

文章编号: 1671-8860(2003)03-0351-03

文献标识码: A

一种改进的基于光流的运动目标的检测算法^{*}

王晓卫¹ 宁 固¹

(1 装甲兵工程学院信息工程系, 北京市丰台区杜家坎 21 号, 100072)

摘要: 讨论了序列图像的运动目标检测算法, 在传统的光流场计算方法的基础上, 提出了基于帧间差阈值法的快速光流算法。整个算法简单、有效, 保证了序列图像中运动目标跟踪的实时性和鲁棒性。试验结果验证了本方法的有效性和实用性。

关键词: 运动目标检测; 序列图像; 光流场; 目标跟踪; 运动约束方程; 差值图像

中图法分类号: TP751

运动对象检测是数字图像处理技术的一个重要组成部分, 它是计算机视觉、模式识别、目标识别与跟踪、运动图像编码、安全监控等研究领域的重点和难点, 在军事、国防和工业等领域有着广泛的应用前景。序列图像的运动分析因其巨大的应用价值而受到广泛的重视。它的基本任务是从图像序列中检测出运动信息, 简化图像处理过程, 得到所需的运动矢量, 从而能够识别与跟踪物体。众多学者及科研人员对序列图像的检测进行了大量的研究。现有的序列图像的运动目标检测可以归纳为运动能量法、背景减法、光流法和差图像法等四种。运动能量检测法适合于复杂变化的环境, 能消除背景中振动的像素, 使按某一个方向运动的对象能更加突出地显现出来, 但运动能量检测法不能精确地分割出对象; 背景减法实现简单, 并且能够完整地分割出运动对象, 对背景已知的应用, 背景减法是一种有效的运动对象检测算法, 但在背景变化或复杂的情况下, 这种方法很不完善; 差图像法利用了时空图像的灰度和梯度信息, 通过逐像素点灰度值的比较, 直接求取前后两帧图像之间的差, 进而提取运动信息。假设照明条件在多帧图像间基本不变化, 那么差图像的不为零处表明该处的像素发生了移动, 即可以将图像中目标的位置和形状的变化表现出来, 但它不能够完整地分割出运动对象, 不利于进一步的对象分析与识别; 光流法的优点在于光流不仅携带了运动目标的运动信息, 而且还携带了有关景物三

维结构的丰富信息, 它能够在不知道场景的任何信息的情况下, 检测出运动对象, 但是大多数光流法的计算耗时, 实时性和实用性都较差。

本文对运动目标的检测综合利用了光流法和差图像法, 即基于这两种方法的一种快速光流场的计算方法。它先利用帧间差阈值法获得差值图像, 然后再计算差值图像中不为零处的光流。它通过连续两幅图像作差来检测运动目标。在实际情况中, 由于光流场的不连续性及违反守恒假设条件处的光流场分布是不可靠的, 若针对差值图像中不为零处的像素来计算其光流, 其光流场的分布比计算整个运动物体的光流场要可靠得多, 这是因为它们往往对应于梯度较大的点, 而这些点处的光流场基本方程近似成立。采用了这种措施后, 可以使得计算出的光流场分布更为可靠和精确, 同时减少了计算量(因为只是计算了局部光流)。为了识别运动目标并实现对其跟踪, 人们通常采用光流场的方法, 从实时采集的含有运动目标的图像序列中抽取光流场, 筛选出光流较大的运动目标区域并计算出运动目标的速度矢量, 从而实现了运动目标的跟踪。

1 差图像法

差图像法通过连续两幅图像作差来检测运动目标。假设照明条件基本不变, 如果在图像采集装置和被摄场景间在相对运动的情况下采集一系

* 收稿日期: 2003-03-20。

项目来源: 教育部高等院校青年骨干教师基金资助项目(2001JC12)。

列图像, 则其中存在的运动信息将可以帮助对图像的分割。

设在时刻 t_i 和 t_j 采集到两幅图像 $f(x, y, t_i)$ 和 $f(x, y, t_j)$, 据此可得到差图像:

$$\Delta f(x, y) = \begin{cases} 1, & |f(x, y, t_i) - f(x, y, t_j)| > T \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

式中, T 为阈值。差图像中为 0 的像素对应在前后两时刻间没有发生(由于运动而产生的)变化的地方; 差图像中为 1 的像素对应两图像间发生变化的地方, 这常常是由于目标运动而产生的。



(a) 公路汽车运动序列图像第 1 帧



(b) 公路汽车运动序列图像第 2 帧

图 1 序列图像分析

Fig. 1 Analysis of Sequence Image

利用相减算法, 其运算速度快, 可用硬件实现。对于多目标的运动检测, 仍可采用此方法作为初始的目标检测和分割, 但必须采用更加精确的图像分割方法(如基于运动补偿的方法等)将多目标区分开来。

