

一种新型的实效运动目标检测方法^①

王红茹, 季 鸣

(江苏科技大学 机械工程学院, 镇江 212003)

摘 要: 提出一种新型的帧间差分光流的运动目标检测方法. 该方法通过改进七帧差分和改进背景减除消除运动目标检测时出现的“空洞”和虚假目标; 通过在光流计算方程加入权函数和引入通用动态图像模型建立新的光流约束条件, 以解决常用光流场计算耗时长和亮度变化引起的约束方程不成立的问题, 同时获取运动准确信息; 最后通过阈值分割和形态学处理完成对目标的分割. 实验对比分析表明, 该方法能实现运动目标的准确快速检测与分割.

关键词: 运动目标检测; 七帧差分; 背景减除; 光流场; 通用动态图像模型

Novel and Efficient Moving Target Detection Method

WANG Hong-Ru, JI Ming

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: A novel and efficient moving target detection method is proposed. The method by improving the seven-frame difference and background subtraction to eliminate the moving object detection of "empty" and false targets. Through the optical flow computation model for the weight function and the introduction of universal dynamic image model to establish a new optical flow constraints, it can solve common optical flow field calculation time-consuming and the unestablished problem caused by brightness changes of constraint equation, and also obtain accurate information campaign; Finally, threshold segmentation and morphological processing is completed to extract the target. Analysis indicate that the proposed method can detect and segment the moving target accurately and fastly.

Key words: moving target detection; seven frame difference; edge extraction; optical flow field; general dynamic image mode

运动目标检测一直是视频序列分析的重点和难点. 运动目标的准确检测有助于目标特征提取、目标的分割与分类、跟踪等后续处理过程中的精确度. 它的技术发展和应用前景受到广大研究者的关注. 运动目标分割与检测, 是从图像序列中获得目标的运动信息, 并将其从图像提取出来. 常用的运动目标检测方法主要有背景减除法^[1-3]、帧差分法^[4-6]、光流场法^[6-9]等几种. 背景减除法是利用当前图像与预存的背景图像作差分, 再利用阈值来检测运动区域的一种动态目标分割技术. 该算法简单、易于实现, 适用于背景已知的情况, 但一旦实际背景发生变化就会影响检测效果. 光

流场方法是利用相邻两帧中对应像素的灰度保持原理来评估二维图像的变化. 该方法支持摄像机运动情况, 可以得到完整的二维图像运动信息, 能够较好的从背景中检测到相关前景目标, 但是运算复杂, 实时性差, 在智能车辆针对行人的检测^[10]、无人武器系统针对运动目标检测^[11]和实时智能监控^[12]等应用中, 对检测的实时性要求很高. 帧差分法就是利用视频序列中连续的两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^[13]. 但在相邻帧差分法的检测运动目标时, 存在目标重叠不易检测出来, 导致检测到的目标易出现“空洞”^[14,15]和虚

① 基金项目:江苏科技大学高级人才项目(35020902)

收稿时间:2015-04-09;收到修改稿时间:2015-05-07

假目标的现象。

为解决运动目标检测中的“空洞”和虚假目标的问题,提出一种基于改进七帧差分和改进背景减除的运动目标检测方法;为解决常用光流场计算耗时长和亮度变化引起的约束方程不成立的问题,同时获取运动准确信息,本文提出一种改进差分和改进光流的运动目标检测方法,在光流计算方程加入定义权函数,同时在光流计算时引入通用动态图像模型建立新的光流约束条件。

1 算法原理

1.1 预处理

首先从采集的室内或室外视频中提取连续七帧彩色图像转化为灰度图像后进行中值滤波,最后通过直方图均衡化完成预处理。这样做可以提高处理效率,也可以降低图像中的噪声,同时使图像轮廓变得清晰,提高抗干扰能力。

1.2 最大类间方差法

最大类间方差法^[16](简称 OTUS)是一种自适应的阈值确定方法。它是按图像的灰度特性,将图像分成背景和目标两部分。背景和目标之间的类间方差越大,说明构成图像的两部分的差别越大,当部分目标差分为背景或部分背景差分为目标都会导致两部分差别变小。因此,使用类间方差最大的分割意味着错分概率最小。该方法计算简单,受图像变化影响较小。

