

doi: 10.7690/bgzdh.2018.06.002

# 基于对称差分法和 Top-Hat 融合的红外目标检测方法

刘议聪<sup>1</sup>, 王长城<sup>1</sup>, 马婷霞<sup>2</sup>

(1. 中国兵器装备集团自动化研究所信控中心, 四川 绵阳 621000;

2. 四川华川工业有限公司技术中心, 成都 610106)

**摘要:**为解决传统帧间差分法常出现“空洞”和虚假目标、适用场景受限等缺点,提出一种七帧对称差分法和 Top-Hat 融合的新型目标检测方法。分析一般帧间差分法、七帧对称差分法、七帧对称差分法与 Top-Hat 融合的基本原理,给出算法实现流程,基于 Matlab 2010b 进行实验结果检测与分析。实验结果表明:新型检测方法具有实时性好、性能稳定的特点,能可靠地检测出目标,应用于地对空情形红外目标的检测。

**关键词:** 七帧对称差分; Top-Hat; 目标检测; 红外目标

**中图分类号:** TJ02 **文献标志码:** A

## An Object Detection Algorithm Based on a Combination of Seven-frame Symmetric Difference and Top-Hat

Liu Yicong<sup>1</sup>, Wang Changcheng<sup>1</sup>, Ma Tingxia<sup>2</sup>

(1. Research &amp; Development Center of Weapon Equipment Information &amp; Control,

Automation Research Institute of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China;

2. Technology Center, Sichuan Huachuan Industries Co., LTD., Chengdu 610106, China)

**Abstract:** In order to solve these problems that the traditional method of frame difference method often appears 'void' and false object, this paper proposed a novel method of object detection which combined 7 frame symmetric difference and Top-Hat transformation, analyzed the fundamentals of the general frame difference, 7 frame symmetric difference, combination of 7 frame symmetric difference and Top-Hat, and offered the algorithms implementing procedures. The whole experimental results of analysis are based on Matlab 2010b. The experimental results show that the method has a good real-time performance and a stable performance in object detection, and it can be applied to infrared object detection in condition of ground to air.

**Keywords:** 7 frame symmetric difference; Top-Hat; object detection; infrared object

### 0 引言

目标检测与跟踪作为计算机视觉中经典的研究内容之一,被广泛应用于探测制导、智能监控等场景。目标检测,是通过分析成像传感器获取到的场景视频图像帧,从背景信息中检测、提取、分割出运动目标,得到目标的信源特性。在光电跟踪(detect before track, DBT)领域,目标检测是其重要组成部分。现有的基于图像序列的目标检测主要有背景差分法、帧间差分法和光流法等<sup>[1]</sup>。

背景差分法<sup>[2]</sup>是运用高斯背景建模的方法建立一个背景图像,然后将当前图像帧与建立好的背景模型进行差分运算,从而检测出视频中的运动目标。该算法易于实现,但需要对背景进行建模,同时还需要图像背景的部分先验知识。光流法<sup>[3]</sup>的优点在于它能够检测出独立运动的对象,不需要预先知道

场景的任何信息,并且可用于摄像机运动的情况;但是光流法的计算相当复杂、抗干扰能力差、运算耗时长且无法满足实时性要求。帧间差分法<sup>[4]</sup>就是利用图像序列中连续的 2 帧或几帧图像的差来进行目标检测和提取。该算法优点是运算量小、速度快,且对运动物体敏感。但该方法也存在一定的缺陷,一般不能完全检测出所有相关的运动像素点,在运动目标的中间可能会产生“空洞”现象,运动目标速度过于迅速或者缓慢,都会对运动目标的检测造成影响。

为解决常用帧间差分法易出现的“空洞”与虚假目标<sup>[5]</sup>的现象,同时获取目标的准确信息,笔者将传统的帧间差分法进行了改进,并与 Top-Hat 结合,提出了一种七帧对称差分法和 Top-Hat 融合的新型目标检测方法。

