

一种基于梯度方向信息的运动目标检测算法

孙瑾¹⁾ 顾宏斌²⁾ 郑吉平³⁾

¹⁾(南京航空航天大学信息科学与技术学院,南京 210016) ²⁾(南京航空航天大学民航学院,南京 210016)

³⁾(清华大学计算机科学与技术系,北京 100084)

摘要 运动目标检测是智能视觉监控系统的基本内容。在对现有算法分析的基础上提出了一种基于梯度方向信息的运动目标检测算法。首先利用方向信息提取视频图像序列中每一帧的边缘梯度图,然后通过改进传统帧差算法,采用 uint8 数据格式处理含有时间关系的两帧图像以此确定运动目标粗略边界,经运动目标连通域识别,最后结合梯度方向信息准确提取运动目标的完整轮廓。实验结果表明,该算法克服了传统帧差算法不能准确定位目标的缺点,在室内外复杂背景下均能准确地提取完整的目标轮廓。

关键词 智能视觉监控系统 运动目标检测 帧差 梯度

中图分类号:TP391.4 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)03-0571-09

A Gradient Direction Based Moving Object Detection

SUN Jin¹⁾, GU Hong-bin²⁾, ZHENG Ji-ping³⁾

¹⁾(College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

²⁾(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

³⁾(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Moving object detection is an important process in intelligent video surveillance systems. On the basis of analyzing existing detection approaches, this paper proposes a detection algorithm based on a gradient directions. For a video image sequence, edge gradient images of each frame are achieved firstly by means of direction. Secondly, the traditional frame difference is improved and it can extract the rough edges of moving objects by processing two temporal correlative frames using uint8 format. Finally, after connective areas of moving objects are obtained, the complete moving object contours are effectively detected using the gradient direction. Experimental results show that, the proposed algorithm overcomes the shortcoming of not correctly detecting moving objects with traditional frame difference and can effectively and accurately extract moving object contour among indoor and outdoor environments with complex backgrounds.

Keywords intelligent video surveillance system, moving object detection, frame difference, gradient

1 引言

视频序列中运动目标检测是智能视觉监控系统的首要任务和重要内容,在基于内容的视频编码^[1]、运动对象分割^[2]和运动分析^[3]等领域中也有着广泛的应用。

目前运动目标检测算法主要有光流法、背景差分法和帧间差分法。光流法计算复杂、耗时,难以满足实时性检测;背景差分法^[4,5]主要涉及背景估计和更新,定位精确,但对光照和环境变化敏感^[6],Elgamma提出了一种非参数方法^[7]估计背景概率密度函数克服上述缺点,但计算效率低^[8];帧间差分法计算简单,对运动变化区域敏感,但是检测出的物

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)项目(2007AA01Z306);国家自然科学基金委员会与中国民用航空总局联合资助项目(60776812);民航总局科技基金资助项目(E9905-MH)

收稿日期:2007-07-31; **改回日期:**2007-12-07

第一作者简介:孙瑾(1978~),女。2004年于南京航空航天大学获工学硕士学位,现为南京航空航天大学博士研究生。主要研究方向为图像处理与分析,基于图像的绘制等。E-mail:sunjnly@nuaa.edu.cn

体在运动方向上被拉伸,运动目标位置不精确^[9],部分运动目标信息被去除^[10],不能完整地提取运动目标。为此出现了许多改进算法,如结合边界信息确定运动目标法^[11],但检测结果直接受到二值化阈值影响;三帧时间差分法^[12]可以提取比较完整的目标轮廓,但由于采用动态轮廓法,计算量大且会有一帧时间的滞后。

图像边缘梯度信息计算简单,可以消除大量冗余信息,同时对噪声和环境变化不敏感^[13],且运动目标轮廓包含了运动目标的形状信息,所以有学者提出了基于梯度信息的运动目标检测算法^[9,14]。但是现有算法仅是利用梯度幅值代替灰度信息提取运动目标,依然受到阈值二值化影响,不能准确定位目标。为此针对现有帧差算法的不足提出了一种基于梯度方向信息的运动目标检测算法。首先利用方向信息获取图像边缘梯度幅值和方向信息;然后采用 uint8 数据格式对相邻 256 灰度图像帧的边缘梯度图像进行差分计算,获得运动目标的大致轮廓;进而根据高斯分布的“ 3σ ”特性识别运动目标连通域,在此基础上利用梯度方向信息进行边缘修补,获得完整的运动目标轮廓和位置。该算法继承了帧差法的优点,摆脱了二值化阈值影响,实验结果证明该算法克服了已有帧差算法不能精确确定运动目标边界的问题,提高了运动目标检测的准确性。

2 基于梯度方向信息的帧差算法

2.1 基于方向信息的抗干扰边缘梯度信息提取方法

现有的边缘检测方法无法获取梯度方向信息,而且存在各种不足,例如 Sobel 和 Prewitt 算子缺乏抗噪能力,Canny 算子计算复杂,而且针对不同的图像需要选择不同的参数。为此考虑边缘方向特性,提出一种基于方向信息的边缘提取算子(Oriented-based edge detection, OED)。

