

序列图像中运动点目标轨迹检测算法研究

张 兵, 卢焕章

(国防科技大学电子科学与工程学院 ATR 实验室, 湖南长沙 410073)

摘 要: 序列图像中弱运动点目标的实时检测算法, 是精确制导系统中的关键算法之一. 本文在对现有检测算法分析的基础上, 详细阐述和研究了利用 LS 线性预测器的点轨迹预测与匹配的目标轨迹检测算法, 并通过仿真实验进行验证, 最后指出此算法较以前的算法可更有效的从图像序列中检测出弱运动点目标的轨迹.

关键词: 点目标; 最小二乘线性预测器; 轨迹检测

中图分类号: TN911.17 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2004) 09-1524-03

The Detection Algorithm for Moving Point Target Trajectory in Image Sequences

ZHANG Bing, LU Huanzhang

(ATR Lab of National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract: The realtime detection algorithm for dim moving point target in image sequences is one of the key algorithms in precise guidance system. This paper presents a thorough analysis of a point track detection algorithm based on Linear Least Square Predictor after a brief discussion of the current algorithms for moving point target in image sequences. With the result of simulation test, it can be shown that the introduced algorithm can effectively detect moving point target trajectory in image sequences than previously developed algorithm.

Key words: point target; least square linear predictor; trajectory detection

1 引言

序列图像中弱运动点目标的实时检测算法是现代精确制导武器系统的关键算法之一. 一般来说, 该问题可从以下三个方面入手进行解决^[1,3,8]: (1)对原始图像进行预处理, 将背景杂波对消, 仅仅剩余白噪声、待检测的目标点和部分虚警杂波点; (2)对高斯白噪声环境下的点目标先进行多帧能量积累, 再进行阈值分割得到序列的二值图像; (3)对序列的二值图像中的目标进行轨迹的预测匹配关联处理, 得到最终的检测结果. 通过这三个方面的处理, 就可以实现从复杂背景下的序列图像中检测出弱点目标的目的.

本文主要研究上述的第三个问题, 即从序列的二值图像中的检测目标轨迹的算法, 而关于前两个问题的论述请参看文献[3,4,6]. 在面临的实际问题中, 图像的帧频很高, 达到100帧/秒. 目标距离探测器非常远, 它在探测器平面上成像为点或亚像素目标, 因此在初始检测阶段它的运动模型在短时间内(连续几帧图像内)可近似看成为匀速直线运动. 由于噪声虚警点是随机出现的, 不可能形成连续的轨迹, 而目标轨迹具有连续性, 因此可根据目标运动轨迹的连续性, 建立目标运动轨迹记录, 并对轨迹的下一点进行预测, 与下一帧图像中候选的目标点进行关联匹配. 当所建立的候选目标轨迹长度达到规定的长度时, 进行轨迹置信度检验, 检测出感兴趣的运

动点目标. 在以前的轨迹检测算法中的轨迹预测部分^[1,3,8], 采用候选轨迹的末端三点进行多项式插值预测下一帧图像中目标的位置坐标. 该插值算法的好处是预测过程简单, 运算量小, 但存在的问题是在有较多噪声虚警点干扰的情况下, 目标被噪声/拉走0后, 若仅使用三点插值预测算法, 则预测位置误差较大, 后续图像中分割出的目标点可能无法正确匹配到目标真实轨迹上, 导致丢失真实目标点.

这种情况出现的原因是三点插值预测算法没有充分利用已获得的轨迹多点位置信息进行预测, 使得预测误差较大. 而使用多点最小二乘(LS)线性预测器, 能最大程度的减小预测位置误差, 易于正确的关联匹配. LS线性预测器点数的选择要满足目标轨迹变化的要求, 它需要由目标轨迹符合/直线性0程度的先验信息确定. 在本文中根据实际目标轨迹检测的需要选择预测器点数为5, 仿真实验证明5点预测器能够满足预测准确和运算量较小的要求.

2 线性最小二乘预测器

假设目标在 t 时刻图像内的位置坐标为 (x_t, y_t) , 则所要解决的问题为: 利用已经得到的 k 个时刻目标点的位置, 由目标运动轨迹近似为直线的假设, 采用线性拟合的方法, 建立目标的运动轨迹方程, 并预测 $k+1$ 时刻目标的位置坐标 (x_{k+1}, y_{k+1}) . 表1给出在 $k=2, 3, 4, 5$ 时 LS 预测器的解. 详细

推导请参看文献[2].

表 1 k=2,3,4,5 时 LS 预测器的解

k	\hat{x}_{k+1}
2	$\hat{x}_3 = 2x_2 - x_1$
3	$\hat{x}_4 = \frac{1}{3}[4x_3 + x_2 - 2x_1]$
4	$\hat{x}_5 = \frac{1}{2}[2x_4 + x_3 - x_1]$
5	$\hat{x}_6 = \frac{1}{10}[8x_5 + 5x_4 + 2x_3 - x_2 - 4x_1]$

3 基于线性最小二乘预测器的点目标轨迹检测算法

3.1 建立点目标的运动轨迹记录

假设第 i 个点目标的轨迹为 T_i , T_i 的信息用下面的记录表示:

- (x, y): 当前图像帧内(第 k 帧)目标点的位置;
- (LastX, Last Y): 前一图像帧(第 k-1 帧)内轨迹 T_i 经过的目标点的位置;
- (PredX, Pred Y): 后一图像帧(第 k+1 帧)内轨迹 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.