收稿日期: 2018-02-22; 修回日期: 2018-03-25

作者简介: 刘议聪(1991—),男,四川人,硕士,助理工程师,从事图像处理技术与光电跟踪研究。

## 1 理论基础

### 1.1 一般帧间差分法基本原理

传统意义上的帧间差分法一般有 2 种：相邻帧间差分和连续三帧差分。

对于相邻帧间差分，设某红外图像序列为：

$$F = \{f_i(x, y), x \leq M, y \leq N, i \in N^+\}. \quad (1)$$

其中，一帧图像大小为  $M \times N$ ， $f_i(x, y)$  为图像序列中第  $i$  帧图像在  $(x, y)$  处的像素值，若定义  $D_{i-1, i}(x, y)$  为图像序列中第  $i$  帧与第  $i-1$  帧的绝对差分图像<sup>[6]</sup>，则

$$D_{i-1, i}(x, y) = |f_i(x, y) - f_{i-1}(x, y)|. \quad (2)$$

根据工程实际情况，选取适当的阈值  $T$ ，即可完成差分图像的分割与二值化。据此，差分图像可以表示为：

$$D_{i-1, i}(x, y) = \begin{cases} 1 & |f_i(x, y) - f_{i-1}(x, y)| > T \\ 0 & \text{其他} \end{cases}. \quad (3)$$

在  $D_{i-1, i}(x, y)$  中，像素值为 1 的点对应 2 帧之间发生变化的像素点，通过阈值二值化以后，该点初步被设定为目标，但具体是否为真目标，还需在后续检测步骤进行测试。

对于连续三帧差分法<sup>[7]</sup>，取当前图像帧  $f_i$  的前一帧  $f_{i-1}$  和后一帧  $f_{i+1}$  分别进行绝对差分运算，得到 2 帧差分图像  $D_{i-1, i}(x, y)$  和  $D_{i, i+1}(x, y)$ ；同样，选取适当的阈值  $T$ ，将差分图像进行阈值分割，并得到二值化图像。随后，在每一个像素位置，对 2 个绝对差二值图像  $D_{i-1, i}(x, y)$  和  $D_{i, i+1}(x, y)$  进行“与”运算：

$$B_i(x, y) = D_{i-1, i}(x, y) \wedge D_{i, i+1}(x, y). \quad (4)$$

得到对称差分结果二值图像  $B_i(x, y)$ ，即为第  $i$  帧图像中的三帧对称差分结果。

### 1.2 七帧对称差分法基本原理

由于相邻帧差分和三帧对称差分对背景模型的要求极高，最理想的情况是背景完全不动，但实际无法达到，所以检测出的目标容易出现“空洞”或虚警目标，即帧间背景无法完全消除，在差分图像中会出现残留痕迹，导致二值化后被初步判定为目标。为了在前端初步判定目标区域时，尽可能地减小虚警目标，为后续检测目标提供良好的样本，笔者提出七帧对称差分法。

在红外图像序列  $F$  中，将第  $i$  帧图像  $f_i$  ( $i \geq 4$ ) 的前 3 帧图像 ( $f_{i-3}, f_{i-2}, f_{i-1}$ ) 和后 3 帧图像 ( $f_{i+1}, f_{i+2}, f_{i+3}$ ) 分别读取出来。对于前 3 帧图像：将  $f_{i-3}$  和  $f_{i-2}$ 、 $f_{i-2}$  和  $f_{i-1}$ 、 $f_{i-1}$  和  $f_i$  3 组图像分别按照式(2)进行绝对值

差分运算；随后，选取合适的分割阈值  $T$ ，将绝对差分图像进行二值化处理，得到 3 帧二值化图像  $D_{i-3, i-2}$ 、 $D_{i-2, i-1}$ 、 $D_{i-1, i}$ ，将此 3 帧二值化图像作算术运算，得到前向 3 帧的对称差分二值化累积图像：

$$D_1 = D_{i-3, i-2} + D_{i-2, i-1} + D_{i-1, i}. \quad (5)$$

将  $D_1$  再次进行二值化后，选取适当的结构元素，对  $D_1$  进行一次闭运算操作，用以弥合由于帧间差分引起的目标区域“断裂”，得到  $D_1'$ 。对于后 3 帧图像：将  $f_i$  和  $f_{i+1}$ 、 $f_{i+1}$  和  $f_{i+2}$ 、 $f_{i+2}$  和  $f_{i+3}$  3 组图像按照前 3 帧图像相同的处理方法，得到后向三帧的对称差分二值化累积图像  $D_2$ ，二值化后并选取与  $D_1$  相同的结构元素，进行一次闭运算，得到  $D_2'$ 。最后，将二值图像  $D_1'$  与  $D_2'$  进行“逻辑与”运算，得到对称差分结果二值图像  $f_i'(x, y)$ ，即包含当前帧  $f_i$  的目标区域<sup>[8]</sup>。