梯度方向是函数增长最快的方向,图像在边缘处的灰度值发生了突变,则在图像边缘处的梯度方向与该点灰度差值最大的方向一致,即与图像在该边缘处的切线方向垂直。OED 算子选用一个 3×3 模板,根据模板 8 个方向位置的对应灰度差值可以粗略确定边缘梯度方向,以差分近似微分定义点 (x, y) 梯度幅值为

$$G(x, y) = a \times |f(x-1, y) - f(x+1, y)| + b \times |f(x-1, y-1) - f(x+1, y+1)| + b \times |f(x+1, y-1) - f(x-1, y+1)| \quad (1)$$

式(1)假设水平方向灰度差值最大。其中, $f(x, y)$ 是点 (x, y) 的灰度值,参数 a, b 为加权值,参考一阶微分算子中处理效果较好的 Sobel 算子权重选择, a 设为 2, b 设为 1。权重的选择使式(1)对边缘走向敏感。同时根据 $f(x-1, y) - f(x+1, y)$ 的符号可以确定边缘在该像素点处的梯度方向。

上述算法依然对噪声敏感,只能得到一些候选边缘点。根据图像边缘的连续性,如果一个点是边缘点,则它和其相邻点都是边缘点。而沿任一噪声点的方向不可能找到与其灰度值和方向都相差很小的边缘点。图像边缘的切线方向指出了相邻边缘点间的相对位置关系,切线的垂直方向是图像灰阶梯度方向,通过以上算法获得的梯度方向可以作为寻找和检测真正边缘点的重要依据。根据上述分析提出以下约束条件:

(1) 相邻边缘点的灰度值相差很小;

(2) 相邻边缘点的方向夹角小于一定的阈值,即它们的灰阶梯度方向也应该小于该阈值。实验中采用 8 邻域链码,根据边缘的平滑特性,该阈值设为 90° 。

一般两个相邻点同时为噪声点的几率很小,即使同为噪声点,由于噪声点的无规律性,它们之间的夹角也很难满足要求。所以考察每个候选边缘点,若有两个以上相邻点与其的方向夹角大于阈值,就可认为是噪声点。反之若中心点 M 只与相邻点 N 的方向夹角大于阈值,那么认为该中心点 M 为边缘点,继续考察 N 与其相邻边缘点的关系进行判断。

图 1 显示了几种不同边缘算子结果,为了更清晰地表示图像边缘,对灰度级为 256 的边缘梯度图像取反,使边缘点的灰度值接近 0。可以看出 OED 算子可以提取较为清晰的图像边缘,具有一定的抗干扰能力,并且 OED 算子提供的方向信息为后继的运动目标检测提供了重要依据。

2.2 基于 uint8 数据格式的帧差算法

设 $I_k(x, y)$ 、 $I_{k-1}(x, y)$ 分别表示灰度图像序列的第 $k, k-1$ 帧,传统帧差算法中两帧之间的差分图像 $D(x, y)$ 表示如下:

$$D(x, y) = |I_k(x, y) - I_{k-1}(x, y)| \quad (2)$$

其中,对应点灰度值以实数表示。传统帧差图像中不仅包含当前帧相对前一帧的相对运动变化部分,也包含了前一帧相对当前帧的相对运动变化部分,造成了物体在运动方向上被拉伸^[10]。图 2 中 $D(x, y)$ 显示了传统帧差图像的结果,可以明显地看出,差分结果是两帧图像中运动目标的叠加。