3.1.2 预测过程

- 若 Age=1, 则 PredX= x, Pred Y= y.
- 若 Age ≥ 2, 则使用 LS 线性预测器, 预测器点数最多为 5.

3.1.3 搜索匹配过程

考虑到在不同阶段时对轨迹点的预测精度不同, 允许的预测误差也不同, 所以在输入的新图像中以 (PredX, PredY) 为中心的搜索匹配窗的大小是不同的. 设 V_x 和 V_y 为点目标在 x 和 y 方向的帧间最大运动速度, 则以 (PredX, PredY) 为中心的搜索窗为以下两种:

- (1) 当 Age=1 时, 搜索窗大小为 $(2V_x + 1) \times (2V_y + 1)$;
- (2) 当 Age ≥ 2 时, 搜索窗大小为 5×5 ;

第 k 帧图像中轨迹的预测点为 (PredX, PredY), 在第 k+1 帧图像中的对应搜索窗内进行搜索匹配点. 匹配的准则是选择距离预测点最近且与轨迹预测方向夹角不超过 45 度的点, 作为轨迹 T_i 在 k+1 帧图像中的位置点. 若存在这样的匹配点, 则该点被匹配的记录加 1. T_i . MatchNum+1, T_i . MatchFlag=1, T_i . ConPredNum=0, 轨迹 T_i 的记录更新.

若第 k 帧图像中轨迹 T_i 的预测点 (PredX, Pred Y) 在 k+1 帧图像中的对应搜索匹配窗内不存在匹配点, 则直接以预测点 (PredX, PredY) 作为轨迹 T_i 在 k+1 帧内的位置点. T_i . ConPredNum+1, T_i . MatchFlag=0, 轨迹 T_i 的记录更新.

3.1.4 轨迹置信度检验

当 T_i . ConPredNum >= M 时, 则删除轨迹 T_i . 因为它由 M 个连续的预测点组成, 可能为噪声虚警点形成的轨迹, 应予以

删除.

当轨迹 T_i . Age >= L 时, 计算 $A = \frac{MatchNum}{Age}$.

事先由给定的虚警概率和检测概率确定好置信度高低门限 A_H 与 A_L . 若 $A > A_H$, 则判决轨迹 T_i 为检测出的真实目标轨迹, 对应在新输入的 k+1 帧中的轨迹位置点即为检测出的目标位置点. 若 $A < A_L$, 则删除该轨迹. 若 A 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新轨迹 T_i 的记录.

3.1.5 算法流程图

3.1.6 补充说明

(1) 在本算法中, 轨迹 T_i 的所有历史记录均予保留, 这样的好处是一旦在输入新的图像中判决轨迹 T_i 为真时, 则可以根据 T_i 的历史信息, 获得目标点在整个历史轨迹中的位置、灰度与速度时间序列值. 由此可以提取出目标的灰度与运动特征, 进行目标识别处理.



图 1 算法流程图

(2) 针对目标运动轨迹可能存在交叉的情况, 本算法并不是仅仅允许输入图像中的目标点与一条轨迹进行关联匹配, 而是允许输入图像中的目标点与多条轨迹关联匹配. 处理的方法是将待匹配目标点的匹配标志不限制为一, 而是其被匹配一次, 则匹配记录就增加一. 虽然允许不同的轨迹可以同时匹配到同一目标点上, 但是由算法中的轨迹预测机制, 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和匹配, 而不会出现轨迹被/ 拉走0, 发生丢失的情况.

4 实验结果与分析

4.1 实验参数

图像维数为 128 @128, 序列图像帧长为 20. 背景为服从 N(0, 1) 分布的白噪声二维图像. 给定噪声虚警概率为 $P_f = 0.162\%$, 目标检测概率为 $P_d = 80\%$, 则图像中的虚警点个数为 $N \times N \times P_f \times U \times 100$. 由给定的虚警概率和检测概率可确定图像的分割门限为 $u = 21.5$, 嵌入点目标的信噪比为 $SNR = 31.35$. 为同时验证此算法对多目标和交叉轨迹的检测效果, 实验中设计有四个连续运动的点目标, 运动方向分别为沿垂直、水平和两个斜对角线方向. 目标的轨迹方程为:

$$\begin{cases} x(k+1) = x(k) + V_x + A_m D(k) \\ y(k+1) = y(k) + V_y + A_m D(k) \end{cases} \quad (1)$$

