

# 多通道复合式光学成像系统中运动点目标的自动检测\*

屈有山 田维坚 李英才 张薇  
(中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

**摘要** 单纯对单孔径光学成像系统的图像数据进行检测处理, 来实现对运动点目标的自动检测和判别是非常困难的. 本文根据多通道复合式光学成像系统多个通道视场有重叠的固有特点, 建立了应用于该系统的运动点目标自动检测和判别方法. 实际系统上测试证明了所设计检测方法有效地提高了运动点目标检测的概率, 减少了误判和虚警, 检测方法可行有效.

**关键词** 多通道; 运动点目标; 光流场; 自动检测  
**中图分类号** TN911.73 **文献标识码** A

## 0 引言

由于运动点目标的自动检测与跟踪在导弹预警、导弹制导、天文观测等许多重要领域的应用, 以及点目标本身的特点: 无形状、尺寸、纹理等信息, 成像距离远、信噪比低、强杂波干扰和摄像机的光学特性等诸多因素, 使点目标检测仍然是当前的一个热门而又困难的课题<sup>[1]</sup>.

已经存在的运动点目标检测算法有动态规划法<sup>[2]</sup>、匹配滤波法<sup>[3]</sup>、序贯假设检验法<sup>[4]</sup>、高阶相关法<sup>[5,6]</sup>、光流场算法<sup>[7,8]</sup>, 还有新近的神经网络<sup>[9]</sup>等, 都有计算量大、计算复杂的缺点, 无法满足真实的实时处理的要求. 其中光流场算法从 Horn 和 Schunck<sup>[7]</sup>于1981年提出到现在, 研究者对光流场算法进行了大量的研究, 并且提出了光流场的快速算法<sup>[10]</sup>, 采用高通滤波<sup>[11]</sup>等预处理方法来减少光流计算的像素数, 从而减少光流计算量. 为了克服光流场算法检测能力的不足, 新近提出了隔帧差分并行算法<sup>[12]</sup>, 减少算法的计算量使其能够满足实时处理的实际需要.

虽然这些新的处理算法在运算速度上大大改进, 已经能够比较有效的分割运动点目标, 但是对于目标的最终自动判定, 仍然存在一定的误判或虚警率. 由于多通道复合式光学成像系统具有视场重叠的固有特征, 我们采用差分向量无穷范数对各通道采集的图像序列做预处理, 然后进行光流场分割, 再对分割的结果根据运动目标的运动连续性和一致性进行目标的进一步判定. 最后根据运动目标在图像

平面上的投影速度, 对目标进行主动预测跟踪, 使各通道在视场重叠区能够同时对同一目标进行观测. 对各通道同时观测的图像数据进行处理, 实现对运动点目标的最终自动判别.

## 1 多通道复合式成像系统的原理

长期以来, 人们对单孔径光学成像系统的原理已作了较为全面、详尽的研究, 并广泛地应用于显微镜、望远镜、照相机等各种光学成像仪器中, 但是单孔径成像系统存在大视场和高分辨率不能兼顾的不足<sup>[13]</sup>. 为了解决单孔径光学成像系统中大视场和高分辨率的矛盾, 克服原有视觉仿生工程与成像技术的缺陷, 提出和设计了多通道复合式光学成像系统<sup>[14]</sup>.

本文的实验系统由一个高分辨率的中央系统和四个大视场的边缘系统构成. 中央系统用于对观测目标进行高分辨率成像, 边缘各子系统用于大范围内对运动点目标的捕获、跟踪和识别. 成像系统配置结构如图1(a)所示. 其大视场构成的视场重叠示意图如图1(b)所示, 其中单方向阴影线标明的区域与其相邻阴影区是同一视场区域, 中间双向线标明的区域为四个系统共同重叠视场区域. 这些重叠

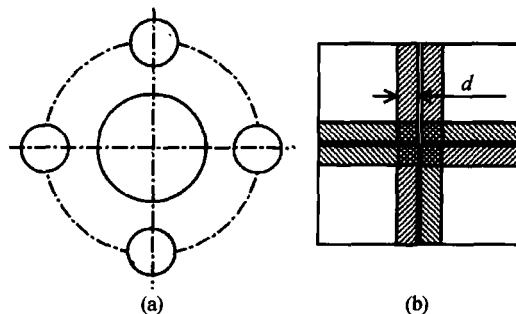


图1 (a) 成像系统配置示意图和 (b) 视场重叠示意图  
Fig. 1 The schematic plan of the imaging system (a) and the vision field overlapping (b)