### 1.3 Top-Hat 检测目标算法

Top-Hat 检测目标算法的具体实现步骤为：

1) 选取合适的结构元素  $s$ ，对当前帧图像  $f_i$  采用腐蚀运算降低图像的整体亮度，去除图像中小的亮度点；

2) 采用膨胀运算增强图像的整体亮度，同时确保之前去除的细节不被引入；

3) 从原始图像  $f_i(x, y)$  中减去开运算后的结果，得到滤波后图像  $h(x, y)$ ；

4) 根据实际工程情况，选取合适的分割阈值  $T$ ，将 Top-Hat 后的图像  $h(x, y)$  进行阈值分割并完成二值化；

5) 再次选取合适的结构元素  $s$ ，对二值化图像进行闭运算，填补阈值分割期间可能将目标“断裂”形成的沟壑，完善目标轮廓，使目标完整，得到检测结果图像  $h'(x, y)$ 。

实现 Top-Hat<sup>[9]</sup> 的数学表达为：

$$h(x, y) = f_i(x, y) - (f_i(x, y) \circ s). \quad (6)$$

Top-Hat 保持了目标边缘信息，为后续的红外目标检测提供了便利。

### 1.4 七帧对称差分法与 Top-Hat 融合

相邻两帧图像间的差分，容易将背景区域带入结果，使其与真实目标形成“鱼龙混杂”的情形。七帧对称差分法的引入，将前向 3 帧结果与后向 3 帧结果进行逻辑与运算，最大程度上减弱了背景带入目标的概率，增大了真实目标被检测的概率。但是，这并不是完全意义上的规避，如果某帧附近有

大片背景“运动”，将导致七帧对称差分法结果中大片背景与真实目标并存，同时被认为是目标。

为了规避这个问题，在七帧对称差分法处理末端，加入一种目标检测策略 A：

1) 对七帧对称差分结果，进行 8-连通分析，标注出结果图像中的目标区域；

2) 对每个目标区域进行像素值计算，得到每个目标所占的像素数，以此代表每个目标的大小；

3) 如果 8-连通分析的结果中，目标数大于或等于 2，则去除最大目标以下的目标，即仅保留最大目标作为最后检测目标。

策略 A 的使用，进一步排除了背景的干扰，保留了真实目标；但是，七帧对称差分结果中，虚假目标大小大于真实目标大小，则策略 A 将失效。

为了提取出当前帧图像的真实目标，笔者提出将七帧对称差分法与 Top-Hat 进行融合，融合策略定义为策略 B：

1) 分别计算七帧对称差分法得到目标的质心点坐标  $P(P_x, P_y)$  与 Top-Hat 提取目标的质心点坐标  $Q(Q_x, Q_y)$ ；

2) 分别计算  $P$ 、 $Q$  2 点质心坐标在俯仰和方位上的绝对差值，即计算

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= |P_x - Q_x| \\ \Delta y &= |P_y - Q_y| \end{aligned} \right\}; \quad (7)$$

3) 若  $\Delta x \geq 30$  或  $\Delta y \geq 30$ ，认为 2 种方法检测出的目标不吻合，不是同一个目标，则采用 Top-Hat 的检测结果作为当前帧图像的最后目标检测结果

$$G(x, y) = h_i(x, y); \quad (8)$$

4) 若  $\Delta x \leq 30$  且  $\Delta y \leq 30$ ，认为 2 种方法检测的目标为同一目标，则将 2 种方法检测的结果图像进行逻辑或运算：

