snow and smog. Firstly, Gaussian template mean filter is adopted to the visible light image, and median filter is adopted to the infrared image. And then, the inter frame difference method and background difference method are combined to realize the detection of the moving target. An algorithm based on the coordinates of the center of gravity connected domain mark is presented and the target area is located successfully. Secondly, the Haar-like rectangular features are used to represent the vehicle, the original characteristics library is expanded and rotation single rectangle features are added to describe the vehicle shadow region. Finally, the traditional AdaBoost algorithm is improved and the visible light and infrared vehicle classifier is trained successfully. Experimental results show that the system has some practical value and research significance.

Key words: target recognition; moving target detection; Haar-like rectangular feature; vehicle classifier

近些年来,随着国内外学者对图像处理技术和模式识别技术的深入研究,使得利用机器视觉的方法识别地面目标(车辆、行人或人脸识别)成为了可能。在国外,Paul Viola和Michael Jones等提出了人脸检测算法,称为Viola-Jones检测器,它主要是通过AdaBoost学习算法对大量人脸图片样本的Haar-like特征进行训练形成强分类器,然后对应用场景中人

脸和非人脸做判别,取得了不错的检测效果^[1];德国大众公司的工程师T Graf对红外图像中行人目标的检测和识别进行研究,提出利用行人轮廓比例和红外图像中行人的热辐射比周围背景的热辐射高很多的特点对运动的行人进行目标检测和识别^[2]。

国内在可见光图像和红外图像方面的研究虽然起步较晚,但通过各大高校和科研机构的大力推

收稿日期:2016-06-12

作者简介:李伟帅(1991-),男,硕士研究生,研究方向为图像信息处理技术;姜月秋(1975-),女,博士,教授,主要研究方向为卫星通信和网络管理技术、信息栅格技术、故障检测及诊断技术等。

动,也获得了大量的研究成果。其中西安电子科技大学的武斌教授等,对红外图像中的运动小目标检测进行研究,提出了基于Power-Law检测器的目标检测方法^[9]。由中科院自动化所学者谭铁牛领导开发一种根据机器视觉三维建模的智能监控系统,对车辆的检测与识别做出了突出的贡献。

文中主要对可见光和红外图像中车辆目标的识别进行了研究,建立了地面目标识别系统。实验结果表明,该系统具有较好的实时性和一定的鲁棒性,研究成果对于机器学习技术在辅助驾驶和智能交通监控等领域的应用具有一定的参考价值。

1 图像预处理

地面目标的图像平滑在使用红外热像仪或是摄像机采集图像的过程中无可避免会在图像中产生噪声,所以在进行运动目标检测和特征提取之前需要对图像进行平滑处理,消除噪声。文中采用空间域平滑滤波对图像进行处理,常见的空间域平滑滤波算法主要有平均模板滤波、高斯模板滤波和中值滤波。

2 运动目标检测

一般场景下对视频序列中的运动目标进行检测,通常使用的算法有光流法、帧间差分法和背景差分法^[4]。文中采集到的红外图像常常含有一些高斯噪声,连续帧图像中的噪声相关性强,并且光流法计算比较耗时,不适合实时检测。因此,综合考虑后没有采用光流法来检测运动目标。而通过实验发现帧间差分法不能完整的提取运动目标区域,但其可以很好的将前景区域和背景区域分开;背景差分法可以较为完整的提取目标区域,但其背景模型易受光照强度和红外线反射突变影响而产生很多误检区域。从以上的分析可知,单独的使用帧间差分法或者背景差分法都不能完整的实现车辆区域的提取。因此,将结合帧差法和背景差分法,对传统运动目标检测算法做出改进从而确定检测算法。

改进的运动目标检测算法具体步骤如下:

步骤1:输入待检测的视频帧序列;

步骤2:对当前第 K 帧图像进行帧间差分法处理,即用当前图像与第 $K-5$ 帧图像做差,当 $K < 6$

时则与前一帧做差得到图像 f_1 ,标记出前景区域和背景区域;

步骤3:根据前帧图像利用混合高斯模型对背景进行建模,对当前帧图像与背景图像做差得到图像 f_2 ;