\*中国科学院创新基金项目与“十五”项目(863-2002AA731264)资助  
Tel: 020-88079375 Email: qyoushan@yahoo.com.cn  
收稿日期: 2003-04-14

区域随着三维距离的增加而增大. 对于视场重叠而引起的图像重叠的宽度用像素数目  $d$  来表征, 如图 1(b) 中所示.

由于运动点目标, 尤其是弱暗目标或点目标的检测结果受噪音的影响较大, 所以在检测到运动点目标后, 使系统主动跟踪, 使目标的像“移动”到视场重叠区, 在多个系统同时进行检测, 从而有效区别噪音和目标, 排除噪音干扰. 因为不可能同时在多个子系统视场重叠区中检测到同样强度的噪音, 从而能够有效的提高目标检测概率, 降低误报和虚警率. 图 2 为该多通道复合式系统对天空监视时采集的一幅四画面图像(四个子系统同时采集), 其中的图像重叠区域清晰可辨. 其中重叠表征参数  $d = 18$  pixels.



图 2 边缘各系统采集图像示例  
Fig. 2 The grabbed images of the edge children system

## 2 图像序列的预处理和光流检测

传统的光流场约束方程是光流场分析法的基础, 它建立了图像平面上任意一点  $(x, y)$  图像辐射的空间梯度变化与该点瞬时速度  $(u, v)$  之间的关系式. 设三维运动图像序列为  $\{E(x_i, y_j, t_k), i, j = 0, 1, \dots, N-1, k = 0, 1, 2, \dots, K\}$  表示在时刻  $t_k$  图像平面中  $(x_i, y_j)$  点的图像灰度值, 则光流场的约束方程如下<sup>[7]</sup>

$$\frac{\partial E}{\partial x}u + \frac{\partial E}{\partial y}v + \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

式中:  $(u, v)$  被定义为光流矢量, 也就是  $(u, v) = (dx/dt, dy/dt)$ ;  $\partial E/\partial x$ ,  $\partial E/\partial y$  和  $\partial E/\partial t$  分别表示灰度函数  $E$  关于  $x$  轴,  $y$  轴和  $t$  轴方向的偏导数, 其具体计算可参考文献[12].

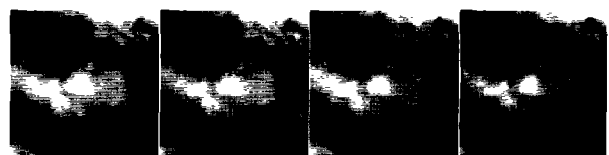
光流场基本方程(1)不能直接求解, 通常假设光流场是平滑过度的, 即假设目标像素邻域内速度场保持不变, 可以在像素  $(x, y)$  周围大小为  $n \times n$  的邻域内定义一个超定的光流场约束方程组, 利用最小二乘法估计求解点  $(x, y)$  的像面瞬时速度(具体求解请参考文献[15]).

为了减少运算量, 必须减少光流场计算的像素数, 从而达到实时处理的需要. 由于运动点目标包含在图像的高频信息中, 所以通常采用的方法是高通滤波或低频背景估计, 去掉低频背景和低频噪音, 对剩余的高频像素进行光流场计算. 这些预处理方法需要独立的对图像进行预处理, 本系统中采用了差分向量无穷范数对原图像序列做预处理, 其对应的计算式为<sup>[16]</sup>

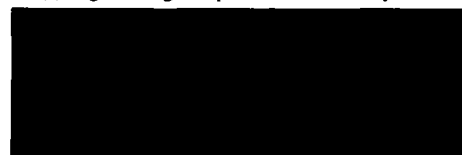
$$M(i, j, t) = \left| \left[ \frac{\partial E_{ij}}{\partial x}, \frac{\partial E_{ij}}{\partial y}, \frac{\partial E_{ij}}{\partial t} \right] \right| = \left| \frac{\partial E_{ij}}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial E_{ij}}{\partial y} \right| + \left| \frac{\partial E_{ij}}{\partial t} \right| \quad (2)$$