1.3 改进差分算法

1.3.1 帧间差分法基本原理

设 f_k 和 f_{k-1} 分别为时刻 k 和时刻 $k-1$ 采集到的两幅图像,据此可以得到差分图像为

$$D_x(x, y) = \begin{cases} 1 & |f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y)| > T_1 \\ 0 & \text{(其他)} \end{cases} \quad (1)$$

式中, T_1 为连续两幅图像帧间差分的阈值,差分图像中取值为0的像素对应两图像间没有发生运动的位置,差分图像中值为1的像素对应两图像间发生变化的位置,这样就检测到目标的运动。也可以利用连续三帧图像来提取运动目标,这时判断一个像素点是否属于运动物体的原则如下:

$$D_k(x, y) = \begin{cases} 1 & |f_{k-1}(x, y) - f_{k-2}(x, y)| > T_2 \\ & |f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y)| > T_2 \\ 0 & \text{(其他)} \end{cases} \quad (2)$$

在运动的检测过程中,该方法利用时间信息,通过比较图像中若干连续帧获得对应像素点的灰度差值,如果均值大于连续三幅图像帧间差分的阈值 T_2 ,则可以判断该位置存在运动的目标。

1.3.2 改进七帧差分法原理

选取第1帧和第2帧,首先计算这两帧图像的绝对值差分图像,再通过一个灰度变换后进行二值化,得到一帧二值图像;同样的方法,第2帧和第3帧,第3帧和第4帧,各自分别计算得到一帧二值图像,这样一组二值图像通过算术加运算后进行二值化,得到一帧包含运动目标区域的二值图像。同样选取第4帧到第7帧重复上面的运算操作,也可以得到一帧包含运动目标区域的二值图像。将这两帧二值图像进行逻辑与运算,提取出第4帧中运动目标的区域。

选取的第一帧和第二帧图像计算绝对值差分得到图像 $D_1(1,2)$ 。

灰度变换函数中,假设为输入图像, $g(x, y)$ 为输出图像, T 是在点 (x, y) 的一个指定的对图像 f 进行处理的算子。其表达 $f(x, y)$ 式如下:

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (3)$$

本算法中的灰度变换是将图像 $D_1(1,2)$ 中的灰度值映射为图像 $I_1(x, y)$ 中的新值,然后通过最大类间方差法得到合适的阈值完成图像二值化。同样,选取第二帧和第三帧图像,用上述方法得到图像 $I_2(1,2)$;依次类推,第三帧到第七帧图像同样可以得到 $I_3(1,2)$ $I_4(1,2)$ $I_5(1,2)$ $I_6(1,2)$ 。令前三帧二值化图像和后三帧二值图像分别计算加运算得到 I_{m3} 和 I_{n3} 。将得到的二值图像再按照上述的方法完成阈值选择和二值化同样得到两幅二值图像,通过逻辑与运算提取出第四帧图像的运动区域。

1.4 改进背景减除法

选取第四帧图像和背景帧进行差分得到图像 I_{s1} ,然后进行边缘提取检测运动目标的边缘,最后完成二值化处理,通过改进的背景减除法提取出第四帧的运动区域。

本文的边缘检测算子选用 Sobel 算子^[17],因为 Sobel 算子锐化的边缘信息较强,运算复杂性低,可以满足实时性要求。其基本原理:适当选取阈值 M ,作如下判断:若 $S(i, j) > M$,则 (i, j) 为边缘点。 $\{(i, j)\}$ 为边缘图像,由于数据溢出的关系,这种边缘图像通常不

直接使用,而使用的则是由边缘点与背景点构成的图像,故它为二值图像。Sobel算子通过定义可以利用两个方向模板与图像进行邻域卷积来完成的算子的边缘检测。这两个方向模板一个检验水平边缘,一个检验垂直边缘。对于一副图像它的边缘图像为:

$$f(x, y) = |f_x(x, y) * W_1| + |f_y(x, y) * W_2| \quad (4)$$

其中,水平 W_1 和垂直模板 W_2 分别为:

$$W_1 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad W_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1.5 改进光流算法

1.5.1 基于梯度光流场算法

该算法是根据运动前后图像灰度保持不变这个基本假设,导出光流约束方程。图像上点 $m = (x, y)$ 在时刻 t 的灰度值为 $I(x, y, t)$,经过 dt 时间后对应点的灰度为 $I(x + dx, y + dy, t + dt)$,当 $dt \rightarrow 0$ 时可以认为两点的灰度不变。在这种假设条件下得到的光流约束方程,计算出来会包括 u 和 v 两个未知量,显然由一个方程并不能唯一确定 u 和 v ,产生了孔径问题^[7]。

