复杂交通场景中多运动目标分割算法

李俊韬 张 海 范跃祖

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100083)

摘 要: 针对室外复杂交通场景中多运动目标分割问题,提出了一种由变化检测和运动分割组成的算法,利用水平集算法对帧差图像进行变化检测得到运动窗口,在运动窗口范围内进行改进的 k-均值聚类分割,利用运动相似性进行分割区域融合. 算法避免了整个图像的分割,减少了运算量,完整的分割出运动目标. 试验结果表明,算法不仅能从复杂交通场景图像序列中有效的检测和提取出运动目标并有很强的鲁棒性,而且能够解决运动目标的遮挡问题.

关 键 词: 目标检测; 水平集; k-均值聚类; 鲁棒性

中图分类号: TP 391

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)03-0297-04

Multiple moving objects segmentation algorithm in complex traffic scene

Li Juntao Zhang Hai Fan Yuezu

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: To solve multiple moving objects segmentation problem in complex traffic scene outdoors, a new segmentation algorithm of multiple moving objects segmentation in complex traffic scene of outdoors was developed. The presented method consists of two phases. In the motion detection phase, motion-changed region was determined using an improved level set algorithm based on Mumford-Shah model of two consecutive frames difference of image sequence, and an simplified clustering algorithm providing initialization evolution curves of level set algorithm. Motion window was generated through detecting motion-changed region. In the motion segmentation phase, regions segmentation using an improved weighted k-means clustering algorithm of moving windows area were merged based on region motion similarity criterion. Computation time was reduced because of avoiding processing of the whole image. Very promising experimental results indicates that the proposed algorithm is effective with strong robustness using real image sequences of complex traffic scene and can resolve occlusions among multiple moving objects.

Key words: target detection; level sets; k-means clustering; robustness

运动目标检测在目标跟踪、视频监控和精确制导领域有重要的应用. 运动目标的检测方法主要有光流法[1,2]和帧间差法[3,4]2 大类. 此类算法对摄像机噪声和环境光照的变化十分敏感,特别是针对复杂场景中多运动目标分割,采用上述方法很难得到好的分割效果,同时无法解决目标遮挡问题[5]. 复杂交通场景中运动目标检测主要存在如下困难:①多个运动目标且运动方向和速度各不相同;②在图像平面上运动目标比较小;③信噪比较低且噪声的影响严重(光照,震动影响等);④运动目标在运动过程中发生遮挡且背景比较复杂.

本文提出一种复杂交通场景条件下多运动目标检测算法,算法由变化检测和运动分割组成[6,7],首先利用水平集算法对帧差图像进行变化检测,得到运动变化区域,在变化区域的一小窗口(运动窗口)范围内进行运动分割,计算分割区域的运动参数,最后利用运动相似性进行区域融

收稿日期: 2005-06-21

基金项目: 北京市教委重点学科建设基金资助项目(BHBJZB-1-5)

作者简介: 李俊韬(1978-),男,河南开封人,博士生, ljtletter@126.com.

合,完整的分割出运动目标. 由于算法先进行变化检测,在运动窗口范围内进行空间分割,避免了对整个图像平面上进行分割,能够大大减少运算量,提高了算法速度,同时解决了运动目标的遮挡问题. 对较低分辨率条件下的图像中运动目标的分割能得到很好的分割效果. 图像序列背景固定,即摄像机相对固定.

1 复杂场景中多运动目标检测算法

视频交通监控运动目标检测的目的是将运动目标从交通场景中分割出来,以便进行后续的目标跟踪和目标识别. 本文提出的算法结构图如图1所示,首先对帧差图像利用水平集算法检测出变化区域,在变化区域的一个小窗口范围内进行运动分割,运动分割首先进行图像简化,利用一种改进的有权重的 k-均值算法进行区域分割,对分割出的区域计算其运动参数,最后根据运动相似性将空间分割的区域进行融合以完整地检测出运动目标.

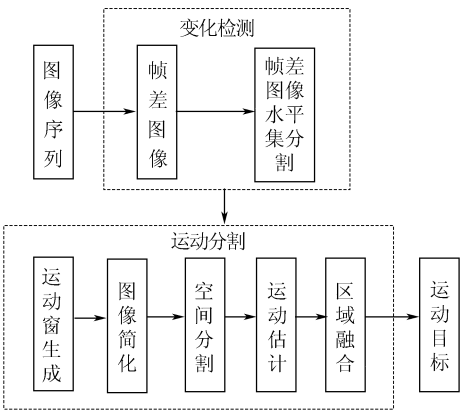


图1 运动目标检测算法结构图

1.1 图像帧差

定义灰度差分图像 $D=\{d(x,y)\}$ 如下:

$$d(x,y)=g(|I(x,y;t)-I(x,y;t-1)|) \tag{1}$$

式中,$I(x,y;t)$ 和 $I(x,y;t-1)$ 为图像序列中相邻2帧图像. 函数 $g(x)$ 定义为

$$g(x)=255\mathrm{e}^{-\gamma x^2} \tag{2}$$

式中,函数 $g(x)$ 的作用是调整图像的对比度和均衡化图像;γ 为调整系数.