$$G(x, y) = f_i(x, y) \vee h_i(x, y), \quad (9)$$

得到图像  $G(x, y)$  作为当前帧图像的最后目标检测结果。

## 2 算法实现流程

笔者提出的七帧对称差分法和 Top-Hat 融合的新型目标检测算法大致流程框架如图 1 所示。

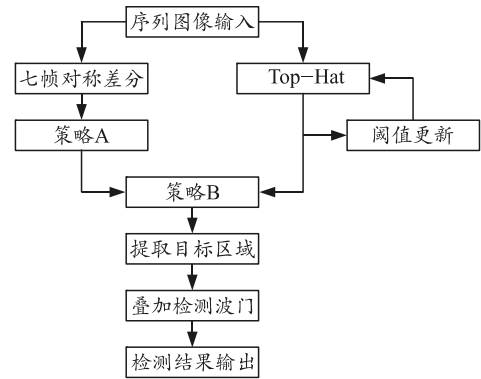


图 1 算法流程框架

## 3 目标检测结果及分析

文中算法基于 Matlab 2010b 进行实验，所用红外图像序列均来自某实验场，图像序列性质均为地对空目标，帧率为 30 fps，图像为 8 位灰度图像，每帧图像大小为  $468 \times 610$  pixel。实验将视频分为 3 组图像序列分别进行考核，第 1 组图像序列：第 5 帧～第 65 帧，该段序列中背景较为简单，目标特性较为明显；第 2 组图像序列：第 240 帧～第 300 帧，该段序列中背景较为复杂，大部分帧图像中目标处于过云状态，目标特性不明显；第 3 组图像序列：第 310 帧～第 370 帧，该段序列中为前 2 种图像序列的综合状态。每组图像序列中均有 60 帧图像。根据笔者设定的 4 组图像序列运行七帧对称差分法，利用以下图像检测的经典评估指标和图线来对该算法进行评价：

1) 真正类(true positive, TP)，表示在含有目标图像序列中检测到目标的次数，即正确检出目标次数。

2) 伪正类(false positive, FP)，表示在没有目标的图像序列中检测到目标的次数，即错检次数。

3) 伪负类(false negative, FN)，表示在含有目标的图像序列中没有检测到目标的次数，即漏检次数。

4) 真负类(true negative, TN)，表示在图像序列中把真背景判别为背景的次数，即正确检出次数。对于本文的情况而言，正确检测为目标和正确检测为背景具有同一性，即  $TN = TP$ 。

5) 真正类率(true positive ratio, TPR)表示正确地将目标判定为目标的概率，定义为

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}. \quad (10)$$

6) 伪正类率(false positive ratio, FPR)表示将

背景检测为目标的概率，定义为

$$FPR = \frac{FP}{TN + FP} \quad (11)$$

如果将每组图像序列的 FPR 和 TPR 组成一个点 (FPR, TPR)，则该点的连线即为 ROC 曲线，可用于描述目标检测结果。

### 3.1 七帧对称差分法检测结果分析

对空目标，背景较为单一，一般可以分为目标不过云和目标过云 2 种情形。下面分别针对这 2 种情况，在实验图像序列选取以下 2 帧具有代表性的图像进行性能对比显示：

实验图像序列第 265 帧，目标尚未过云，但有云层背景场景，如图 2 所示；

实验图像序列第 285 帧，目标过云，且有云层背景干扰，如图 3 所示。

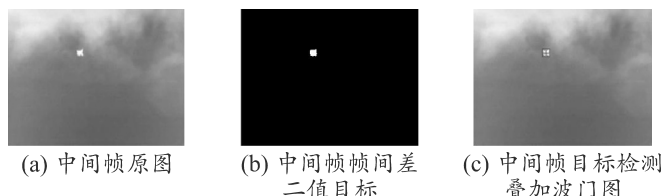


图 2 目标不过云情形下的检测效果 (第 261 帧)

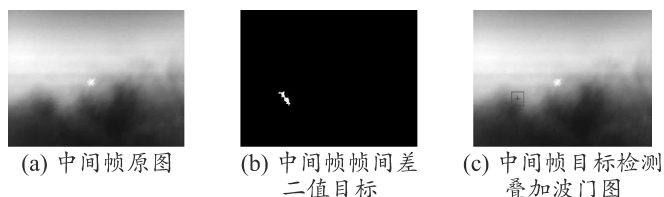


图 3 目标过云情形下的检测效果 (第 285 帧)

对于七帧对称差分算法，从图 2 和图 3 叠加检测波门结果可以看出：该算法在背景较为单纯，且目标与背景对比度较大时，可以准确并有效地检测出目标信息。一旦目标过云，此时目标几乎与背景融为一体，即此时目标与背景灰度值差别不大，背景变得复杂，算法性能下降明显。

从表 1 中第 2 组对应的数据可以看出：在目标过云期间，FN 较第 1 组明显增大，在图 4 的 ROC 曲线中，曲线也逐渐向  $y=x$  线靠拢，说明目标检测性能下降，检测错误率增大。究其原因，在目标过云期间，目标特性不明显，在合适的分割阈值下，如果仅靠帧间差分，容易将大片非目标区域引入差分图像，这将导致差分图像不纯净，虽有前后 3 帧结果的逻辑与运算，但很难完全消除非目标区域的干扰，如果此时非目标区域大于真实目标区域，通过策略 A 后，真实目标将被消除，而保留下来的是