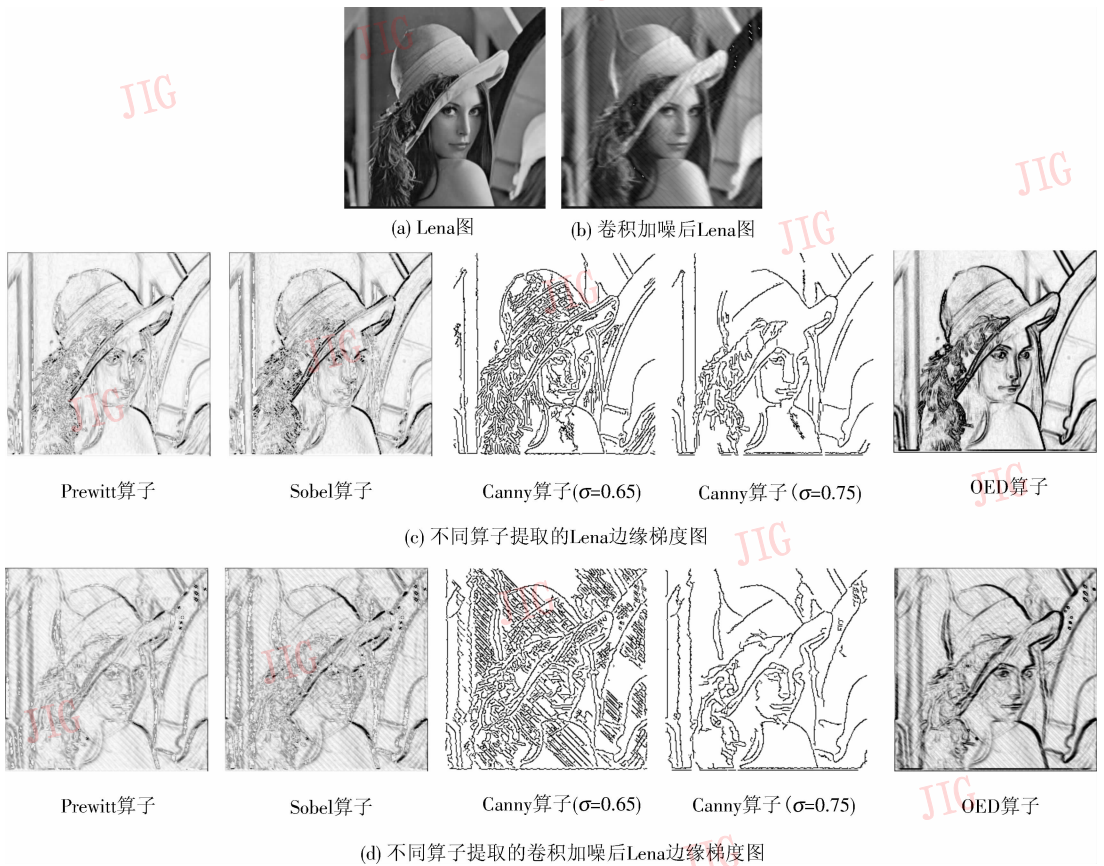


图1 不同算子提取的边缘图比较

Fig. 1 Comparison of the edge detection by different edge detectors

通常,实际监测系统中只需要检测出当前帧的运动变化区域,为此,改进帧差算法采用 256 灰度,以 uint8 数据格式(即 8 位无符号整数)表示像素点的灰度,两帧之间的差分图像 $UD(x, y)$ 表示为

$$UD(x, y) = (\text{uint8})I_k(x, y) - (\text{uint8})I_{k-1}(x, y) \quad (3)$$

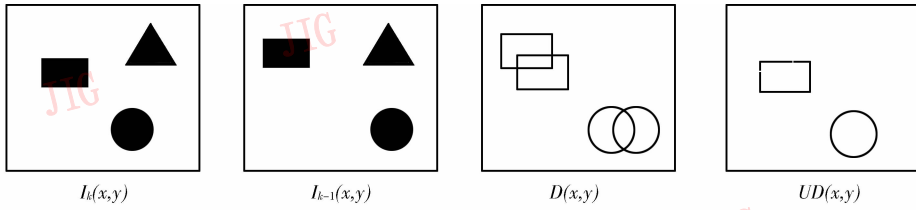
图2显示了简单和复杂背景下传统差分图像 $D(x, y)$ 与基于 uint8 数据格式的差分图像 $UD(x, y)$ 。可以明显看出, $D(x, y)$ 检测出的目标包含了前后两帧的相对运动变化边缘,比实际运动目标范围要大;而 $UD(x, y)$ 只保留当前帧相对于前一帧的运动变化部分,有效地消除了前一帧的影响,提高了当前图像帧中运动目标检测的准确性。

图1和图2为了更清晰地显示边缘提取结果而对边缘梯度图取反,实际边缘梯度信息提取过程中边缘点的灰度值接近 255。表1是对基于 uint8 数据格式的帧差算法不同情况下差分结果的分析,从中可以看出 $UD(x, y)$ 基本保留了当前

帧的相对运动目标边缘,只在情况 3、5 和 6 下,消除了当前帧与前一帧的重叠图像边缘,但是这不仅消除了背景中的相邻两帧边缘重叠点,也去除了运动目标上的重叠边缘点,造成运动目标边缘不连续,需要进行边缘修补以获取完整的目标轮廓。

2.3 运动目标区域提取与连通域识别

从表1和图2可以看出,基于 uint8 数据格式帧差算法在保留当前帧相对运动变化区域的同时,消除了两帧中的边缘重叠点。一方面有效地消除了背景中的边缘重叠点,如图2(a)中的三角形和图2(b)背景中静止汽车、建筑物边缘;另一方面也消除了运动目标的边缘重叠点,造成目标边缘的不连续性,如图2(a)矩形和圆形中的断点。为提取完整的运动目标轮廓,需对断点修补,主要是区分于背景边缘重叠点,对运动目标边缘重叠点的重新标识。为提高效率,首先提取运动目标区域,通过识别运动目标的连通域,在运动目标区域进行判断识别,获取连续边缘。