步骤4:高斯背景模型参数更新;

步骤5:将背景差分图像 f_2 与帧间差分图像 f_1 在背景区域进行“与”运算,在目标区域进行“或”运算,得到最终的输出图像 f_3 ;

步骤6:循环处理视频帧序列的每一帧图像。

结果证明,这样可以完整的提取运动目标区域,并且消除场景条件突变带来的影响。

3 运动目标的识别

3.1 运动目标的定位

检测到车辆区域后,需要对该区域进行车辆识别,即对目标区域进行定位。通过分析图像可知,车辆目标区域构成了连通域,因此文中运用了计算连通域重心坐标的方法对目标区域进行定位。

对于二值图像中的不规则连通域,用矩特征来描述,矩特征的计算公式如下

$$M_{pq} = \text{sigma}(x)\text{sigma}(y) x^p y^q f(x,y) \quad (1)$$

其中, x,y 为连通域点坐标; (x_c,y_c) 为重心坐标,则有以下计算公式

$$x_c = M_{10}/M_{00}, y_c = M_{01}/M_{00} \quad (2)$$

其中, M_{10} 表示 x 方向上一阶矩; M_{01} 表示 y 方向上一阶矩; M_{00} 表示连通域面积。计算出重心坐标后,用一个矩形将目标区域标出,以供后续的分类识别。

3.2 地面运动目标特征提取

3.2.1 Haar-like 矩形特征

通过对特征库中Haar-like矩形特征的分析对比,发现其中只有11种特征模板适合用于车辆目标识别的研究。除此之外,考虑到无论是红外图像还是可见光图像中,车辆底部通常存在阴影区域并且实际中存在一些车辆倾斜的情况,因此提出一种较为关键的矩形特征来表示该区域,称为旋转单一-矩形特征,它是用一个倾斜 45° 的单一黑色矩形表示的^[5]。

下面将介绍如何计算图像子窗口中的矩形特征数量^[6]。

对于一个由 $W \times H$ 个像素组成的图像,用 w 和 h 表示一种最小特征矩形长和宽,令 $X=[W/w]$, $Y=[H/h]$ 分别表示 $w \times h$ 大小的矩形特征在 x 方向和 y 方向的最大缩放比例,那么:

(1) 0° 倾角的矩形特征模板能够派生出来的特征数量可用式(3)计算

$$X \times Y \times (W+1-w \times \frac{X+1}{2}) \times (H+1-h \times \frac{Y+1}{2}) \quad (3)$$

(2) 45° 倾角的矩形特征模板能够派生出来的特征数量可用式(4)计算

$$X \times Y \times (W+1-(w+h) \times \frac{X+1}{2}) \times (H+1-(w+h) \times \frac{Y+1}{2}) \quad (4)$$

一般来说,特征总数远远超过像素点个数。

3.2.2 利用积分图像加速计算 Haar-like 矩形特征

由前文的分析可知,图像子窗口中存在的 Haar-like 特征数目远超像素个数,而特征值为各个矩形区域像素的加权和。为了提高效率,这里引入基于积分图的快速特征提取算法,它是由 Viola 和 Jones 提出的一种改进的 Haar-like 特征值计算方法^[7]。一幅给定的灰度图像,积分图像是指将此图像中任一像素点和图像左上角顶点所构成的矩形区域的像素值之和作为该点的值存入数组,那么在计算此图像内某个矩形区域的像素之和时,只需在数组中定位该点进行取值,而不必再次对该区域的像素和进行计算,从而减少了计算时间^[8]。

积分图像主要分为两种形式:(1) 0° 倾角积分图像;(2) 45° 倾角积分图像。

(1) 0° 倾角积分图像

对于 Haar-like 正矩形特征,积分图像定义为^[9]

$$SAT(x,y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} I(x',y') \quad (5)$$