非目标区域，这就导致了错误检测目标。

表 1 七帧对称差分法检测结果

组数	TP	FP	FN	TPR	FPR
1	60	0	0	1.000 0	0
2	55	1	5	0.916 7	0.018 2
3	59	0	1	0.983 3	0

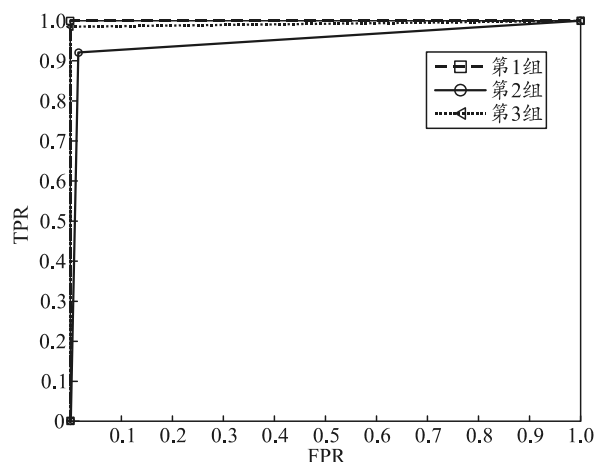


图 4 七帧对称差分法目标检测 ROC 曲线

### 3.2 七帧对称差分法与 Top-Hat 融合检测结果分析

对于七帧对称差分法与 Top-Hat 融合检测算法，从图 5 和图 6 的检测结果看，不论目标是否处于过云状态，笔者提出的融合算法均能可靠地检测出目标信息，从表 2 的 3 组图像序列检测数据看，该算法性能保持稳定，总共 180 帧图像中均未出现误检现象。在图 7 的 ROC 曲线中，均为最佳检测性能。究其原因，在于 2 种算法的融合，互补了单一算法检测的不足，并通过策略 A 和策略 B 的引入，有效地去伪存真，可靠地检测出了目标。

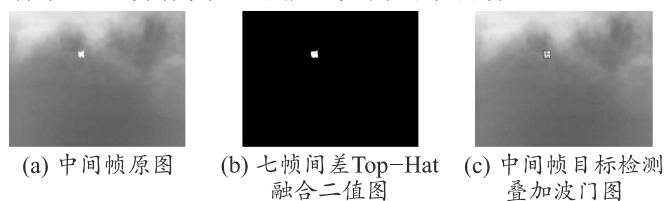


图 5 目标不过云情形下的检测效果 (第 261 帧)

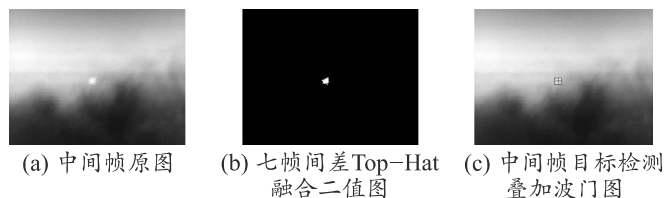


图 6 目标过云情形下的检测效果 (第 285 帧)

表 2 七帧对称差分法与 Top-Hat 融合检测结果

组数	TP	FP	FN	TPR	FPR
1	60	0	0	1	0
2	60	0	0	1	0
3	60	0	0	1	0

仪完全满足应对各种的启爆要求。并且满足了火工品的多路启爆。

### 5 结束语

笔者针对目前火工品启爆仪的缺点，提出了一种基于超级电容的火工品启爆仪。该启爆仪主要有硬件和软件 2 个部分：硬件包括主电路模块和控制模块，主要完成超级电容的充电和放电；软件主要完成对火工品起爆仪的充放电的控制和对数据进行采集与分析，是人机交互的枢纽。该装置不仅克服了传统火工品起爆仪的缺点，而且输出电压在保证火工品安全可靠启爆的前提下，使火工品启爆仪的体积、质量大大减小，同时输出电压可调。该装置具有广泛的应用前景和实用价值。

### 参考文献：

[1] 赵金芳, 程耀瑜. 火工品测试电路的设计[J]. 电子测试, 2010(10): 72-75.

[2] 孟翔宇, 戴宜霖, 徐超, 等. 一种火工品自动测试仪的设计[J]. 宇航计测技术, 2016, 36(6): 77-81.