1.2 基于 Mumford-Shah 模型变化检测算法

变化检测需要将 D 中的灰度一致区域分离出来,既区分出变化区域和静止背景区域. 传统的几何轮廓线模型分割图像的方法多采用活动轮廓线所在位置的图像局部信息,难于综合图像区域的全局信息. 如基于水平集的测地活动轮廓线模型,遵循基于水平集的偏微分方程(PDE)如式(3)所示[8]:

$$\frac{\partial\phi}{\partial t}=g(\nabla I)(k+v)|\nabla\phi| \tag{3}$$

式中,ϕ 为水平集函数;k 为水平集函数的曲率;v 为常数项;I 为图像函数;而 $g(z)\geqslant 0$ 为一边缘检测器函数,为一非递增函数,定义为 $g(|\nabla I|)=\frac{1}{1+|\nabla G_\sigma I|^p}$,$p\geqslant 1$. 其在一致区域取正值,在边缘处为零. 式(3)等号的右边是速度项,当 C 靠近图像边缘时,$|\nabla I|$ 增大,使 $g(|\nabla I|)\to 0$,使 C 的速度趋近于0,最终 C 停在图像的边缘位置. 由于这些方法仅仅依靠进化曲线 C 图像的边缘信息控制 C 的进化,因此这种模型对边缘模糊或离散边缘的图像,不能正确地分割出图像中的同质区域. Chan-Vese 提出了一种简化 Mumford-Shah 的图像分割模型,图像 I 的定义域为 Ω,C 为 Ω 上的一闭合曲线,闭合曲线 C 将图像 I 分割为目标区域和背景2个同质区域,定义如式(4)所示能量函数[9]:

$$\begin{aligned}F(c_o,c_b,C)=&\mu\cdot L(C)+v\cdot A(C)+\\&\lambda_o\int_C|I-c_o|^2\mathrm{d}x\mathrm{d}y+\\&\lambda_b\int_C|I-c_b|^2\mathrm{d}x\mathrm{d}y\end{aligned} \tag{4}$$

因此,最优化图像分割问题转化为求能量函数 $F(c_o,c_b,C)$ 的最小值问题. 基于 Mumford-Shah 图像分割模型的最大特点就是全局优化,其初始进化曲线可以放置在图像上任何位置,另外一个特点就是不依靠图像的边缘信息而是利用图像的全局信息,因此,即使图像的边缘为模糊或离散的,仍能得到较好的分割效果.

采用水平集方法[9]求解能量函数,利用改进的水平集算法加快算法的收敛过程[9,10]. 由于 Mumford-Shah 模型要计算整个图像定义域的全局最优解,不能使用常用的窄带法求解水平集的方法,需要在整个定义域更新水平集函数,计算量较大,但由于方程为全局优化的偏微分方程,只需要很少的几次迭代,就可以得到理想的分割效果.

水平集方法需要提供初始进化曲线,本文利用一种简化的聚类方法确定水平集算法初始曲线. 采用基于形态学的初始化方法确定初始进化曲线,如图2所示. 曲线拟合采用圆形曲线进行,数学形态学和图像描述都是基于二值图像的操作,算法容易实时实现. 用基于原型的模糊聚类算法细调原型的值,获得更合理的分类效果. 利用聚

类分析的方法提供水平集进化曲线,避免了在整个图像平面上进行水平集计算,能够提高水平集算法的速度,特别是针对场景范围较大,而监控目标比较小的情况,能够大大提高计算速度.

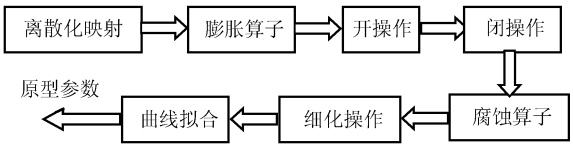


图 2　聚类原型信息获取框图

1.3　变化检测基础上的运动分割

运动分割目的是将灰度一致及运动一致的区域融合成完整的运动目标,对 t 时刻图像 $I(x,y;t)$ 进行运动分割,算法包括以下几个步骤:运动窗生成、图像简化、区域分割、运动估计及区域融合.

