

文章编号 :1001 - 2486(2004)02 - 0025 - 05

基于窗口预测匹配的序列图像点目标轨迹检测算法*

孙广富, 张 兵, 卢焕章

(国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要 :序列图像中运动点目标轨迹的实时检测算法,是目标识别、实时跟踪处理系统中的关键算法之一。在分析不同层次处理方法的基础上,给出了一种基于预测、窗口匹配的点轨迹预测—匹配检测算法,并根据仿真实验的效果,指出此算法可有效地对低信噪比序列图像运动点目标轨迹进行实时检测,具有多目标轨迹检测能力。

关键词 :点目标,跟踪,轨迹检测,预测匹配

中图分类号 :TN957 文献标识码 :A

The Detection Algorithm Based on Predicting-matching-window for Moving Point Target Trajectory in Image Sequences

SUN Guang-fu, ZHANG Bing, LU Huan-zhang

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :The real-time detection algorithm of the moving point target in image sequences is one of the key algorithms in many real-time processing systems. This paper presents a point-track predicting and matching detecting algorithm after analyzing several level methods of the moving point target in image sequences. Based on the performance of simulation test, we point out the introduced algorithm can detect low SNR moving point target in image sequences effectively. The algorithm can detect multi-target trajectory in same image sequences simultaneity.

Key words :point target, tracking, trajectory detection, prediction and matching

序列图像中运动点目标的检测算法的研究可以从以下三个层次进行:

序列图像的预处理。主要完成图像背景抑制,可以根据背景杂波的空域相关性长特点使用自适应背景抑制滤波、非线性形态滤波^[10]等方法,还可以由背景杂波与运动点目标在时域特征方面的差异构造出时域滤波器,直接获得点目标的运动轨迹^[11,12]。

目标的能量累积。由于点目标的信噪比较低,直接对单帧图像进行阈值分割较难检测出目标,须采用某种能量累积算法对序列图像中的点目标沿着其运动轨迹进行能量累积,再进行检测跟踪,其中构造序列图像的沿运动轨迹的能量积累算法是解决点目标检测问题的关键所在。能量累积算法,在文献中已经进行了深入的研究^[5~10]。

本文主要讨论第三个层次,在上面两个层次的基础上对经过能量累积后的点目标图像进行轨迹检测。首先对序列图像中点目标轨迹进行关联跟踪,以达到对点目标轨迹检测的目的,是一种检测前跟踪(Track Before Detect)算法。

1 算法描述

点目标运动速度的大小和方向不可能突变,运动轨迹局部光滑,能量累积后的图像经分割后,候选目标点用 (x, y) 表示,称为特征点。算法思想是:首先建立目标点运动轨迹记录,并进行预测,与图像中候选特征点匹配,当轨迹长度达到规定的长度时,进行轨迹置信度检验,并随图像输入更新轨迹,达到目

* 收稿日期:2003-10-19

基金项目:国家重点实验室基金项目(51483040101KJ0101),国家863基金项目(2002AA813031)

作者简介:孙广富(1970—),男,副教授,博士。

标轨迹检测的目的。

对于高帧频图像序列,设目标的运动速度不大于1像素每帧,采用 L 帧截断累加处理后^[9],经阈值分割后的二值图像中点目标的运动速度 V 不大于 $L-1$ 像素每帧。

1.1 目标轨迹创建

设第 i 个目标运动到当前帧(第 k 帧)的轨迹为 T_i , T_i 用如下结构表示:

$T_i \{ (x, y) \}$ 第 k 帧目标位置;

$(LastX, LastY)$ 第 $k-1$ 帧中轨迹 T_i 经过的目标点的位置;

$(PredX, PredY)$ 第 $k+1$ 帧中轨迹 T_i 预测的目标点的位置;

$MatchFlag$ 点匹配标记;

$MatchNum$ 轨迹 T_i 中匹配点的总数;

$ConPredNum$ 轨迹 T_i 中连续预测目标点的总数;

Age 轨迹的总点数;

}

1.2 轨迹预测

轨迹预测公式:

(1) 若 $Age \leq 2$ 则

$$\begin{cases} PredX = x + (Age - 1)dx1 \\ PredY = y + (Age - 1)dy1 \end{cases}$$

(2) 若 $Age > 2$ 则

$$\begin{cases} PredX = x + dx1 + (dx1 - dx2) \\ PredY = y + dy1 + (dy1 - dy2) \end{cases}$$

其中, $dx1 = x - LastX$, $dy1 = y - LastY$; $dx2$ 、 $dy2$ 为轨迹前两帧的坐标位置差,轨迹坐标预测示意图如图1所示。