为了解决孔径问题,必须寻找新的约束。1981年Horn & Schunck提出了光流的平滑约束,即:图像上任一点光流并不是独立的,光流在整个范围内平滑变化。

该平滑性约束项为极小化:

$$E_s = \iint (u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) dx dy \quad (5)$$

利用松弛迭代方程进行求解可得:

$$u^{(k+1)} = \bar{u}^{(k)} - I_x \frac{I_x \bar{u}^{(k)} + I_y \bar{v}^{(k)} + I_t}{\lambda^2 + I_x^2 + I_y^2} \quad (6)$$

$$v^{(k+1)} = \bar{v}^{(k)} - I_y \frac{I_x \bar{u}^{(k)} + I_y \bar{v}^{(k)} + I_t}{\lambda^2 + I_x^2 + I_y^2} \quad (7)$$

其中, $u = dx/dt$ 和 $v = dy/dt$ 分别代表 x, y 方向上的光流; $I_x = \partial I / \partial x$, $I_y = \partial I / \partial y$, $I_t = \partial I / \partial t$ 分别代表图像灰度相当于 x, y 和 t 的偏导; k 是循环数; $u^{(0)}$ 和 $v^{(0)}$ 是光流的初始估计值,可以取为0; $\bar{u}$ 和 $\bar{v}$ 是局部平均; λ 为权重系数,由导数求取的精确度确定。

1.5.2 改进光流算法的原理

Horn & Schunck光流算法在某些点处的光流并不是很合理,尤其在图像中运动目标的轮廓处,运

动处于一种模糊的状态,不能确定,因此在轮廓处的光流也是不确定的。本文基于该点对光流基本算法进行改进,即只在灰度梯度大于某个阈值的点才进行Horn & Schunck光流算法,其它点采用迭代平滑得到。

对于一般场景,基本等式只有在图像中灰度值较大的点处才近乎成立。因此,为了增强算法的稳定性和精确性,本文仅在梯度值较大的点处才使用基本等式提供的约束,而在梯度值较小的点只使用平滑性的约束。即定义权函数:

$$w(x, y) = \begin{cases} 1, & I_x^2 + I_y^2 > T \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

Horn附加约束条件的基本思想是要求光流本身尽可能平滑,即引入了对光流的平滑性约束使平滑约束项。即极小化 E_s 尽可能的小。另一方面,由基本等式,当然要求极小化 E_c :

$$E_c = \iint [I_x u + I_y v + I_t]^2 dx dy \quad (9)$$

尽量小,于是将光流场的计算归结为如下的变分问题的解:

$$\iint [\lambda^2 (u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) + w(x, y) (I_x u + I_y v + I_t)^2] dx dy = \min \quad (10)$$

其中, λ 是一参数,它决定了上述两种误差之间的相对权重。

相应地,计算光流场的迭代公式改为:

$$u^{(k+1)} = \bar{u}^{(k)} - I_x \frac{I_x \bar{u}^{(k)} + I_y \bar{v}^{(k)} + I_t}{\lambda^2 + I_x^2 + I_y^2} \bullet w \quad (11)$$

$$v^{(k+1)} = \bar{v}^{(k)} - I_y \frac{I_x \bar{u}^{(k)} + I_y \bar{v}^{(k)} + I_t}{\lambda^2 + I_x^2 + I_y^2} \bullet w \quad (12)$$

其中 k 是迭代次数, u^0 和 v^0 是光流的初始值,一般取为零。当相邻两次迭代结果的距离小于预定的某一个值时,迭代过程终止。在以上公式中,如果 $I_{i, j, k}$ 表示图像在 (x, y, t) 点的强度 $I(x, y, t)$, $I_{i+j+k+1}$ 表示图像在 $(x, y, t+\delta t)$ 点的强度 $I(x, y, t+\delta t)$,那么 I_x, I_y 和 I_t 可由下列近似计算:

$$I_x = \frac{1}{4} \{ I_{i, j+1, k} - I_{i, j, k+1} + I_{i+1, j, k} - I_{i, j, k} + I_{i, j+1, k+1} - I_{i, j, k} + I_{i+1, j, k+1} - I_{i, j, k} \} \quad (13a)$$