$SAT(x,y)$ 表示图像中像素点 (x,y) 左上方的所有像素值之和,其中 $I(x',y')$ 是原图像上的一个像素值。在实际运用中,积分图像 $SAT(x,y)$ 使用增量方式计算,计算公式如下

$$SAT(x,y) = SAT(x,y-1) + SAT(x-1,y) + I(x,y) - SAT(x-1,y-1) \quad (6)$$

并且满足下式

$$SAT(-1,y) = SAT(x,-1) = SAT(-1,-1) = 0 \quad (7)$$

因此,在对积分图像进行计算时,只需按行或者列遍历图像一次求取像素和,即可得到该图像的

积分图像。

(2) 45° 倾角积分图像

对于 Haar-like 45° 倾角的斜矩形特征,积分图像可以定义为^[10]

$$RSAT(x,y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y - |x-x'|} I(x',y') \quad (8)$$

其中, $RSAT(x,y)$ 表示图像在 (x,y) 处像素点的正上方所有点的像素值之和,计算范围是从点 (x,y) 起始向正上方拓展出的一个旋转 45° 倾角的矩形区域和原始图像在该区域的相交区域。

在实际应用中 $RSAT(x,y)$ 也采用增量方式计算,计算公式如下

$$RSAT(x,y) = RSAT(x-1,y-1) + RSAT(x+1,y-1) - RSAT(x,y-2) + I(x,y) + I(x,y-1) \quad (9)$$

并且满足下式条件

$$\begin{aligned} RSAT(-1,-1) &= RSAT(x,-1) = RSAT(x,-2) = 0 \\ RSAT(-1,-1) &= RSAT(-1,-2) = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

因此,与 0° 倾角的计算方法相同,只需按行或者列遍历图像一次求取像素和,即可得到该图像的积分图像。

3.3 基于 AdaBoost 算法构建目标分类器

AdaBoost 算法是机器学习领域重要的特征分类算法,已被广泛应用于人脸检测和目标识别。它的主要原理是通过迭代的方式,对同一个训练样本集进行迭代训练,每一轮训练都形成弱分类器,然后将形成的弱分类器级联,形成最后的强分类器^[11]。

3.3.1 AdaBoost 算法

AdaBoost 算法作为 Boosting 算法的改进版本,在训练效率上与 Boosting 算法相当,但其不需要任何关于弱学习器的先验知识,因此,它更容易运用到实际的分类学习问题当中。下面就是 AdaBoost 算法的形式化描述。

给定训练集: $(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$, 其中 $y_i \in \{-1, +1\}$, 表示 x_i 的正确类别标签, $i = 1, \dots, N$ 。训练集上样本的初始分布为

$$D_1(i) = \frac{1}{N} \quad (11)$$

初始化权重为 $1/N$, 对 $t = 1, \dots, T$, 在分布 D_t 上寻找一个弱分类器满足错误率最小: $h_t: X \rightarrow \{-1, 1\}$, 其中,某弱分类器在分布 D_t 上的错误率为

$$\xi_i = P_{D_i}(h_i(x_i) \neq y_i) \quad (12)$$

通过下式计算该弱分类器的权重系数为

$$\alpha_i = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 - \xi_i}{\xi_i} \right) \quad (13)$$

更新样本权重,得到新的训练样本的分布如下式

$$D_{i+1}(i) = \frac{D_i(i) \exp(-\alpha_i y_i h_i(x_i))}{Z_i} \quad (14)$$

式中, Z_i 为归一化常数。

最后将每一轮的弱分类器级联得到强分类器为

$$H_{\text{final}}(x) = \text{sgn} \left(\sum_{i=1}^T \alpha_i h_i(x) \right) \quad (15)$$

接下来对训练误差进行分析,记误差为 $\xi_i = 1/2 - \gamma_i$, 因为弱分类器的错误率小于0.5, 所以对于 $\gamma_i > 0$ 时, 训练误差表示为

$$\gamma_{\text{tr}}(H_{\text{final}}) \leq \exp \left(-2 \sum_{i=1}^T \gamma_i^2 \right) \quad (16)$$

从式(16)可以看出, 对于 $\forall i, \gamma_i \geq \gamma_i > 0$, 则 $R_{\text{tr}}(H_{\text{final}}) \leq e^{-2\gamma^2 T}$, 说明了随着迭代训练轮数 T 的增加, 训练误差上界将不断减小。