[3] 张晶威, 孟立凡. 电容放电式火工品发火电压检测仪[J]. 电子测试, 2012(5): 80-84.

[4] 沈超, 付丽璋, 吴世通, 等. 电容放电式火工品点火电路参数设计与仿真[J]. 航天返回与遥感, 2011, 32(1): 67-73.

[5] 王广海, 李国新, 阿苏娜. 薄膜桥火工品的制备与性能研究[J]. 含能材料, 2008, 16(5): 543-546.

[6] 刘小龙, 王牧丁, 姜海坚, 等. 基于 FPGA 的智能火工品等效器设计实现[J]. 电子测量技术, 2012, 35(5): 78-82.

[7] 武杰, 陈灿辉, 朱红, 等. 高精度火工品控制电路测试方案的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(10): 3427-3429.

[8] 张晶威, 孟立凡. 电容放电式火工品发火电压检测仪[J]. 电子测试, 2012(5): 80-84.

[9] 祝逢春, 徐振相, 周彬, 等. SCB 火工品的研究与发展[J]. 爆破器材, 2003, 32(1): 18-23.

[10] 马佰振, 金凌锋, 王昊. 一种多组火工品时序电爆控制装置: CN, CN103557754A[P]. 2014.

[11] 刘灵箫, 陈建刚, 杨飞, 等. 一种火工品点火电路及装置: CN203489796U[P]. 2014.

\*\*\*\*\*

(上接第 9 页)

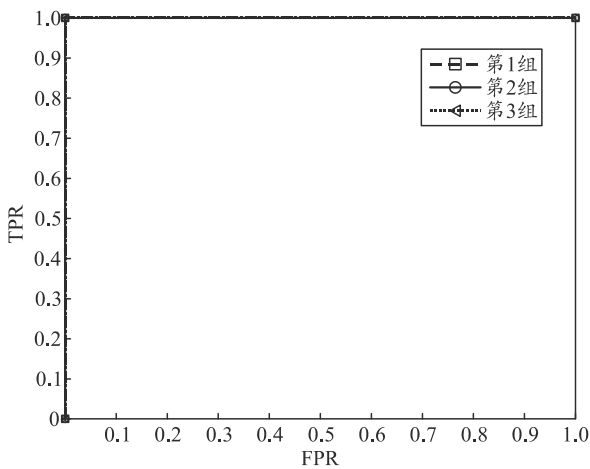


图 7 七帧对称差分法与 Top-Hat 融合目标检测 ROC 曲线

### 4 结束语

笔者提出的七帧对称差分法与 Top-Hat 融合检测算法为复杂图像序列中运动目标的检测提供了一种新的解决方法。该算法可在不同的背景复杂程度下可靠且有效地检测出目标信息，同时能较好地消除目标检测时出现的“空洞”现象，具有实时性好、性能稳定的特点，可应用于地对空情形红外目标的检测。

### 参考文献：

[1] 郝慧琴, 王耀力. 基于帧间差分和金字塔光流法的运动目标检测[J]. 电视技术, 2016, 40(7): 134-138.

[2] 李小鹏, 严严, 章毓晋. 若干背景建模方法的分析和比较[C]//第十三届全国图像图形学学术会议论文集. 北京: 清华大学出版社, 2006: 469-473.

[3] WONG K, SPETSAKIS M. Tracking based motion segmentation under relaxed statistical assumptions[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2006, 101(1): 45-64.

[4] 赵建. 基于三帧差法的运动目标检测方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013: 2-4.

[5] 张小建, 徐慧. 基于视频处理的运动车辆检测算法的研究[J]. 液晶与显示, 2012, 1(27): 108-113.

[6] 郑世友. 动态场景图像序列中运动目标检测与跟踪[D]. 南京: 东南大学, 2006: 4-7.

[7] 罗寰, 王芳, 陈中起. 基于对称差分和光流估计的红外弱小目标检测[J]. 液晶与显示光学学报, 2010, 30(6): 1715-1720.

[8] 李波, 李亚南, 李健. 基于 FPGA+DSP 架构异步 FIFO 视频图像数据采集实现[J]. 兵工自动化, 2016, 35(9): 31-34.

[9] 张铮, 徐超, 任淑霞. 数字图像处理与机器视觉—Visual C++与 Matlab 实现[M]. 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2014: 392-393.