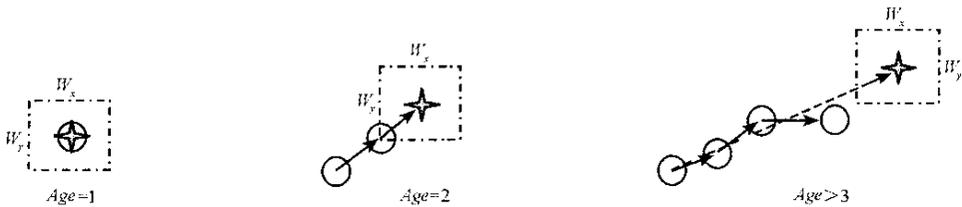


图1 预测过程示意图(○:实际位置,★:预测位置)

Fig.1 Predicting process(○:target real position, ★:target predicting position)

1.3 轨迹匹配

针对第 k 帧图像中轨迹 T_i 的预测点 $(PredX, PredY)$,在其对应的 $k+1$ 帧图像中的对应搜索窗内的特征点进行搜索匹配,设匹配特征点为 (X_p, Y_p) ,搜索匹配的准则是:

(1) 匹配特征点存在。

(2) 设 $D_x^p = X_p - PredX$, $D_y^p = Y_p - PredY$, 则轨迹匹配点应满足下列条件:

(a) $|D_x^p| \leq W_x/2$ 和 $|D_y^p| \leq W_y/2$, W_x, W_y 为搜索窗大小;

(b) $(D_x^p)^2 + (D_y^p)^2 = \min\{(D_x^m)^2 + (D_y^m)^2\}$, 其中, $m \in [0, \dots, \pm W_x/2]$, $n \in [0, \dots, \pm W_y/2]$

满足匹配准则的预测点,作为轨迹 T_i 在 $k+1$ 帧中的位置点,若存在这样的匹配点,则该点的匹配记录加1,轨迹 T_i 记录更新。若不存在匹配点,则直接以预测点 $(PredX, PredY)$ 作为轨迹在 $k+1$ 帧内的位置点。

1.4 预测窗口的选取

搜索窗口的选取准则为:单点预测时,预测点在速度窗口内搜索;两点预测时,轨迹长度没有达到门限 T_L ,进行方向限制($\pm 90^\circ$ 以内);三点以上时,减少方向限制($\pm 30^\circ$ 以内)如图2所示, $\theta = 60^\circ$;具体描述如下。其中, L 为能量积累帧数, V_x 、 V_y 为累加后速度。

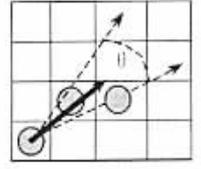


图2 方向限制示意图
Fig.2 Moving direct restriction

(1) 当 $Age = 1$ 时,搜索窗为 $W_x = 2V_x + 1, W_y = 2V_y + 1$;

(2) 当 $Age = 2$ 时,搜索窗为 $W_x = L + 2, W_y = L + 2$;

(3) 当 $Age > 2$ 时,搜索窗为 $W_x = L, W_y = L$ 。

1.5 轨迹置信度检验

轨迹置信度检验门限 M 可以根据多帧检测概率要求,以及轨迹在图像序列中存在的最小判决帧长度 T_L 的要求,按照多数、密集原则的方法选取,具体方法参见文献[7]中置信度检验门限的设置方法;当轨迹 T_i , $ConPredNum \geq M$ 时,删除该轨迹 T_i 。这是因为轨迹点是由连续预测的点组成的,变得不可靠,应予以删除。

构造轨迹置信度检验统计量:

$$\alpha_k = \begin{cases} \frac{1}{L}(\alpha_{k-1} + \Delta\alpha), & 0 \leq k \leq T_L \\ \frac{k-1}{k}\alpha_{k-1} + \frac{1}{k}\Delta\alpha, & k > T_L \end{cases}$$

并设初值 $\alpha_{-1} = 0$,式中 $\Delta\alpha$ 为轨迹置信度增量, $k = T_i$. Age , α_k 为经过 k 帧运算后得到的某条轨迹的总的置信度。

当轨迹 T_i , $Age \geq L$ 时,轨迹置信度可以简单地计算为 $\alpha_k = MatchNum / Age$ 。

事先由给定的虚警和检测概率确定好置信度高、低门限 α_H 与 α_L 。若 $\alpha_k > \alpha_H$,则确定轨迹 T_i 为检测出的真实目标轨迹,对应在新输入的 $k+1$ 帧中的轨迹特征点即为检测出的目标位置点。若 $\alpha_k < \alpha_L$,则删除该轨迹。若 α_k 介于两者之间,则继续观测,并根据特征点匹配情况不断更新轨迹 T_i 的记录。