其中,  $\partial E_{ij}/\partial x$ ,  $\partial E_{ij}/\partial y$  和  $\partial E_{ij}/\partial t$  分别表示灰度函数  $E$  关于  $x$  轴,  $y$  轴和  $t$  轴方向的偏导数. 当范数值大于某个阈值时, 表明该点的灰度变化剧烈, 即可能是目标存在的后选点, 对这些点计算光流, 如果光流速度大于某个阈值则保留, 然后采用聚类算法进行分析(常用的  $K$  聚类算法即可), 确定已经检测到的运动点目标, 并计算其相关参数.

如果在连续  $J$  帧 ( $J \geq 3$ ) 中检测到可疑点目标的瞬时速度、大小(面积或像素数)和平均灰度保持基本恒定, 则该运动点目标具有连续性和一致性(噪音是随机的), 判定检测到一个运动点目标. 如图 3 所示, (a) 为一个检测通道中的图像序列, (b) 为采用光流分割检测结果. 从检测结果序列(b)中, 根据运动连续性一致性判定准则, 可以判定检测到一个运动点目标, 为了进一步排除噪音干扰, 进行了目标的高精度最终判定.



(a) Original images sequence of one child system



(b) The detected results by the optical flow algorithm

图 3 一个子通道中光流场法检测到点目标的结果

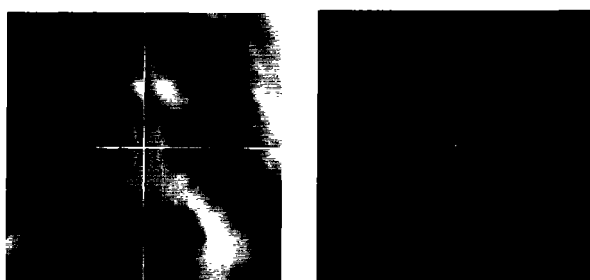
Fig. 3 The detection results of the optical flow in a child system

## 3 目标的最终自动判别

虽然通过光流检测分割, 可以判定一个运动点目标的存在, 但是仍然存在一定的虚警或误判. 为了进一步降低误判率, 利用多通道系统有视场重叠的固有特点, 对目标进行主动跟踪, 将成像系统的视场重叠区旋转到目标所在的空间区域, 使目标可以

同时在多个系统被观测到(这也是中央系统对其高分辨率观测的需要). 如果能够在多个系统同时观测到一个运动点目标,那么可以判定存在一个运动点目标(因为不会同时在多个系统的同一位置产生能量强度相同的噪音). 利用多通道复合式光学成像系统固有的特点,可以有效的去掉随机噪音的影响,实现了对运动点目标的有效自动检测.

如图 4 所示, (a) 为原始系统四画面序列的一帧, (b) 为图像序列中 (a) 对应的检测结果, 由于在四通道子系统中同时观测到了瞬时速度、大小和平均灰度基本相同的一个运动点目标, 所以, 可以判定系统检测到一个运动点目标. 图中视场重叠宽度, 经过图像处理得到为  $d = 20$  pixels.



(a) One frame abstracted from the grabbed images sequence (b) The detected result between the by frame in (a) and its former frame

图 4 多通道对同一个运动点目标检测示例

Fig. 4 The example of the point target detecting result in the multi-channel system

## 5 结论

利用多通道复合式光学成像系统大视场搜索、捕获、检测, 在视场重叠区实现运动点目标自动检测和判别. 实际系统上测试证明了所设计检测方法能够有效的提高运动点目标检测的概率, 减少了误判和虚警, 方法有效可行.