$$I_y = \frac{1}{4} \{ I_{i+1, j, k} - I_{i, j, k} + I_{i+1, j+1, k} - I_{i, j+1, k} +$$

$$I_{i+1, j, k+1} - I_{i, j, k+1} + I_{i+1, j+1, k+1} - I_{i, j+1, k+1} \} \quad (13b)$$

$$I_t = \frac{1}{4} \{ I_{i, j, k+1} - I_{i, j, k} + I_{i+1, j, k+1} - I_{i+1, j, k} +$$

$$I_{i, j+1, k+1} - I_{i, j+1, k} + I_{i+1, j+1, k+1} - I_{i+1, j+1, k} \} \quad (13c)$$

1.5.3 动态图像模型用于改进的光流法

在实际应用情况中, *Horn & Schunck* 光流法基本方程的灰度守恒假设往往不能得到满足. 由于图像系统和场景中的物体之间的复杂的亮度相互影响. 亮度不变假设是不符合实际的, 因此亮度不变模型在这种条件下是不精确的. 针对上文中已得到图像的像素对应于灰度梯度较大的点, 而这些点处的光流场基本方程近似成立. 采用动态图像模型GDIM^[17]这种约束措施, 可使得计算出的光流场分布更加可靠和精确.

通过修正的光流定义来表示在动态图像中的几何变化和辐射幅度变化. 这个修正的定义是用三个元素的向量来代替传统的两个元素向量. 其中第三个元素表示这个点的亮度变化, 引入通用动态图像模型, 用来解决在亮度变化条件下光流估计问题中的辐射度变化. 在GDIM中亮度变化描述为数乘和一个偏移量. 因为在亮度恒定模型中把亮度变化只描述成数乘域, 这样GDIM模型更具有通用性. GDIM模型的定义形式如下:

$$I(r+\delta r) - I(r) = \delta I(r) = -m(r)I(r) - c(r) \quad (14)$$

其中 $m(r)$ 和 $c(r)$ 分别表示场亮度变化场的数乘和偏移量; $r = [x, y, t]^T$ 是时空维上的一个点. 基于GDIM的扩展光流模型

$$I_x(r)u(r) + I_y(r)v(r) + I_t(r) + m(r)I(r) + c(r) = 0 \quad (15)$$

事实上只为数乘 $m(r)$ 就足够描述图像序列中的辐射度变化, 但是在一些实例中数乘非常具有武断性, 这样导致平滑约束估计变得很困难. 通过用偏移量 $c(r)$, 就可以假设两部分都很平滑, 即使场景中亮度变化很大的情况下也是一样. 在时变图像中同时包含了图像灰度模式的几何变化和辐射度变化的信息. $m(r)$ 的期望值接近于1, $c(r)$ 的期望值接近于0. 当 $m(r)=1$ 和 $c(r)=0$ 时这个方程还原为亮度守恒的光流约束方程.

δu 、 δv 和 δm 、 δc 四个变量由下式计算得到:

$$\sum_w \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y & -I_x I & -I_x \\ I_x I_y & I_y^2 & -I_y I & -I_y \\ -I_x I & -I_y I & I^2 & I \\ -I_x & -I_y & I & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta m \\ \delta c \end{bmatrix} = \sum_w \begin{bmatrix} -I_x I_t \\ -I_y I_t \\ I_t \\ I_t \end{bmatrix} \quad (16)$$

其中, W 是很小的空间领域, 这里取 9×9 像素大小. I_x 、 I_y 和 I_t , I 的计算与式(13)相同.

1.6 目标区域分割

通过改进差分法得到的第四帧的粗略运动区域和改进背景减除法得到的第四帧的运动区域作逻辑或运算, 可以确定第四帧的准确运动区域; 通过改进的光流场计算得到图像中运动目标的运动信息并克服了亮度变化引起的约束方程不成立问题. 为了连接邻近的物体, 填平细长的鸿沟和狭窄的间断, 填补小的空洞, 使用形态学中的闭运算^[18]进行后处理. 闭运算(先膨胀后腐蚀): 使用结构元素 s 对图像 f 进行闭运算, 记作 $f * s$. 可表示为:

$$f \bullet s = (f \oplus s) \ominus s \quad (17)$$

式(17)中使用结构元素 s 对图像 f 进行形态学膨胀, 将小间隙填充, 然后使用机构元素 s 对图像进行形态学腐蚀, 去除孤立的小区域. 闭运算消除图像噪声的同时也有平滑图像的作用.