3.3.2 改进的AdaBoost算法

通过对算法的分析可知, AdaBoost算法中如果存在大量难以分类正确的样本, 如噪声样本时, 可能会出现权重扭曲现象, 这就是为这些难以分类的样本设置了较高权值导致的, 这种现象有可能造成训练异常中断, 从而降低了算法的性能^[12]。

改进的AdaBoost算法具体步骤如下:

步骤1: 初始化权重 $\omega_i = 1/N$, 强分类器 $H(v_i) = 0, i = 1, 2, \dots, N$;

步骤2: For $t = 1, 2, \dots, T$ 次迭代训练

(1) For $m = 1, 2, \dots, M$ 特征维数迭代

① 计算分类器回归参数 a, b 和阈值 θ ;

② 计算训练样本的分错率矩阵 L ;

For end

(2) 通过拟合回归的方法使损失函数最小, 从而得到分类器参数, 训练生成弱分类器 $h_t = a\delta(x^m > \theta) + b(x^m \leq \theta)$;

(3) 对所有样本, 级联弱分类器 $H(v) = H(v) + h_t(v)$;

(4) 对所有样本生成训练样本的总分错率矩阵

$$E = \{S_1 \quad L \quad S_j \quad L \quad S_N\};$$

(5) 计算样本误差阈值 $\delta = S_{\text{MAX}} \cdot C$;

(6) 对所有样本进行过滤, 将不满足 $S_j \leq \delta$ 的样本剔除, 剩余的样本按照权值更新准则调整权值

$$\omega_i = e^{-\gamma_i H(v_i)};$$

For end

步骤3: 分类器训练结束, 得到最终的强分类器

$$H_{\text{final}}(x) = \text{sgn} \left(\sum_{i=1}^T h_i(v) \right)。$$

4 实验结果与分析

图1和图2分别为使用包含车辆目标的混入高斯噪声的可见光图像和混入椒盐噪声的红外图像进行图像平滑仿真实验, 分别使用高斯滤波算法、中值滤波算法和邻域均值滤波算法对图像进行平滑去噪处理, 通过分析比较选定适合本课题的平滑滤波算法。