图像中存在多个运动目标,即存在多个变化区域,设 M_i 表示第 i 个变化区域,定义 R_i 为 M_i 的外接矩形,由于检测出的运动变化区域可能比实际的目标小,为保证分割目标的完整性,将 R_i 适当扩大,定义 R_i 的运动窗口 W_i[6]:

$$W_i = KR_i \tag{5}$$

式中,K 为放大系数,K 一般取 1.1 ~ 1.3,文中取 1.2. 对每个运动变化区域计算其运动窗口,如不同的 M_iR_i 的运动窗口有重叠,可将其合并成一个运动窗. 图像简化、区域分割、运动估计及区域融合等计算都限制在运动窗口范围内进行,避免了对整个图像的计算,能够提高计算速度.

图像简化的目的是消除图像中过多的细节以简化区域分割和运动估计,采用灰度形态学滤波方法消除图像中一些小的区域,根据实际监控图像的大小及运动目标的特征参数滤波器的窗口大小可以选 3×3 或 5×5.

区域分割是按照图像的灰度相似形将图像分割成不同的区域,采用文献[11]中的 k-均值聚类算法进行区域分割,此算法一个主要的缺点在于需要提供聚类个数作为输入参数,为算法准确的提供聚类个数是不现实的. 本文采用一种逐级划分的方法克服这个缺点,首先提供一个较小的聚类个数进行分类,然后在每个类内进一步分割,每个类内采用二分类的方法进行进一步分类.

在每个类内采用 k-均值聚类算法将初始类进一步分割,相似性标准定义为[11]

$$E^{ij} = (p^i - m^j)W^j(p^i - m^j)$$
$$j = (1,2,\cdots,k) \tag{6}$$

式中,像素 i 被分配给 E^{ij} 值较小的类,计算过程中需要更新 W^j,为避免计算的复杂性,可以每迭代计算 15 ~ 30 次更新计算 W^j.

定义一个面积阈值以阻止过分割,同时类内方差小但面积较大的聚类结果也需要进一步进行分类以避免类内包含较小的灰度相异区域,定义以下分割标准:

$$N_j \geqslant \eta \text{ 或 } N_j \geqslant \eta \text{ 且 } \sigma_j^2 \geqslant \sigma_t \tag{7}$$

式中,N_j 表示聚类 j 内像素的个数;σ_t 表示类内方差阈值. 阈值的选择与所给图像大小及目标的大小有关.

采用这样的聚类算法不能保证同一个类内像素是空间连通的,聚类完成后,利用连通组件算法标识出最后分类的区域. 采用空间分割能够比较精确地得到运动对象的边界,但一般容易造成过分割,对分割出的区域进行运动估计,根据运动相似性对空间分割后形成的区域进行融合. 运动估计要计算出区域 R_i 的运动矢量,在此只考虑区域的水平与垂直位移矢量 $[d_x\ d_y]$,为得到最优运动矢量,限制搜索面积窗,定义错误测量 EM(Error Measurement)为 σ:

$$\sigma = \sum_{(x,y)\in j} [I(x,y;t-1) - I_t(x+d_x,y+d_y,t)]/N_j \tag{8}$$

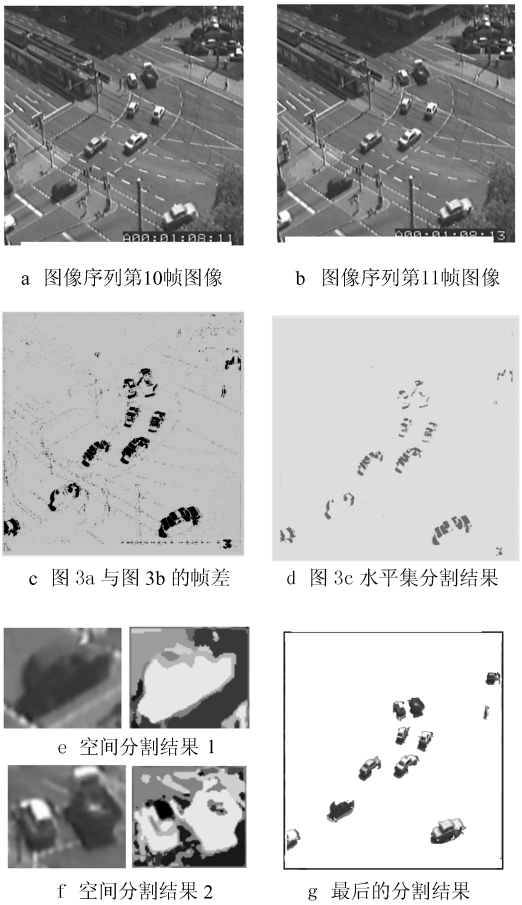
式中,$[d_x\ d_y]$ 表示运动矢量;$I(x,y;t-1)$ 和 $I_{k+1}(x+d_x,y+d_y;t)$ 表示连续图像类内像素点坐标的灰度值;在 $I(x,y;t-1)$ 图像的搜索窗口范围内,σ 取最小值的位置为最佳匹配位置,根据搜索出来的匹配位置,计算得到区域 R_i 的运动矢量 $[d_x\ d_y]$.