2 完整的算法流程

算法主要由改进七帧差分法、改进背景减除法、改进光流法、后处理、运动目标分割等部分组成, 如图 1 所示. 首先对连续的七帧图像依次进行预处理、差分、灰度变换和二值化处理, 并将前、后三帧二值图像分别累加得到的二值图像进行逻辑与运算, 得到中间帧中运动目标的粗略区域; 其次将中间帧与背景帧差分, 并对得到的图像进行边缘提取和二值化处理, 然后对其进行像素的算术运算, 得到中间帧中运动目标的精确区域; 在基础上通过改进的光流法得到运动目标的信息并克服了亮度变化引起的约束方程不成立问题; 最后通过阈值分割和形态学处理完成对目标的分割. 其中改进七帧差分法、改进背景减除法和改进光流法是算法的核心和关键.

3 实验结果与分析

本部分将采用所提出方法在不同的环境(室内和室外)和不同图像序列(自然序列和合成序列)条件下进行运动目标检测, 并通过定性和变量分析验证方法的

有效性和鲁棒性. 文中采用的室内和室外图像均是自然序列图像, 即指取自自然界的真实图像序列, 目的是为了验证光流技术的实用情况. 该两组视频序列是大恒图像公司 MER-125-30UC-L 相机拍摄的, 图像大小为 640×480 . 同时文中采用常用的花园合成序列图像, 即人工合成的运动规律已知的图像序列, 目的是为了验证光流算法的性能. 算法在 MATLAB 环境下编写, 在配置为 Intel 酷睿双核 i5-4590 3GHz 内存为 8G 的计算机上运行, 操作平台为 Window 7.

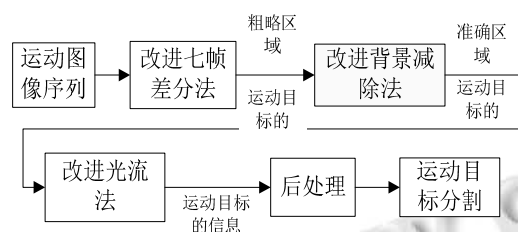
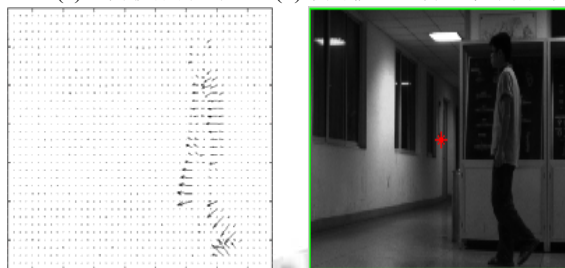