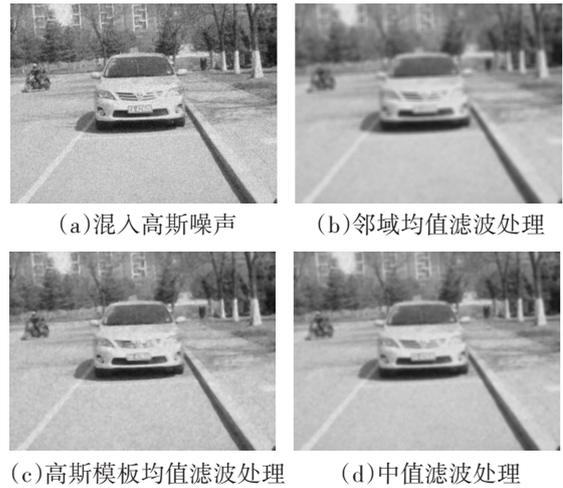


图1 可见光图像的平滑去噪

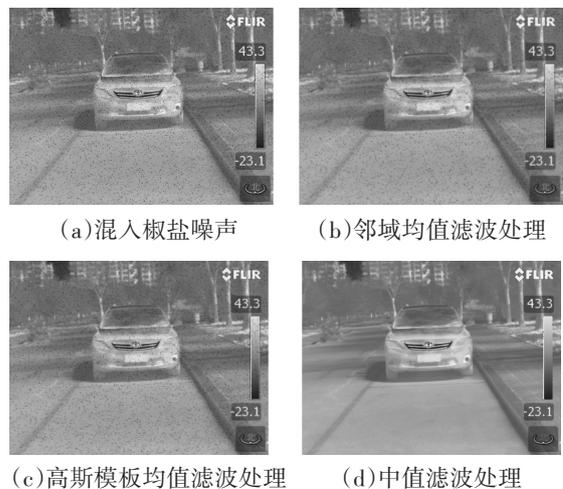


图2 红外图像的平滑去噪

从图1所示的实验仿真结果可以看出,对于混入了高斯噪声的可见光图像,使用邻域中值滤波处理后图像虽过滤了噪声但图像变得很模糊,中值滤波虽然降低了模糊程度但效果依旧一般,而利用高斯模板均值滤波处理图像还原效果最为清晰;如图2所示的对于混有椒盐噪声的红外图像来说,邻域均值滤波和高斯模板均值滤波并不能完全的过滤图像中的噪声,并且会造成图像一定程度的模糊,而中值滤波的降噪性能最好,它很好的消除了椒盐噪声,同时引起的模糊效应相对较低,均值滤波则效果很差。因此,综合考虑可见光和红外图像的特点,对可见光图像选择高斯模板均值滤波来消除噪声,而对红外图像则选择中值滤波^[13]。

图3是对采集的视频帧序列运用改进的运动目标检测算法进行仿真。

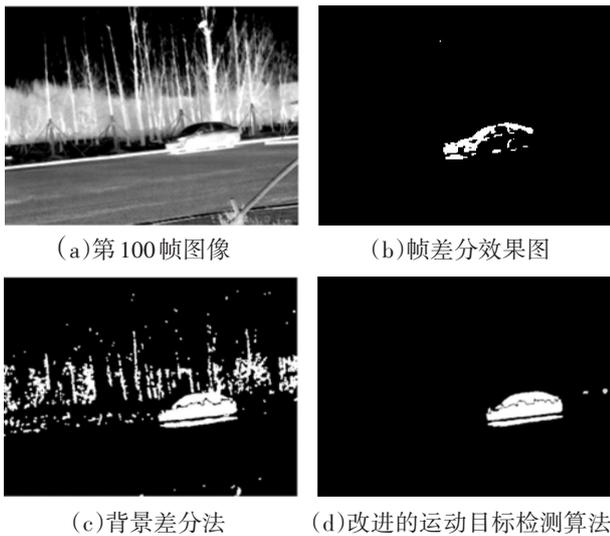


图3 改进的运动目标检测算法与传统算法对比

从图3中的检测结果可以看出,该方法可以较为完整的提取运动目标区域,解决了帧间差分法中目标区域空洞不连续的问题,同时也克服了背景差分法中由于光照强度和红外线反射突变造成的部分区域误检的问题。最后的检测结果虽然存在断裂和少许噪声干扰,但是通过一系列的腐蚀、膨胀操作可以使得目标区域构成连通域并且消除噪声点。