(a) 简单背景下 $D(x,y)$ 与 $UD(x,y)$ 的比较



(b) 复杂背景下 $D(x,y)$ 与 $UD(x,y)$ 的比较

图 2 $D(x,y)$ 与 $UD(x,y)$ 比较

Fig. 2 Comparison of $D(x,y)$ and $UD(x,y)$

表 1 基于 uint8 数据格式的帧差算法差分结果分析

Tab. 1 Analysis of frame difference based on uint8 format

序号	$I_k(x,y)$	$I_{k-1}(x,y)$	$UD(x,y)$	说明
1	255	0	255	当前帧为边缘点,前一帧为非边缘点,差分结果为边缘点,检测出该区域新移入目标边缘
2	0	255	0	当前帧为非边缘点,前一帧为边缘点,差分结果为非边缘点,说明目标移出该区域
3	255	255	0	当前帧和前一帧均为边缘点,说明该点为边缘重叠点,差分结果消除了重叠点
4	0	0	0	当前帧和前一帧均为非边缘点,差分结果为非边缘点,说明该区域无变化
5	200	180	20	当前帧和前一帧均趋于边缘点,差分结果趋于非边缘点,与 3 的情况类似
6	180	200	0	当前帧和前一帧均趋于边缘点,差分结果为非边缘点,与 3 的情况类似
7	20	10	10	当前帧和前一帧均趋于非边缘点,差分结果趋于非边缘点,与 4 的情况类似
9	10	20	0	当前帧和前一帧均趋于非边缘点,差分结果趋于非边缘点,与 4 的情况类似
10	200	10	190	当前帧趋于边缘点,前一帧趋于非边缘点,差分结果趋于边缘点,与 1 的情况类似
11	10	200	0	当前帧趋于非边缘点,前一帧趋于边缘点,差分结果趋于非边缘点,与 2 的情况类似

通常情况下,图像中的噪声服从高斯分布,由于服从高斯分布的随机变量之差仍服从高斯分布,所以差分图像中相对噪声区域具有相同的分布,而运动变化区域不具有此性质。根据概率论中高斯分布的“ 3σ 规则”,当差分图像中像素点的灰度值与相对噪声均值 μ 之差超过相对噪声的 3 倍方差 3σ ,则该像素点属于运动区域。即差分图像中运动变化区域像素点满足:

$$|UD(x,y) - \mu| > 3\sigma \quad (4)$$

为提高处理效率,降低噪声干扰,将整个差分图像划分为 $M \times M$ 大小子块。对于差分图像每一个子块 SD_{ij} ,计算子块功率 Es_{ij} ,即

$$Es_{ij} = \frac{1}{M^2} \sum_{(x,y) \in SD_{ij}} \sum UD(x,y)^2 \quad (5)$$

由式(4)得

$$\begin{aligned} &UD(x,y)^2 + \mu^2 - 2\mu UD(x,y) > 9\sigma^2 \\ \Rightarrow &\frac{1}{M^2} \sum_{(x,y) \in SD_{ij}} \sum UD(x,y)^2 + \mu^2 - \\ &2\mu \frac{1}{M^2} \sum_{(x,y) \in SD_{ij}} \sum UD(x,y) > 9\sigma^2 \Rightarrow \\ &Es_{ij} + \mu^2 - 2\mu \frac{1}{M^2} \sum_{(x,y) \in SD_{ij}} \sum UD(x,y) > 9\sigma^2 \quad (6) \end{aligned}$$

差分图像中相对噪声区域较大,以差分图像均值和方差近似代替相对噪声均值 μ 和方差 σ ,如果图像子块功率与平均值满足式(6),则该子块属于运动区域。

在得到运动目标图像子块后,最终需要把属于同一个运动目标的子块识别出来,即连通域的识别。

实际操作是在差分图像上进行,为显示识别的正确性和合理性,图3中将计算结果映射到当前帧上,显

示了运动目标区域提取与连通域识别的过程与结果。



图3 连通域识别与运动目标区域提取过程与结果

Fig. 3 Recognition of connection areas and extraction of moving regions

2.4 基于梯度方向信息的完整运动目标轮廓获取

得到连通的运动目标区域后,在该区域针对差分图像中运动目标边缘进行修补,从而获取完整的目标轮廓。但是获得的连通域是运动目标的外界矩形,如图3所示,其中还可能包含有背景边缘重叠点,所以对两类边缘重叠点应加以区分。

根据表1的分析,边缘重叠点的消除主要是由于前后两帧对应边缘点的梯度幅值相差很小,所以从梯度幅值无法区分出背景边缘重叠点和运动目标重叠点。从梯度方向上分析,背景边缘点属于背景中的静止物体,在前后两帧中不产生位移,所以无论是梯度幅值还是梯度方向基本上无变化。而对于运动目标边缘重叠点,是由于前后两帧运动目标不同边缘的交错而产生的,所以在梯度方向上会有差异。图4显示了图2(a)中差分图像上运动目标边缘重叠点在前后两帧中的梯度方向,很明显,在矩形和圆形两个运动目标上出现的4个运动目标重叠点在前