图1 算法流程图



(a)室内视频序列

(b)常用帧间差分法检测结果



(c)常用光流法检测结果

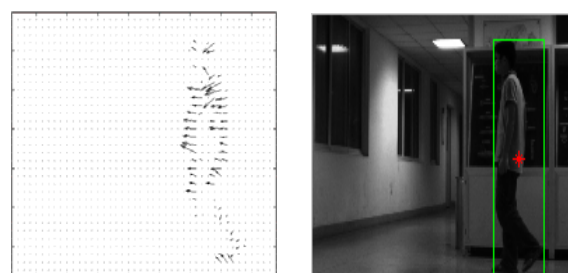
(d)运动目标分割结果

图2 常用帧间差分法和光流法的室内视频序列检测分割结果



(a)室内视频序列

(b)本文算法帧间差分检测结果



(c)本文算法光流检测结果

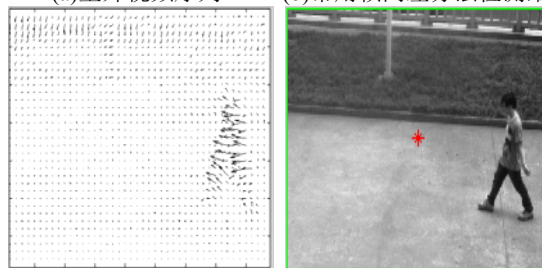
(d)运动目标分割结果

图3 本文提出方法的室内视频序列检测分割结果



(a)室外视频序列

(b)常用帧间差分法检测结果



(c)常用光流法检测结果

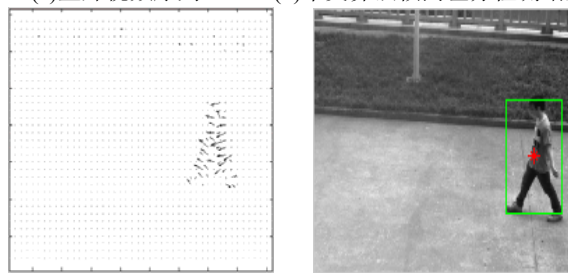
(d)运动目标分割结果

图4 常用帧间差分法和光流法的室外视频序列检测分割结果



(a)室外视频序列

(b)本文算法帧间差分检测结果



(c)本文算法光流检测结果

(d)运动目标分割结果

图5 本文提出方法的室外视频序列检测分割结果

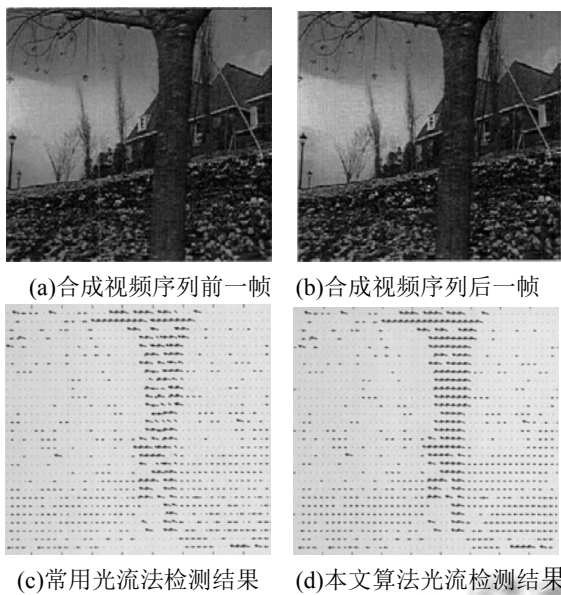


图 6 常用光流法和本文提出的方法的合成视频序列检测分割结果

由图 2(b)与图 3(b)、图 4(b)与图 5(b)对比可以看出, 本文提出的方法不仅检测到的人体图像较为完整, 而且背景图像被误检为目标点的几率也较小. 由图 2(c)与图 3(c)、图 4(c)与图 5(c)对比可以看出, 本文提出的方法不仅可以准确获取运动目标的信息, 而且还可以减少非运动目标的干扰信息. 由图 2(d)与图 3(d)、图 4(d)与图 5(d)对比可以看出, 利用本文提出的方法分割出的运动目标更为准确.

由图 6(c)与 6(d)对比可以看出, 本文提出的方法有效地克服了亮度变化引起的约束方程不成立问题, 通过引入动态图像模型使得光流计算后的光流连续, 得到运动目标的信息.

为了定量评价两种算法的优劣性, 分别计算了两种算法的耗时, 其结果如图 7 所示.

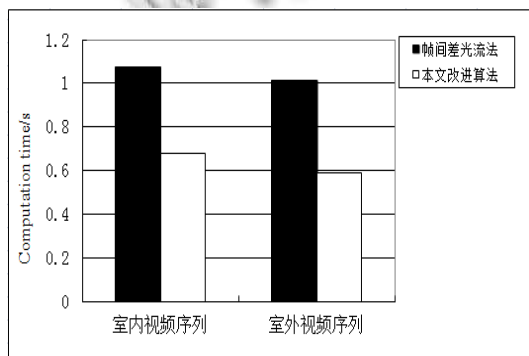


图 7 两种算法结果耗时定量比较

合成序列图像中每一像素点的光流值都是已知的, 所以进行光流的定量分析, 为了更直观地评价算法的性能, 本文采用由文献[19]提出的误差估计方法, 本文用下面的指标进行光流误差分析和评估. 设 $\vec{v}_c$ 为真实的运动向量, $\vec{v}_e$ 为计算所得的向量, 评价指标如下: 单个角度误差:

$$\psi_E = \arccos(\vec{v}_c \cdot \vec{v}_e) = \arccos\left(\frac{v_{c1}v_{e1} + v_{c2}v_{e2} + 1}{\sqrt{v_{c1}^2 + v_{c2}^2 + 1}\sqrt{v_{e1}^2 + v_{e2}^2 + 1}}\right) \text{ 平均}$$

$$\text{角度误差: } \bar{\psi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi_{Ei}$$