图4是目标定位的实验仿真效果图。

从图4中可以看出,检测到运动目标后,对图像做腐蚀、膨胀处理可使目标区域变为连通域并消除点噪声的干扰,通过重心坐标可以精确的找出目标

区域所在的坐标,根据连通域的大小可以将整个目标区域标记出来。

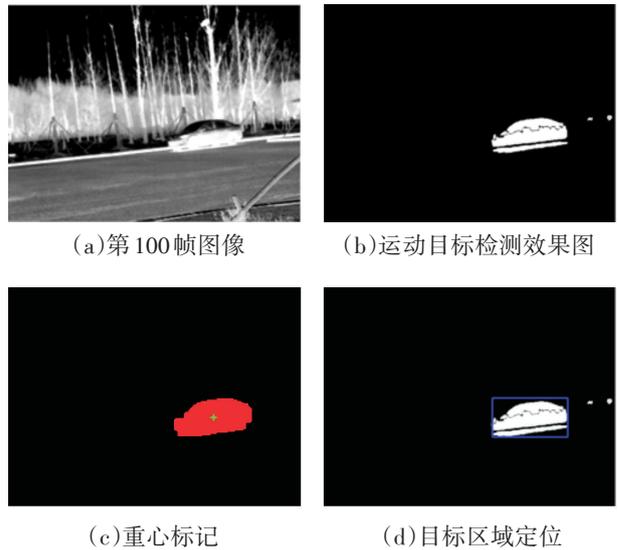


图4 运动目标定位

图5所示为选用的Haar-like矩形特征图。

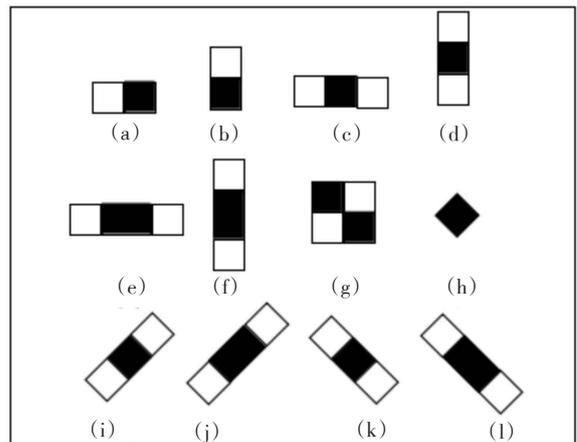


图5 选取的Haar-like特征

图6所示为正矩形的积分图像。

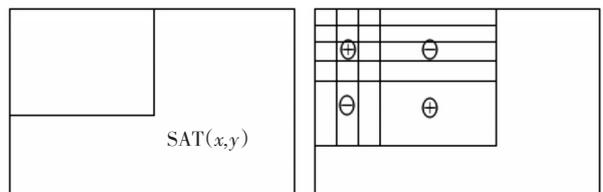


图6 正矩形的积分图像

图7所示为45°倾角旋转矩形的积分图像。

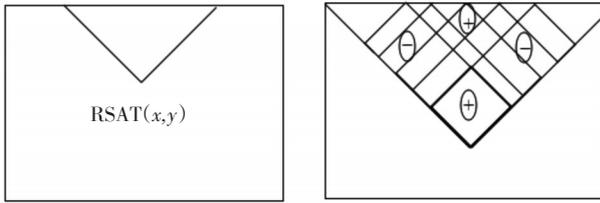


图7 45°倾角旋转矩形的积分图像

下面对地面目标识别系统的识别的部分结果进行展示,实验中采用尺寸大小为30×25的初始识别窗口在目标区域进行识别,识别过程中窗口尺寸按照1.1倍等比例放大。用来测试的图像或视频来自于网络和拍摄于校园周边公路。

图8和图9所示为基于可见光传感器的车辆识别结果展示。



图8 单个车辆目标识别结果



图9 多个车辆目标识别结果

从图8和图9的识别结果可以看出,可见光图像中被识别的车辆用红色矩形标出,无论图像中存在一辆或是多辆车,分类器基本都可以识别出公路上的常见车辆,如小轿车、公交车;当车辆距离较远时,由于其所在目标区域尺寸小于30×25所以无法识别。因此当在光线条件好的情况下,可以利用可见光传感器采集图像进行对车辆目标的识别。

图10和图11所示为基于红外传感器的车辆识别结果。



图10 单个车辆目标识别结果



图11 多个车辆目标识别结果

从图10和图11识别结果可以看出,无论图像中存在一辆或是多辆车,在较为理想的环境下分类器同样可以识别出公路上的常见车辆。

为了验证训练分类器的识别率,对测试样本库进行测试,测试样本库存在含有车辆目标的可见光图像和红外图像各300张,测试结果如表1。

表1 可见光和红外车辆分类器识别结果

图像类别	测试样本总数	成功识别数	未成功识别数	识别率/%
可见光图像	300	283	17	94.3
红外图像	300	277	23	92.3

从识别结果来看,可见光和红外图像车辆分类器的识别率分别达到了94.3%和92.3%,能够达到本课题的基本要求。为了检测系统的实时性,对含有车辆目标的可见光和红外视频序列进行测试,实验中处理一帧图像只需15ms,因此该系统满足实时性要求。通过分析可知,未成功识别主要原因是车辆距离太远造成成像目标区域太小,导致了系统漏识;除此之外,对于有重叠和严重遮挡的车辆,Haar-like特征就无法准确表述车辆,因此,系统也难以识别。

(下转第80页)