2 光流场的基本方程及改进算法

2.1 基本方程

光流场的计算最初是由 Horn 和 Schunck 提出的。记时刻 t 时图像上的点 (x, y) 处的灰度值为 $P(x, y, t)$; 在时刻 $t + \Delta t$ 时, 这一点运动到 $(x + \Delta x, y + \Delta y)$, 于是 $t + \Delta t$ 时图像上点的灰度值可记为 $P(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t)$, 假定它与 $P(x, y, t)$ 相等, 即

$$P(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) = P(x, y, t)$$

将左边在 (x, y, t) 点用泰勒公式展开, 经化简和略去二次项, 得:

$$\frac{\partial P}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{\partial P}{\partial y} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t} + \frac{\partial P}{\partial t} = 0$$

记

$$u(x, y, t) = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt};$$

当然, 也可以采用连续三帧图像提取运动目标, 这时判断一个像素点是否属于运动物体的原则如下:

$$\Delta f(x, y) = \begin{cases} 1, & |f(x, y, t) - f(x, y, t-1)| > T \text{ 且} \\ & |f(x, y, t+1) - f(x, y, t)| > T \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

T 的取值由经验来定, 且它们对结果的影响至关重要。经过比较测试, 选取阈值 T 为 9, 在对公路上采集到的图像序列(图 1)进行试验时, 就能得到很好的差值图像(图 2)。

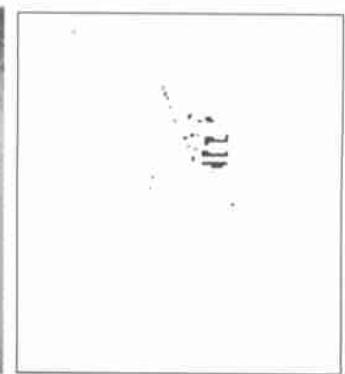


图 2 差值图($\tau = 20$)

Fig. 2 Difference Image

$$v(x, y, t) = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{dy}{dt}$$

并称 (u, v) 为光流场, 则有:

$$\frac{\partial P}{\partial x} \cdot u + \frac{\partial P}{\partial y} \cdot v + \frac{\partial P}{\partial t} = 0$$

但在实际应用情况中, 光流场的基本方程的灰度不变假设条件往往不能满足, 如遮挡性、多光源和透明性等原因。只有当灰度的梯度很大时, 基本方程才成立。对于用帧间阈值法获得的差值图像中不为零的像素点, 它往往对应于灰度的梯度较大点, 故采用帧间阈值法和光流场计算相结合的计算方法将使得计算出的光流场分布更为准确和有效。根据 GDIM 模型 (generalized dynamic image mode), 则有灰度不再保持恒定, 而是变化的, 改进的光流场方程可以表示为:

$$\frac{\partial P}{\partial x} \cdot u + \frac{\partial P}{\partial y} \cdot v + \frac{\partial P}{\partial t} = \Delta P$$

式中, $\Delta g = \frac{\partial P}{\partial x} \cdot u + \frac{\partial P}{\partial y} \cdot v$ 为几何分量(也即运动物体的速度), ΔP 是照度分量, 其比值 $\Delta g / \Delta P$ 可作为它们之间相对强弱的参数。若该比值比较大, 则可以认为估计出的速度分量较为准确, 因此可用 $\Delta g / \Delta P$ 的比值来约束光流场的分布。为了准确地求出光流场的分布, 人们在基本光流场方

程基础上提出了很多约束条件和计算方法, 如微分法、匹配法、频域法和马尔可夫随机场方法等。在实际计算中, 基于微分的 Horn 和 Schunck 方法用得很多。

2.2 Horn 和 Schunck 的运动约束方程

Horn 和 Schunck 根据同一个运动物体引起的光流场应是连续的、平滑的, 提出了如下的加在光流场 $[u \ v]^T$ 上的附加约束, 即要求

$$E_s = \iint \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy$$

尽可能小。

另一方面, 由基本等式, 当然要求

$$E_c = \iint \left[\frac{\partial P}{\partial x} u + \frac{\partial P}{\partial y} v + \frac{\partial P}{\partial t} \right]^2 dx dy$$

尽量小, 于是 Horn 和 Schunck 将光流场 u, v 的计算归结为求如下的变分问题的解:

$$E_c = \iint \left[\frac{\partial P}{\partial x} u + \frac{\partial P}{\partial y} v + \frac{\partial P}{\partial t} \right]^2 dx dy + \lambda \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy = \min$$

式中, λ 是一参数, 它决定了上述两种误差(偏离光滑性要求的误差 E_s 和基本等式的误差 E_c)之间的相对权重。当图像灰度值的测量是精确的, 则 E_c 应给以更大的重视, 这时 λ 的值可以取得大一些。反之, 若图像灰度值的灰度值的测量中含有很多的噪声, E_c 这一项本能反映基本等式的实际偏离情况, 可取较小(小于 1)的值。