1.6 多目标轨迹匹配

针对目标运动轨迹可能存在交叉的情况,此算法并不是将输入图像中的目标点仅仅允许与一条轨迹的特征点进行关联匹配,而是允许输入图像中的目标点与多条轨迹的特征点匹配。处理方法是将匹配目标点的匹配标志不限制为 1,而是其被匹配一次,则其匹配记录就增加 1。虽然允许不同的轨迹可以同时匹配到同一目标点上,但是由算法中的预测机制,还是可以保证轨迹在后面图像中的位置点得到正确的预测与匹配,而不会出现轨迹被“拉走”的情况,同时可以完成多轨迹的输出。

1.7 轨迹的缓存及长轨迹保留与关联

由于噪声干扰,检测的轨迹可能出现断续的情况,当输入新的图像中得到 T_i 轨迹的判决为真时,可以根据其 T_i 历史信息,进行长轨迹保留与关联,获得长轨迹输出,并保留目标的灰度与运动信息,进行目标识别与跟踪处理,关联的方法采用最小二乘拟合,如图3所示。

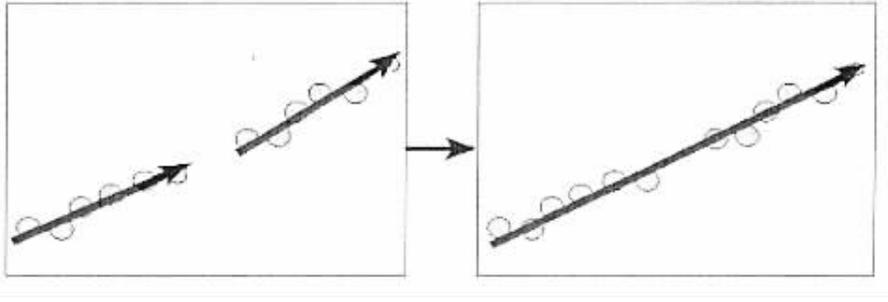


图3 轨迹保留、拟合关联的示意图

Fig.3 Trajectory keep and matching

2 实验结果与分析

实验采用高斯白噪声序列图像,在此序列的噪声图像中加入连续直线运动和近似直线运动的多个点目标,经过多帧能量积累后,对图像进行分割,然后应用上述算法。

2.1 实验参数

(1) 128 × 128 的红外图像,信噪比 SNR = 2.2 ;

(2) 目标速度单位为 Pixel/Frame,且为能量积累后速度;

(3) 积累后图像的分割阈值由 $P_F = \Phi[(Th - \mu)/\sigma]$ 计算,其中 P_F 为给定的虚警率,分割和计算方法参见文献 [10]。积累帧数 $L = 4$,位置单位为像素,初始位置为:

$$\begin{cases} V_{x_1} = 1.2 \\ V_{y_1} = 2.8 \end{cases}, \begin{cases} V_{x_2} = 1.2 \\ V_{y_2} = -2.8 \end{cases}, \begin{cases} V_{x_4} = 0.0 \\ V_{y_4} = 2.8 \end{cases}, \begin{cases} V_{x_4} = 2.8 \\ V_{y_4} = 0.0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_1(1) = 24 \\ y_1(1) = 24 \end{cases}, \begin{cases} x_2(1) = 24 \\ y_2(1) = 104 \end{cases}, \begin{cases} x_3(1) = 24 \\ y_3(1) = 19 \end{cases}, \begin{cases} x_4(1) = 19 \\ y_4(1) = 24 \end{cases}$$

2.2 实验结果

实验结果如图 4,其中 (a) 为原始图像 (b) 为累加分割的二值图像 (c) 为目标真实轨迹图像 (d) 为第 10 帧轨迹检测图像 (e) 为第 20 帧轨迹检测图像 (f) 为第 23 帧轨迹检测图 (g) 为第 30 帧轨迹检测图像 (h) 为长轨迹保留、关联检测图像。