### 参考文献

- 李智勇, 沈振康, 杨卫平, 等. 动态图像分析. 北京: 国防工业出版社, 1999  
Li Z Y, Shen Z K, Yang W P, et al. Dynamic Image Analysis. Beijing: National Defence Industrial Publishing House, 1999
- Barniv Y. Dynamic programming solution for detecting dim moving targets. Part II, Analysis. *IEEE Transactions on AES*, 1987, **23**(6): 776 ~ 788
- Reed I S, Gagliardi R M, Shao H M. Application of three - Dimensional filtering to moving target detection. *IEEE Transactions on AES*, 1983, **19**(6): 898 ~ 905
- Bolstein S D, Huang T S. Detecting small, moving objects in images sequences using sequential hypothesis testing. *IEEE Transaction on SP*, 1991, **39**(7): 1611 ~ 1629
- Lio R J, Azimi-Sadjadi M R. Dim target detection using high order correlation. *IEEE Transactions on AES*, 1993, **29**(7): 841 ~ 856
- Liou R J, Azimi-Sadjadi M R. Multiple target detection using modified high order correlation. *IEEE Transactions on AES*, 1998, **34**(2): 553 ~ 567
- Horn B K P, Schunck B G. Determining optical flow. *Artificial Intelligence*, 1981, **17**(1): 185 ~ 203
- Russo P, Markandey V, Bui T. Optical flow techniques for moving target detection. *SPIE Proceeding*, 1990, **1383**: 62 ~ 71
- Yu X, Azimi-Sadjadi M R. Neural network directed bayes decision rule for moving target classification. *IEEE Transactions on AES*, 2000, **36**(1): 176 ~ 187
- 昌猛, 吴新根, 罗立民, 等. 一种快速的光流场计算方法. 东南大学学报, 1999, **29**(5): 101 ~ 105  
Chang M, Wu X G, Luo L M, et al. *Proceedings of the DongNan University*, 1999, **29**(5): 101 ~ 104
- 叶斌, 彭嘉雄. 遥感序列图像中三种点目标检测预处理方法. 华中理工大学学报, 2000, **28**(12): 1 ~ 3  
Ye B, Peng J X. *Proceedings of the Huazhong Institute of the Science and Technology*, 2000, **28**(12): 1 ~ 3
- 屈有山, 田维坚, 李英才. 基于并行隔帧差分光流场与灰度分析综合算法的运动目标识别. 光子学报, 2003, **32**(2): 182 ~ 186  
Qu Y S, Tian W J, Li Y C. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(2): 182 ~ 186
- 田维坚, 姚胜利, 陈荣利, 等. 用于运动目标探测的多通道成像系统. 光子学报, 2002, **31**(1): 47 ~ 49  
Tian W J, Yao S L, Chen R L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(1): 47 ~ 49
- 田维坚, 屈有山, 张薇, 等. 多通道光学成像系统装置, 中国专利, No. 02284387.1, 2002 年 12 月受理  
Tian W J, Qu Y S, Zhang W, et al. Chinese patent No. 02284387.1, 2002, 12
- Shenq W, Vishal M, Anthony R. On total least squares fitting spatiotemporal derivatives to smooth optical flow fields. *Proc of SPIE*, 1992, **1698**: 579 ~ 584
- 屈有山, 田维坚, 李英才. 基于隔帧差分向量无穷范数的运动点目标检测. 红外与激光工程, 2003, **32**(2): 157 ~ 162  
Qu Y S, Tian W J, Li Y C. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, **32**(2): 157 ~ 162

## Automatic Detection of the Moving Point Target in the Multi-channel Composite Optical Imaging System

Qu Youshan, Tian Weijian, Li Yingcai, Zhang Wei

*Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068*

Received date: 2003-04-14

**Abstract** It is quite difficult to the automatic detection and recognition of the moving point target by the detecting processing of the images grabbed from the mono-aperture imaging system. According to the inner feature of the view-field overlapping in the multi-channel compound optical imaging system, the automatic detection and recognition approach of the moving point target for this system is built up. The applied result in the practical system showed that the designed detection and recognition approach increased the detecting probability of the moving point target, and decreased the probability of false alarms. The detecting method was proved to be feasible and effective.

**Keywords** Multi-channel; Moving Point Target; Optical Flow; Automatic Detection



**Qu Youshan** received the Bachelor's Degree in the overall Design of Spacecraft in 1997 from the Harbin Institute of Technology, and the Master's Degree in Mechanical and Electrical Engineering in 2000 from the Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics. Now he is a doctor candidate in Space Optics in the Space Optics Laboratory of Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics. His research work focuses on the Moving Target Recognizing and Image Processing.