后两帧图像中的梯度方向上存在着明显的差异。利用这种差异性可以完全区分出两种不同的边缘重叠点,标识出运动目标边缘重叠点,最终准确完整地确定运动目标轮廓。

2.5 算法描述

总结以上讨论,本文基于梯度方向信息的运动目标检测算法概括如下:

- (1) 采用OED算子提取视频序列中每一帧的边缘梯度图像,获取梯度的幅值和方向;
- (2) 采用基于uint8数据格式的帧差算法获得当前帧相对于前一帧的相对运动边缘梯度图;
- (3) 根据概率论中高斯分布的“ 3σ 规则”提取运动目标的连通区域;
- (4) 从上到下,从左到右扫描差分图像的运动目标连通区域,对该区域内差分图像中的非边缘点在两帧图像中的梯度方向信息分别进行判断,识别出运动目标边缘点,最终获取完整的运动目标轮廓。

3 实验结果

首先以标准视频序列为对象验证本文基于梯度方向信息的运动目标检测算法的正确性和有效性,图5(a)、(b)是以智能交通车辆自动监视为应用背景,采用德国Karlsruhe大学提供的交通场景Taxi序列^[15]的第16帧和25帧,运动物体包含高速运动的汽车和行走的路人,为多运动目标检测,街道、建筑物和静止的多辆汽车组成了复杂的背景。图5(c)、

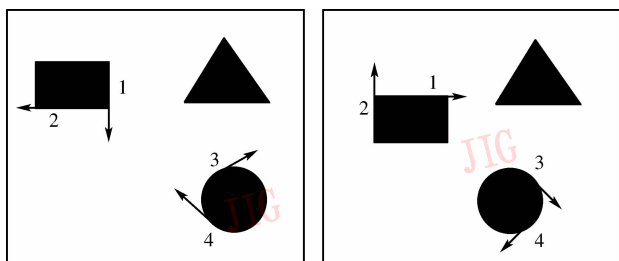


图4 运动目标边缘重叠点梯度方向说明

Fig. 4 Gradient direction of overlapping edge points of moving objects

(d) 是采用 OED 算子提取的对应边缘梯度图。图 5(e) 为采用 uint8 数据格式的帧差算法检测出的相对运动目标, 经过运动目标连通区域识别, 利用梯度方向信息得到的最终目标轮廓如图 5(f) 所示。可以看出, 图 5 中的实验结果与实际运动目标相符, 目标轮廓完整, 可以准确定位运动目标。图 6 显示室内环境下的单个目标检测过程, 其中图 6(a)、(b) 分别是 Hall monitor 序列的第 44 帧和 46 帧; 图 6(c)、(d) 为提取的对应边缘梯度图; 图 6(e) 为基于 uint8 数据格式帧差算法检测出的相对运动目标轮廓, 可以看出边缘存在缺失, 利用梯度方向信息得到的最终目标轮廓如图 6(f) 所示, 边缘缺失得到改善。上述实验结果表明本文基于梯度方向信息的运动目标检测算法对室内外复杂背景的视频序列, 单一运动目标 and 多运动目标的视频序列都可以得到较好的检测效果, 能够准确定位运动目标的外轮廓。

为视频序列添加随机噪声, 检验本文运动目标检测算法的抗噪能力。实验结果如图 7 所示, 其中, 图 7(a)、(b) 分别是添加随机噪声后的 Taxi 序列的第 16 帧和 25 帧; 图 7(c)、(d) 为 OED 算子提取的相应边缘梯度图; 由于存在噪声, 图 7(e) 中采用 uint8 数据格式的帧差算法检测出的相对运动目标轮廓模糊, 利

