

红外多目标跟踪算法研究

黄常青, 郑 链, 宋承天

(北京理工大学 机电工程学院, 北京 100081)

摘要:介绍了红外搜索跟踪系统中多目标跟踪与航迹生成算法,采用极坐标数据进行数据的关联和滤波,采用基于逻辑的最近邻原则并结合目标的红外辐射特性进行航迹关联,实现多目标跟踪起始和终结。

关键词:多目标跟踪; 航迹关联

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)02-0188-04

Infrared multitarget tracking algorithm

HUANG Chang-qing, ZHENG Lian, SONG Cheng-tian

(School of Mechatronics Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: An algorithm for tracking multitarget and tracking generation of the infrared researching and tracking system are introduced. The polar coordinates data is choosen for correlation and filter, the nearest neighbour principle based on logic and infrared characteristic of the target is adopted to realize the multitarget tracking.

Key words: Multitarget tracking; Tracking correlation

0 引言

多目标跟踪的目的是将探测器所接收到的量测数据分解为对应于不同信息源所产生的不同观测集合或轨迹。一旦轨迹形成和被确认,则被跟踪的目标数以及相应于每一条轨迹的目标运动参数,如位置、速度、加速度及目标分类特征等,均可相应地估计出来。多目标跟踪问题包括许多方面,主要有跟踪门(关联区域)的形成、数据关联与跟踪维持、跟踪起始与跟踪终结、漏报与虚警等。其中,数据关联是多目标跟踪技术中最重要且最困难的方面。

红外搜索和跟踪系统的主要特点是被探测目标

的尺寸与探测距离相比,可认为是点源目标,因而红外搜索和跟踪系统通常采用热点跟踪方式。由于红外传感器对目标的跟踪仅有角度测量的跟踪,不能提供目标的距离信息,因而在对目标跟踪时面临的一个较困难的问题就是系统对目标距离状态所存在的固有非线性和不可观测性问题。对目标运动的理论分析表明,当目标和红外传感器间相对加速度为零时,目标的距离状态是不可被观测的,因而不能对目标的距离状态进行最优估计。

1 跟踪门选择

跟踪门是跟踪空间中的一块子空间,中心位于被

跟踪目标的预测位置,其大小由接收正确回波的概率确定。跟踪门规则是将观测回波分别分配给已建立的目标轨迹或新目标轨迹的一种粗检测方法。其目的主要是确定候选回波和建立新的假定轨迹。

红外搜索跟踪系统的点迹数据只有角度量测,没有径向速度量测,目标的运动模型难以建立,在实际工程中,系统的采用率较高,目标成像面积小且距离很远,目标运动的机动性较小,故目标运动可近似为等速直线运动。因此,本文采用极坐标数据作为跟踪门形成的空间,并用极坐标数据进行数据的关联和滤波。

设目标 i 方位角和俯仰角在 $k(k \geq 2)$ 时刻的状态预测值分别为 $\hat{\varphi}_i(k+1/k)$ 和 $\hat{\varepsilon}_i(k+1/k)$, 在 $k+1$ 时刻第 j 个目标的测量值为 $\varphi_j^m(k+1)$, $\varepsilon_j^m(k+1)$, 则可形成如下的后续相关波门^[1]:

$$\left| \varphi_j^m(k+1) - \hat{\varphi}_i(k+1/k) \right| < K_\varphi (\delta_\varphi^2 + \hat{\delta}_\varphi^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$\left| \varepsilon_j^m(k+1) - \hat{\varepsilon}_i(k+1/k) \right| < K_\varepsilon (\delta_\varepsilon^2 + \hat{\delta}_\varepsilon^2)^{1/2} \quad (2)$$

式中 $\delta_\varphi, \delta_\varepsilon$ 为方位和仰角测量误差方差; $\hat{\delta}_\varphi, \hat{\delta}_\varepsilon$ 为方位和俯仰的滤波器预测方差; K_φ, K_ε 为波门系数。 $\delta_\varphi, \delta_\varepsilon$ 由红外警戒系统的战术技术指标给出,通常在 1 m rad 量级。门限系数 K_φ, K_ε 根据目标的机动性调整。