在实际情况中, 由于光流场的不连续性以及其违反守恒假设条件的光流场分布是不可靠的, 若针对差值图像中不为零处的像素来计算其光流, 其光流场分布较之计算整个运动物体的光流场要可靠得多。这时, 因为它们往往对应于灰度梯度较大的点, 而这些点的光流场基本方程近似成立, 采用这种措施以后, 可使得计算出的光流场分布更为可靠和精确, 同时也减少了计算量(这是因为不必计算整幅图像, 只需计算差值图像中不为零处的光流场分布)。

3 计算结果

为了比较该算法, 采用了序列图像, 如图 1 所示, 图像均为 352 像素 \times 240 像素、8 位灰度图像。实现该快速算法的步骤如下。

- 1) 用中值滤波对图像进行预处理;
- 2) 采用帧间差阈值法求出差值图, 如图 2 所示;
- 3) 求出差值图中不为零处的光流分布;

4) 求出运动目标的平均光流场分布。

当知道光流场的分布时, 采用统计误差参数——运动目标的平均光流场分布, 但对于实际图像序列, 由于不知道光流场的具体分布, 采用 DFD (displaced frame difference) 统计误差参数是一种很好的选择(采用 DFD 方法可以简化计算, 减少计算量), 可定义为:

$$DFD = P(x, y, t) - P(x + (d_x(x, y), y) + (d_y(x, y), t) + 1)$$

本文采用的是平均 DFD 统计误差参数。对于运动序列图像, 提出的算法采用了光流场的基本方程和改进的光流场基本方程来求解运动物体的光流场分布。为了比较该算法的优劣, 与 Horn 和 Schunck 提出的基于微分的光流场计算方法进行了比较, 计算结果如表 1 所示。

根据表 1 的试验数据可知, 采用本文算法的光流平均 DFD 统计参数比单纯采用光流场的方法要小, 并且运算速度快, 故本文使用的快速光流算法优于单纯用光流场的计算方法。

表 1 快速光流场计算方法的统计误差参数比较

Tab. 1 Contrast of Statistic Error Parameter

Using Fast Optical Flow Method

光流场计算方法	实际图像序列 DFD (统计误差参数)
快速算法+基本光流方程 ($T=9.0, \lambda=1.0$)	2.4
快速算法+改进光流方程 ($T=9.0, \lambda=1.0, \gamma=1.0$)	2.6
Horn 和 Schunck ($T=5.0$)	2.9

参 考 文 献

- 1 高文, 陈熙霖. 计算机视觉——算法与系统原理. 北京: 清华大学出版社, 2001. 83~100
- 2 Barron J, Fleet D, Beauchemin S. Performance of Optical Flow Techniques. International Journal of Computer Vision, 1994, 12(1): 42~77
- 3 Basile B, Deriche R. Region Tracking Through Image Sequences. Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision, 1995. 302~307
- 4 Enkelmann W. Investigations of Multigrid Algorithms for the Estimation of Optical Flow Fields in Image Sequences. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1998, 43: 150~177

第一作者简介: 王晓卫, 硕士生。研究方向: 数字视频处理

E-mail: juntaos@163.com

(下转第 362 页)

Tobacco Grading Based on Image Features

ZHANG Huimin¹ HAN Liquan² DUAN Zhenggang²

(1) Information Engineering Department, Armored Force Engineering Academy, 21 Dujiaokan, Beijing, China 100072)

(2) Information Engineering Institute of BTBU, 11 Fucheng Road, Haidian, Beijing China 100037)

Abstract: This paper discussed the model and implementation of a tobacco grading system based on image features. We proposed the mathematical description of the grading model, and discussed the optimization of the model base and the calculation of the membership of the features and the confidence of the tobacco pattern. The experimental results shows the performance and efficiency of the FTGS.

Key words: image recognition; fuzzy classification; membership; confidence

About the first author: ZHANG Huimin, Ph. D candidate. His major studies are image processing, pattern recognition and computer vision. E-mail: ice_zhang@263.net

(责任编辑: 晓晨)

(上接第 353 页)

A Modified Object Tracking Algorithm Based on Optical-Flow

WANG Xiaowei¹ NING Gu¹

(1) Information Engineering Department, Armored Force Engineering Academy, 21 Dujiaokan Road, Beijing, China, 100072)

Abstract: This paper presents a new method for the detection of moving targets from image sequence. Some modification are made to the traditional method based on optical flow field. This method of object detection is simple and efficient. Experiment results are given to demonstrate the effectiveness and practicality of the method.

Key words: moving targets detection; image sequence; optical flow field; object tracking; image segmentation motion constraint equation; difference image

About the first author: WANG Xiaowei, postgraduate. Her major research is on digital video processing. E-mail: juntaos@163.com

(责任编辑: 晓晨)