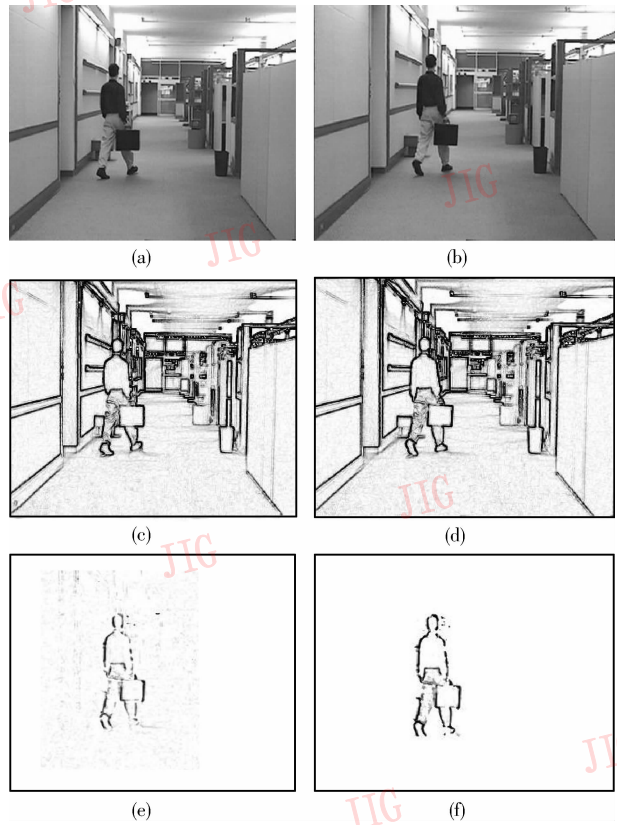


图 6 Hall monitor 序列运动目标检测
Fig. 6 Moving object detection of "Hall monitor" sequence

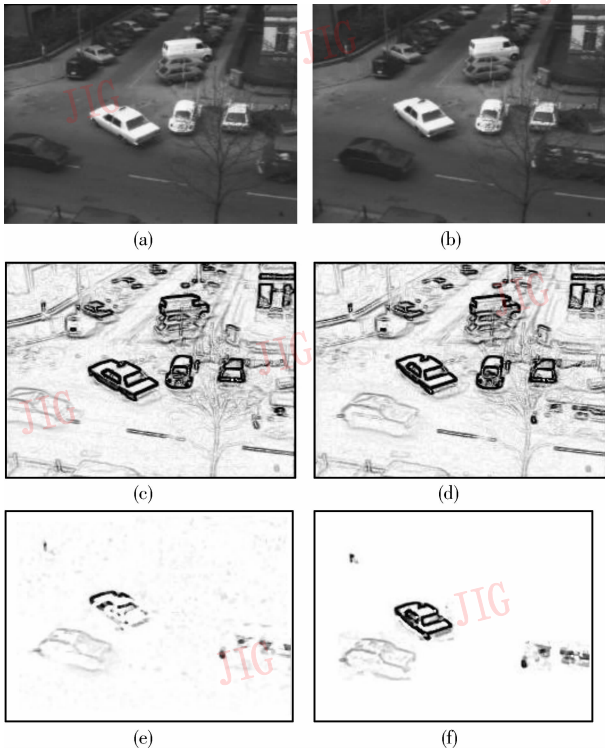


图 5 Taxi 序列运动目标检测
Fig. 5 Moving object detection of "Taxi" sequence

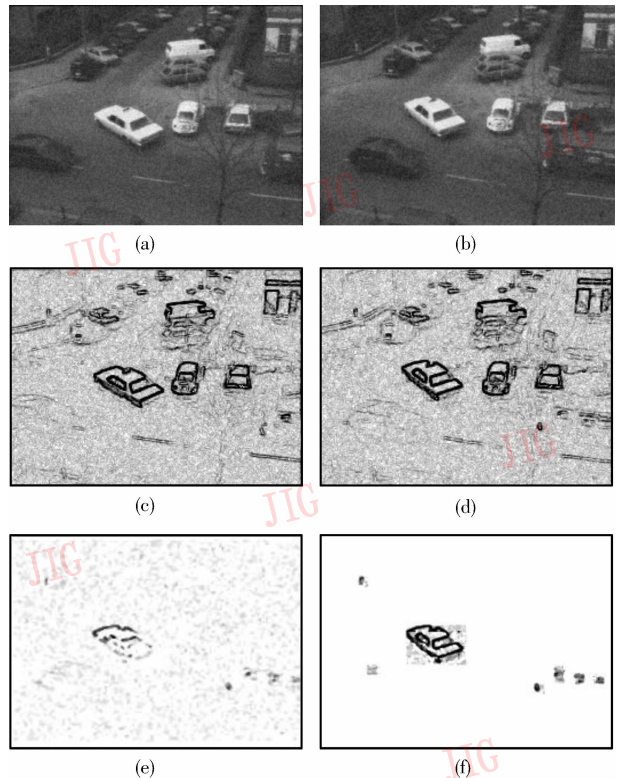


图 7 随机噪声下运动目标检测结果
Fig. 7 Detection result of sequence with random noise

用梯度方向信息进行修补后得到的最终目标轮廓如图7(f)所示,检测结果正确,说明本文的运动目标检测算法具有一定的抗噪能力。

针对交通公路视频 Karl-Wilhelm-Straße 序列^[15]中原始图像序列、加随机噪声和光照变换等情况下的图像序列,分别采用传统帧差算法^[16]、三帧差算法^[9]与本文的基于梯度方向信息的运动目标检测算法进行对比实验。为了保证可比性,3种算法都采用 OED 算子提取的边缘图像进行目标检测,利用梯度幅值代替灰度值,结果如图8所示。其中传统帧差算法和本文算法采用视频序列的第175帧和第200帧,三帧差算法采用第175、200和210帧,图8(a)分别显示了这三帧原始图像;(b)是传统帧差算法对原始图像、加噪后图像和光照改变后的图像进行检测的结果;(c)、(d)分别是三帧差算法和本文算法对上述3种情况下的目标检测结果。实验结果表明,传统帧差算法使目标在运动方向上被拉伸,无法定位运动目标;三帧差算法和本文算法检测结果相似,可以准确定位运动目标,但是从结果不难看出,本文算法检测结果更清晰,有利于目标识别与跟踪,同时本文算法只需前后两帧就可以检测出当前帧的运动目标,克服了三帧差分法(detection rate)还需要后继的一帧所造成目标检测过程的延迟,相比于三帧差分算法更具有优势。