根据计算得到的分割区域以及区域的运动矢量进行区域融合,对目标遮挡问题,根据计算出来的区域运动矢量进行区域融合,区分出不同的运动目标,解决目标之间的遮挡问题,采用这样的方法能够精确、完整地分割出运动目标.

2　实验结果分析

采用多个实际的图像序列对算法进行测试,图 3 为其中一个图像序列检测结果,图 3c 为帧差图像,建立 Mumford-Shah 模型并利用水平集方法求解的变化检测结果如图 3d 所示,水平集算法的迭代次数为 5 次,图 3e 为图像中运动车辆的空间分割的结果,图 3e 所示车辆与背景十分相近,采用本文的算法能够较精确地检测出车辆. 计算分割出每个区域的运动矢量,将运动矢量相似的分割区域进行合并,以完整地检测出运动目标. 图 3f 为 2 个车辆分割的过程中有一定粘连(遮挡),利

用计算的区域运动矢量可以将其分割开来,能够精确地分割出 2 个运动车辆,解决了遮挡问题. 图 3g 为最后的运动目标分割结果.



a 图像序列第10帧图像　b 图像序列第11帧图像

c 图 3a 与图 3b 的帧差　d 图 3c 水平集分割结果

e 空间分割结果 1

f 空间分割结果 2　g 最后的分割结果

图 3　交通场景图像序列的分割结果

3 结　论

本文提出了一种室外复杂交通场景条件下多个运动目标分割算法,对较低信噪比条件下的运动目标分割能获得较好分割效果. 由于算法先进行变化检测,在运动窗口范围内进行运动分割,避免了在整个图像平面上进行计算,能够大大减少运算量. 算法对参数设置不敏感,鲁棒性强,同时解决了运动目标的遮挡问题. 进一步研究区域融合的相似性标准及多分辨率条件下的多运动目标分割是今后的研究重点.

参考文献 (**References**)

[1] Kouthemy P, Fraancois E. Motion segmentation and dynamic scene analysis from an image sequence[J]. International Journal of Computer Vision, 1993,10(2):157 ~ 182

[2] Memin E, Dence P. Estimation and object-based segmentation of the optical flow with robust techniques[J]. IEEE Transactions on Image Procession, 1998, 7(5):703 ~ 719

[3] Lipton A, Fujiyoshi H, Patil R. Moving target classification and tracking from real-time video[A]. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision[C]. Princeton NJ, 1998. 8 ~ 14

[4] Foresti G, Murino V, Regazzoni C. Vehicle recognition and tracking from road image sequences[J]. IEEE Transaction on Vehicular Technology, 1999,48(1):301 ~ 317

[5] 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
Yang Li, Li Yushan, Liu Yang, *et al*. Detection contours of multiple moving objects with complex background[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2005, 27(2):306 ~ 309 (in Chinese)

[6] 朱　辉,李在铭,蔡　毅. 基于运动窗生成的时空视频分割[J]. 电子学报,2004,32(3):480 ~ 484
Zhu Hui, Li Zaiming, Cai yi. Spatio-temporal vido segmentation based on the generation of motion window[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(3):480 ~ 484 (in Chinese)

[7] Fan J, Yu J, Fu G, *et al*. Spatiotemporal segmentation for compact video representation[J]. Signal Processing, 2001, 16:553 ~ 566

[8] Geidenberg R, Kimmel R, Rivlin E, *et al*. Fast geodesic active contours[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(10):1467 ~ 1475

[9] Chan F T, Vese L. Active contours without edges[J]. IEEE Trans Image Processing, 2001, 10(2):266 ~ 277

[10] 李　俊, 杨　新, 施鹏飞. 基于 Mumford-Shah 模型的快速水平集图像分割方法[J]. 计算机学报,2002,11(25):1175 ~ 1183
Li Jun, Yang Xin, Shi Pengfei. A fast level set approach to image segmentation based on Mumfor-Shah model[J]. Chinese Journal of Computers, 2002 , 11(25): 1175 ~ 1183 (in Chinese)

[11] Kottke D, Sun Y. Motion estimation via cluster matching[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 16:1128 ~ 1132