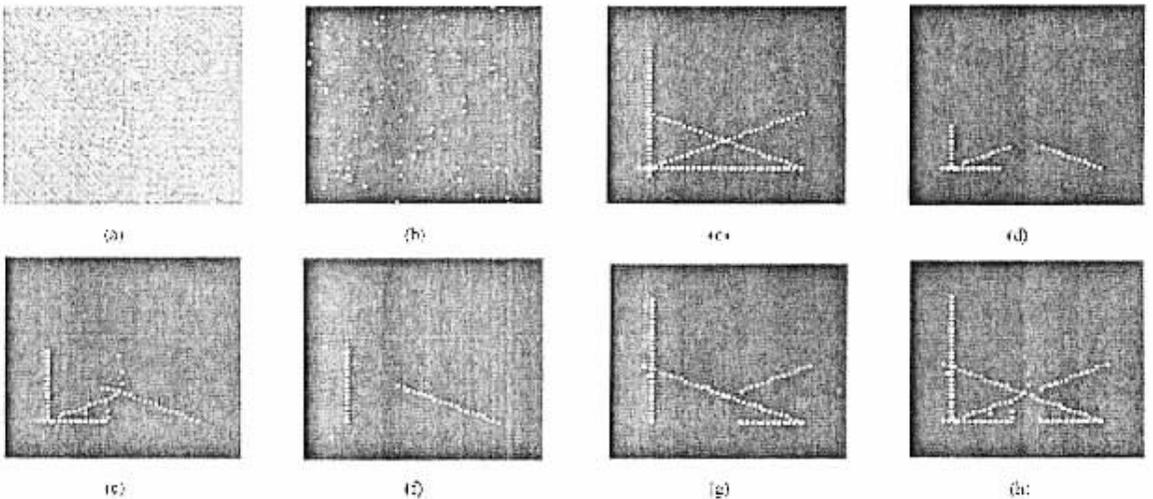


图4 目标轨迹检测结果图片

Fig.4 Targets trajectories detection result images

2.3 结果分析

当第 10 帧时算法能检测出全部目标轨迹,由于噪声点的干扰,使得第一和第三条轨迹渐渐地被噪声点拉走,这两条轨迹逐渐变得不可靠,在当前帧轨迹被删除,但由于算法具有重新建立轨迹的能力,当第 23 帧时,这两条轨迹又被重新跟踪和检测出来。本算法可有效地检测出轨迹交叉目标,对实验中目标轨迹被噪声点拉走而造成目标轨迹丢失的情况,可以通过多点预测、长轨迹拟合关联方法有效地克服,利于进一步的目标识别与跟踪。当 $SNR = 2.1$ 时,效果会变差,可在 100 帧内检测出目标;当 $SNR \leq 2$ 时,虚警较高,不再适用。

3 结论

算法主要解决序列图像中运动点目标轨迹检测问题。首先需要采用某种能量累积算法提高点目标的信噪比,根据系统要求的虚警率确定分割门限,得到包含目标点的二值图像序列,再使用算法得到目标运动轨迹,实现对运动点目标的检测目的。连续检测出目标点达到满足点目标跟踪条件后,转入跟踪处理,且在目标检测的同时开始收集点目标的灰度、运动及其它特征,对点目标进行识别处理,完成整个处理系统的目标跟踪任务。算法研究的点轨迹预测关联算法简捷,为研究序列图像中运动点目标的检测提供良好的算法支持,易于硬件实现。

参考文献:

- [1] Barniv Y. Dynamic Programming Solution for Detecting Dim Moving Targets [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System, 1985, 21(1).
- [2] Barniv Y, Kella O. Dynamic Programming Solution for Detecting Dim Moving Targets II [J], IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System, 1987, 23(6).
- [3] Blostein S D, et al. Detecting Small Moving Objects in Image Sequences Using Sequential Hypothesis Testing [J]. IEEE T-SP, 1991, 39(7).
- [4] Arnold J, Pasternack H. Detection and tracking of Low-observable Targets Through Dynamic Programming [C]. SPIE Signal and Data Processing of Small Targets, 1990, 1305-207.
- [5] Chen Huaming, Sun Guangfu, Lu Huanzhang. Multi-level Thresholding and Confidence Testing Detection Algorithm for Small Moving Target in Image Sequences [C]. SPIE, 2001, 4473-520-529.
- [6] Zhang Bing, Lu Huanzhang. The Predicting and Matching Detection Algorithm of Moving Point Target in Image Sequences [C]. IEEE International Conference on Neural Networks & Signal Processing, 2003.
- [7] 张志刚. 基于门限判别与轨迹关联—预测得点目标检测算法研究 [D]. 国防科技大学学位论文, 2000.
- [8] 陈尚锋. 基于加权动态规划的小目标检测算法研究 [D]. 国防科技大学学位论文, 2002.
- [9] 陈尚锋. 基于加权动态规划的小目标检测算法研究 [J]. 国防科技大学学报, 2002, 24(11).
- [10] 陈华明. 红外末制导点目标检测算法与信息处理系统实现技术研究 [D]. 国防科技大学学位论文, 2003.
- [11] 熊辉, 沈振康. 低信噪比运动红外点目标的检测 [J]. 电子学报, 1999(12).
- [12] 彭嘉雄, 周文琳. 红外背景抑制与小目标分割检测 [J]. 电子学报, 1999(12).