以识别率 DR 和误检率 FAR ^[17] 对上述3种帧差算法的检测结果进行比较,识别率 DR 和误检率 FAR 计算方法如下:

$$DR = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$FAR = \frac{FP}{TP + FP} \quad (7)$$

其中, TP 表示检测到的与实际相符的运动目标数目, FP 表示误检出的非运动目标数目, FN 代表未检测出的运动目标数。

表2是3种帧差算法对 Karl-Wilhelm-Straße 序列识别率和误检率的比较结果。可以看出3种帧差

算法都可以有效检测出运动目标,但是传统帧差算法检测结果由于是两帧相对运动目标的叠加,同时受噪声影响大,所以误检率较高;三帧差分算法和基于梯度方向信息的帧差算法表现较好,但三帧差算法受阈值影响,从图8中也可以看出目标边缘时断时续,而且受背景干扰大,所以相同情况下误检率较本文算法大,而本文算法目标轮廓较为清晰完整;3种算法在噪声影响下误检率上升,但是本文基于梯度方向信息的帧差算法仍然是三者中最低的,表明本文算法具有较好的抗干扰能力。同时光照变换实验结果也证明本文算法继承了帧差算法自适应环境光线的变换,受光线影响较小的优点。

4 结 论

引入梯度方向信息,提出了一种新的运动目标检测算法,通过对比实验证明,该算法继承了已有帧差算法简单实用的特点,不易受光照环境变化的影响,同时针对已有帧差算法的不足之处,新算法具有以下优点:

(1) 已有帧差算法检测出的目标包含两帧中变化的信息,存在较多的目标点,检测出来的目标比实际目标范围大。本文算法差分后只包含当前帧的相对运动变化信息,更符合实际运动目标范围,克服了已有帧差算法不能准确定位运动目标的不足。

(2) 已有帧差算法不容易检测出两帧间目标重叠的部分。本文算法利用梯度方向信息区分背景之间和运动目标之间的边缘重叠点,基本上提取出了运动目标所有边缘,可以获取完整的运动目标轮廓。

(3) 已有帧差算法的检测结果受二值化阈值影响,为获得精确的检测结果,一般采用自适应阈值技术,增加了算法的复杂度。本文算法检测的整个过程不需要进行阈值选择,完全摆脱了二值化阈值的影响。

表2 Karl-Wilhelm-Straße 视频序列中3种帧差算法识别率和误检率结果比较

Tab. 2 Comparison of DR and FAR of Karl-Wilhelm-Straße sequence by three different frame differences

单位%

帧差算法	原始视频序列		加随机噪声后视频序列		改变光照后视频序列	
	DR	FAR	DR	FAR	DR	FAR
传统帧差算法(阈值 σ)	100	50 ($\sigma = 145$)	89.47	51.43 ($\sigma = 130$)	100	50 ($\sigma = 145$)
三帧差算法(阈值 σ)	100	9.52 ($\sigma = 110$)	100	13.64 ($\sigma = 100$)	100	9.52 ($\sigma = 125$)
基于梯度方向信息的帧差算法	100	5	100	9.52	100	5



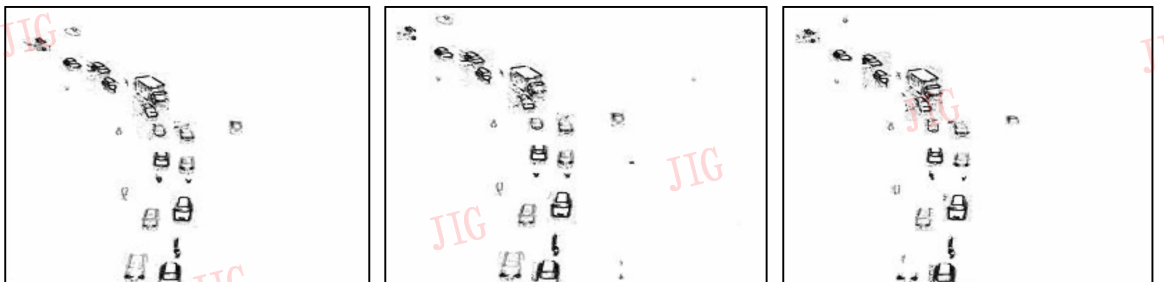
(a) Karl-Wilhelm-Strße序列中第175,200和210帧



(b) 传统帧差算法对原始图像序列、加噪后图像序列和光照改变后的图像序列进行检测的结果



(c) 三帧差分算法对原始图像序列、加噪后图像序列和光照改变后的图像序列进行检测的结果



(d) 本文基于梯度方向信息帧差算法对原始图像序列、加噪后图像序列和光照改变后的图像序列进行检测的结果

图 8 3种帧差算法运动目标检测结果比较

Fig. 8 Comparison of detection results by three frame differences

参考文献 (References)