其中 $A_m = 1$ 为随机扰动的幅度, $D(k)$ 为 [0, 1] 之间均匀分布的随机扰动量. V_x, V_y 为目标在 x 和 y 方向的运动速度. 四个初始位置坐标为 (24, 24)、(24, 104)、(24, 19)、(19, 24). 目标速度为:

$$\begin{cases} V_{x1} = 11.2 \text{ pix/frame} \\ V_{y1} = 21.8 \text{ pix/frame} \\ V_{x3} = 0 \text{ pix/frame} \\ V_{y3} = 21.8 \text{ pix/frame} \end{cases} \begin{cases} V_{x2} = 11.2 \text{ pix/frame} \\ V_{y2} = -21.8 \text{ pix/frame} \\ V_{x4} = 21.8 \text{ pix/frame} \\ V_{y4} = 0 \text{ pix/frame} \end{cases}$$

4.1.2 检测结果

4.1.3 结果分析

对比真实目标的运动轨迹与门限分割后的轨迹可知, 在

指定检测概率下,由于噪声的干扰,目标轨迹上的点经门限分割后存在/丢失0的情况.虽然目标的速度具有微小随机扰动,但是其运动轨迹在短时间(少数几帧序列图像)内仍可近似的看成为直线段.当 $k=13$ 时,算法检测出三条轨迹;当 $k \geq 17$ 时,算法能正确检测出全部四条轨迹.观察轨迹检测结果可知,采用 LS 线性预测器可有效避免真实目标轨迹被少数噪声虚警点/拉走0情况的发生,并且在前面图像分割结果中目标轨迹已经丢失少数点的情况下,也可正确的预测与匹配到真实目标点,检测出目标轨迹.

5 结论与展望

本文针对序列图像中点目标运动轨迹检测问题,提出了利用最小二乘线性预测器的检测算法.算法经理论分析与仿真实验验证表明,相对于基于三点插值预测器的轨迹预测匹配算法,它可以有效的检测出短时有微小随机扰动的点目标运动轨迹,最终实现检测序列图像中弱点目标的目的.

应该指出的是本文的算法仅利用了图像中点目标的位置信息进行轨迹预测与匹配处理,而没有利用点目标的灰度连续性信息.在算法的轨迹预测匹配过程中,只要在下一帧图像中有满足目标轨迹近似直线连续的点就认为它是该轨迹的匹配点,而对有多个匹配点的情况下只能任选其一.若考虑到真实目标点还具有的灰度连续性信息可资利用,则可以进一步提高目标点的正确匹配概率,进而提高对整条目标轨迹的检测的可靠性.该改进算法的思想类似于利用目标幅度信息的 PDAI2AI(幅值概率数据关联滤波器)算法思想^[9],这方面的研究成果将在后续文章中给出.

当检测出的目标满足起始跟踪条件后,则转入对该目标的精确跟踪处理,同时提取出目标的灰度、运动及其它特征信息,对目标进行识别等处理,完成整个精确制导处理系统的任务.本文所研究的轨迹检测算法简单明了,易于编程实现,为研究序列图像中低信噪比运动点目标的检测提供了良好的算法支持.

参考文献:

- [1] Zhang Bing, Lu Huanzhang. The predicting and matching detection algorithm of moving point target in image sequences[A]. IEEE International Conference on Neural Networks & Signal Processing[C]. Nan2 Jing, China: ICNNSP, 2003.
- [2] 杨宜禾,周维真. 成像跟踪技术导论[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 1991. 129- 134.
- [3] 陈尚峰. 基于加权动态规划的小目标检测算法研究[D]. 长沙:国防科技大学研究生院, 2002, 12.



- [4] Y Ba2Shalom. Multi2target Multi2 sensor Tracking: Advanced Applications[M]. Norwood, MA, USA: Artech House Inc, 1990. Chapter 4.
- [5] 朱振福. 可见光导引头方案论证报告[A]. 86240923 动态跟踪与技术发展研究文集[C]. 北京: 国家高技术 40923 专题组, 1994. 63- 78.
- [6] 陈华明. 图像未制导中弱小运动点目标检测算法与实现技术[D]. 长沙: 国防科技大学研究生院, 2003, 6.
- [7] 周宏仁, 敬忠良, 王培德. 机动目标跟踪[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991. Chapter 14.
- [8] Chen HuaMing, Sun Guangfu, Lu Huanzhang, et al. Multi2level thresholding and confidence testing detection algorithm for small moving target in image sequences[A]. Proceeding of SPIE[C]. San Diego, CA, USA: SPIE Vol. 4473, 2001. 520- 529.
- [9] D Leno, Y Ba2Shalom. Interacting multiple model tracking with target amplitude feature[J]. IEEE Trans on AES, 1993, 29(2): 494- 508.

作者简介:



张 兵 男, 1976 年 8 月出生于黑龙江齐齐哈尔, 1998 年获国防科技大学工学学士学位, 2001 年获国防科技大学工学硕士学位, 现为国防科技大学在读博士生, 当前的研究方向为多波段红外成像导引头信息处理算法及其实现.
Email: gfkzdb@163.com



卢焕章 男, 1963 年 11 月出生于湖南桃源, 教授, 博士生导师, 1994 年于国防科技大学通信与电子系统专业博士毕业, 精确制导自动目标识别(ATR)国防科技重点实验室副主任, 主要从事光学图像自动目标识别、实时系统与专用集成电路、数字系统高层综合等方面的教学与科研工作.