防空导弹即能实施较强的诱骗干扰,在拖曳式诱饵的工程设计时,可只针对导弹微波导引头工作频段进行处理,可简化拖曳式诱饵设计;对于被动制导的防空导弹拖曳式诱饵的诱骗作用虽不大,但通过进行合理的战术动作设计,实现对该类型防空导弹的诱骗;红外制导体制的防空导弹武器系统采用拖曳式诱饵干扰基本无作用。

文中所有相关参数均作了合理假设,对于确定型号的分析计算,文中具体参数应作针对性修改。

参考文献

[1] 卢艳龙,童中翔,于锦禄,等.拖曳式诱饵运动特性建模

与仿真计算[J].飞行力学,2010,28(5):24-26.

- [2] 胡晓楠,张建斌,赵国伟.柔性绳索在空气阻力作用下的动力学仿真研究[J].机械科学与技术,2010,29(10):1334-1337.
- [3] 侯向辉,刘晓东,饶志高,等.拖曳式诱饵释放时机和释放过程研究[J].航天电子对抗,2010,26(2):6-8.
- [4] 王万通,庞国荣.拖曳式有源雷达诱饵[J].电子对抗技术,1998,13(3):21-25.
- [5] 陈义,崔艳鹏,钟昭.有源拖曳式诱饵的干扰样式及对抗措施探讨[J].航天电子对抗,2011,27(5):10-12,60.
- [6] 孟凡斌,王佳轶,毛剑英.红外系统空间点目标探测距离测试[J].光电技术应用,2014,29(3):85-88.
- [7] 张爱华,秦武.反舰导弹靶场试验虚拟视景生成技术研究[J].光电技术应用,2015,30(2):78-82.

(上接第67页)

5 结论

文中对地面目标识别技术进行研究,以车辆目标作为研究对象,针对在夜晚、浓烟、浓雾和光照差等极端条件下可见光图像不能清晰的描述目标,而红外图像可以打破这些条件限制的情况,提出了综合运用可见光和红外传感器进行地面目标识别的方法。为了完成地面目标的识别,先分析了可见光和红外图像特性,并根据不同特性确定不同图像处理方法,运用目标检测方法缩小识别目标区域范围,并通过基于改进的AdaBoost算法和Haar-like特征生成可见光和红外车辆分类器完成对车辆目标的检测识别,并对系统的识别率和实时性进行了仿真实验。综上,该系统对于目标识别效率和精准率大大提高。

参考文献

- [1] Paul Viola, Michael J Jones. Robust real-time face detection[J]. International Journal of Computer Vision, 2004: 572.
- [2] 王玉君.基于远红外热像仪的地面机动目标识别[D].沈阳:沈阳理工大学,2015.
- [3] 武斌.红外弱小目标检测技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2009.

- [4] 张颖.基于数值形态滤波的红外目标检测技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2005.
- [5] 王海霞.基于不变矩的目标识别算法研究[D].长春:中国科学院研究生院(长春光学精密机械与物理研究所),2004.
- [6] Lienhart R, Maydt J. An extended set of haar-like features for rapid object detection[C]//2002 International Conference on. IEEE, 2002, 1: 1-900-1-903.
- [7] Vichers V E. Plateau equalization algorithm for real-time display of high-quality infrared imagery[J]. Opt Eng, 1996, 35(7): 1921-1926.
- [8] 邵平,杨路明,曾耀荣.计算旋转Harr型特征的积分图像算法改进[J].计算机技术与发展,2006(11):146-147+181.146-147+181.
- [9] 刘红雨.基于红外视频的行人检测[D].沈阳:沈阳工业大学,2012.
- [10] 文学志,方巍,郑钰辉.一种基于类Haar特征和改进AdaBoost分类器的车辆识别算法[J].电子学报,2011(5): 1121-1126.
- [11] 赵英男,杨静宇.基于Gabor滤波器和SVM分类器的红外车辆检测[J].计算机工程,2005(10):191-192+208.
- [12] 徐彤阳.基于支持向量机的车辆识别技术的研究[D].长沙:长沙理工大学,2005.
- [13] 黄力博.基于图像识别的车辆图像处理技术研究[D].武汉:武汉理工大学,2008.