角标准差:

$$\sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\vec{v}_c - \vec{v}_e)^2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(v_{c1} - v_{e1})^2 + (v_{c2} - v_{e2})^2]}$$

上述指标描述了计算值与理论值的偏离程度, 指标越小, 说明光流的性能越好. 结果为表 1 所示:

表 1 合成视频序列两种算法误差比较

合成视频序列	$\bar{\psi}/(^{\circ})$	$\sigma/(^{\circ})$
常用光流法	1.346	9.289
本文提出的算法	1.135	5.899

通过定性分析和定量比较可以看出, 本算法耗时短、稳定性高、鲁棒性强, 能够比较稳定检测出图像序列中的运动目标, 同时获取运动目标的准确信息.

4 结束语

本文提出一种新型的帧间差分光流运动目标检测方法, 在光流计算方程加入定义权函数, 同时在光流计算时引入通用动态图像模型建立新的光流约束条件. 该方法能适应室内、外的复杂环境, 能实现对运动目标的准确检测和分割, 且具有实时性好、能准确获取运动目标信息的特点. 下一阶段的研究重点将放在运动目标跟踪上.

参考文献

- 徐晶, 方明, 杨华民. 计算机视觉中运动检测与跟踪. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- Cheng L, Gong ML, Schuurmans D, et al. Real-time discriminative background subtraction. IEEE Trans. on Image Processing, 2011, 20(5): 1401-1414.
- 杜向龙, 伍健荣, 邢涛. 一种改进的基于背景抽取的运动目标检测算法. 计算机测量与控制, 2011, 19(11): 2665-2667.

- 4 Alvar M, Sanchez A, Arranz A. Fast background subtraction using static and dynamic gates. *Artificial Intelligence Review*, 2014,41(1):113–128.
- 5 Mitra B. On shadow elimination after moving region segmentation based on different threshold selection strategies. *Optics and Lasers in Engineering*, 2007, 45(11): 1088–1093.
- 6 嵇存美,陈伟.一种嵌入式环境下的实时人脸跟踪方法. *计算机应用与软件*,2011,28(4):143–145.
- 7 施家栋,王建中,王红茹.基于光流的人体运动实时检测方法. *北京理工大学学报*,2008,28(9):794–797.
- 8 Stojanovic I, Kard WC. Imaging of moving target multi-static SAR using an over complete dictionary. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 2010, 4(1):164–176.
- 9 Yue M, Bajic IV, Saeedi PS. Moving region segmentation from compressed video using global motion estimation and markov random fields. *IEEE Trans. on Multimedia*, 2011, 13(3): 421–431.
- 10 贾慧星,章毓晋.车辆辅助驾驶系统中基于计算机视觉的行人检测研究综述. *自动化学报*,2007,33(1):84290.
- 11 Koguta G, Drymona L, Everetta H R. Target detection, acquisition, and prosecution fro manun manned ground vehicle. *Unmanned Ground Vehicle Technology VII, Proc. of SPIE*. Orlando, FL, USA, 2005: 5602568.
- 12 Hu HX, Tan TN. A survey on visual surveillance of object motion and behaviors. *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics - part C: Applications and Reviews*, 2004, 34(3): 334–352.
- 13 Nguyen TD, Lee G. Tensor voting based outlier removal for global motion estimation. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 2013, 9(1): 179–190.
- 14 张小建,徐慧.基于视频处理的运动车辆检测算法的研究. *液晶与显示*,2012,1(27):108–113.
- 15 刘翔.基于视频的运动目标检测与跟踪算法研究与应用[学位论文].武汉:武汉科技大学,2009.
- 16 陈凤东,洪炳镕.基于动态阈值背景减除算法的目标检测方法. *哈尔滨工业大学学报*,2005,37(3):883–884.
- 17 Magee D. Tracking multiple vehicle using foreground background and motion models. *Image and Vision Computing*, 2004, 22(2): 143–145.
- 18 张铮,徐超,任淑霞.数字图像处理与机器视觉.北京:人民邮电出版社,2014.
- 19 Barron JL, Fleet DJ, Beauchemin S. Performance of optical flow techniques. *Internaitonal Journal of Computer Vision*, 1994, 12(1): 43–77.