- 1 Cavallaro A, Ebrahimi T. Video object extraction based on adaptive background and statistical change detection [A]. In: Proceedings of SPIE Visual Communications and Image Processing [C], San Jose, USA, 2001: 465 ~ 475.
- 2 Tsaig Y, Averbuch A. Automatic segmentation of moving objects in video sequences: A region labeling approach [J]. IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology, 2002, 12 (7): 597 ~ 612.
- 3 Stauffer Chris, Grimson W Eric. Learning patterns of activity using real-time tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22 (8): 747 ~ 758.
- 4 Wren C, Azarbayejani A, Darrell T, et al. Real-time tracking of the human body [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19 (7): 780 ~ 785.
- 5 Stauffer C, Grimson W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking [A]. In: Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], Fort.

- Collins, USA, 1999:246 ~ 252.
- 6 Valera M, Velastin S A. Intelligent distributed surveillance systems: a review [J]. IEE Proceedings of Vision, Image, and Signal Processing, 2005, **152**(2):192 ~ 204.
 - 7 Elgammal A, Duraiswami R, Harwood D, *et al.* Background and foreground modeling using nonparametric kernel density estimation for visual surveillance [J]. Proceedings of the IEEE, 2002, **90**(7): 1151 ~ 1163.
 - 8 Chen Rui, Deng Yu, Xiang Shi-ming, *et al.* A non-parametric foreground/background segmentation method by fusion of intensity and edge feature [J]. Journal of Computer-aided Design and Computer Graphics, 2005, **7**(6):1278 ~ 1284. [陈睿, 邓宇, 向世明等. 结合强度与边缘信息的非参数前景/背景分割方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, **7**(6):1278 ~ 1284.]
 - 9 Zhao Ming-ying, Zhao Jun, Zhao Shu-guang, *et al.* A novel method for moving object detection in intelligent video surveillance systems [A]. In: International Conference on Computational Intelligence and Security [C], Guangzhou, China, 2006, 1797 ~ 1800.
 - 10 Wei Zhi-qiang, Ji Xiao-peng, Feng Ye-wei. A moving object detection method based on self-adaptive updating of background [J]. Chinese Journal of Electronics, 2005, **33**(12):2261 ~ 2264. [魏志强, 纪筱鹏, 冯业伟. 基于自适应背景图像更新的运动目标检测方法[J]. 电子学报. 2005, **33**(12):2261 ~ 2264.]
 - 11 Shen Hai-lang, Ping Xi-jian, Zhou Li-li, *et al.* Multiple moving objects detection based on difference image [J]. Journal of Image and Graphics, 2003, **8**(特刊):702 ~ 705. [沈海浪, 平西建, 周利莉等. 一种基于差分图象的多运动目标检测方法[J]. 中国图象图形学报. 2003, **8**(spec.):702 ~ 705.]
 - 12 Yang Li, Li Yu-shan, Liu Yang, *et al.* Detection contours of multiple moving objects with complex background [J]. Journal of Electronics, 2005, **27**(2):306 ~ 309. [杨莉, 李玉山, 刘洋等. 复杂背景下多运动目标轮廓检测[J]. 电子与信息学报. 2005, **27**(2):306 ~ 309.]
 - 13 Masayuki Yokoyama, Tomaso Poggio. A contour-based moving object detection and tracking [A]. In: proceedings of IEEE International Workshop on Visual Surveillance and Performance Evaluation of Tracking and Surveillance [C], Beijing, China, 2005:271 ~ 276.
 - 14 Kiratiratanapruk K, Dubey P, Siddhichai S. A gradient-based foreground detection technique for object tracking in a traffic monitoring system [A]. In: IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance [C], Como, Italy, 2005:377 ~ 381.
 - 15 Nagel H H. Image Sequence Server [DB/OL]. http://i21www.ira.uka.de/image_sequences/.
 - 16 Ali A T, Dagless E L. Alternative practical methods for moving object detection [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing and its Application [C], Maastricht, Netherlands, 1992:77 ~ 80.
 - 17 Monnet A, Mittal A, Paragios N, *et al.* Background modeling and subtraction of dynamic scenes [A]. In: Proceedings of the International Conference on Computer Vision [C], Nice, France, 2003:1305 ~ 1312.