2 跟踪起始和数据关联

跟踪起始是建立新的目标档案的决策方法,主要包括假定轨迹形成、轨迹初始化和轨迹确认三方面。一般,用不与已知目标轨迹相关的观测集合形成新的假定轨迹,进而对轨迹进行初始化处理。跟踪起始常用的方法有 M/N 法,即在 N 次扫描中出现 M 次相关 ($M < N$) 来确定跟踪起始,以及基于目标后验概率的决策分析方法等。一旦形成新的假定轨迹,则需采用轨迹确定原则确认目标,消除虚假目标,实现轨迹确认。

基于逻辑的最近邻方法^[2]是在给定的数据窗内,根据获得的数据对目标的速度进行估计。如果估计的速度在指定的取值范围内,则生成一条暂时的航迹,

然后对第三帧目标的位置进行预测,并以预测位置为中心,确定一个关联区域,任何落在关联区域的点迹将扩展一条暂时的航迹,继续估计速度值及加速度值,再根据速度和加速度的估计值对下一帧的位置进行预测并建立相应的关联区域,任何落在关联区域的点迹将生成一条新的航迹。然后,对所有生成的航迹用二次曲线进行拟合,如果航迹上的点和拟合曲线的误差在一定范围内,则确认该航迹;如果不满足条件,则删除该航迹。

红外目标的红外辐射量是对其识别的一个重要的特征^[3],所以,在点迹与航迹相关时,可参考目标的红外辐射量实现航迹的相关,如果不能测量红外辐射强度,目标的灰度也可作为特征进行相关。假设前 N 帧已知目标航迹的红外辐射量为 $g(t_k)$ ($k=1, 2, \dots, N$), 采用基于最小二乘法的平方预测器对下一帧的红外辐射量 $\hat{g}(t_{k+1})$ 进行预测:

$$g(t_{k+1}/t_k) = b_0 + b_1 t_{k+1} + b_2 t_{k+1}^2 \quad (3)$$

式中

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{|A|} \begin{bmatrix} c_{11} \sum_{k=1}^N g(t_k) + c_{21} \sum_{k=1}^N g(t_k)t_k + c_{31} \sum_{k=1}^N g(t_k)t_k^2 \\ c_{12} \sum_{k=1}^N g(t_k) + c_{22} \sum_{k=1}^N g(t_k)t_k + c_{32} \sum_{k=1}^N g(t_k)t_k^2 \\ c_{13} \sum_{k=1}^N g(t_k) + c_{23} \sum_{k=1}^N g(t_k)t_k + c_{33} \sum_{k=1}^N g(t_k)t_k^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$A = \begin{bmatrix} N & \sum_{k=1}^N t_k & \sum_{k=1}^N t_k^2 \\ \sum_{k=1}^N t_k & \sum_{k=1}^N t_k^2 & \sum_{k=1}^N t_k^3 \\ \sum_{k=1}^N t_k^2 & \sum_{k=1}^N t_k^3 & \sum_{k=1}^N t_k^4 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中 $c_{ij}(i, j=1, 2, 3)$ 是行列式 $|A|$ 的余因子。

设下一帧第 i 个目标的红外辐射量的预测误差为:

$$\Delta g = g_{k+1}^i - \hat{g}_{k+1} \quad (6)$$

目标方位和俯仰角度数据的预测误差的误差和

为:

$$\Delta D = \sqrt{\frac{(\hat{\varphi}_i^m(k+1) - \hat{\varphi}_i(k+1/k))^2}{\delta_\varphi^2 + \delta_\varphi'^2} + \frac{(\hat{\varepsilon}_i^m(k+1) - \hat{\varepsilon}_i(k+1/k))^2}{\delta_\varepsilon^2 + \delta_\varepsilon'^2}} \quad (7)$$

在对两个误差量归一化后,通过红外辐射量误差和目标方位角及俯仰角误差加权合成的方法,根据最近邻原则取最小值的目标点进行点迹相关:

$$\Delta P = m * \Delta g + (1-m) * \Delta D \quad (8)$$

式中 m 为加权系数,考虑到目标的运动参数更能体现运动目标的特征,且由于背景干扰目标红外辐射量存在不稳定性,所以 m 的权值较小,一般为[0.1,0.3]。

当目标比较密集,系统存在噪声的情况下,以上基于最近邻原则的单帧外推的点迹相关可能存在误匹配。为了降低误匹配的概率,利用多帧的目标轨迹的连续性特性来提高点迹相关的准确性。具体做法是:已知第 $N-1$ 帧、第 $N-2$ 帧的目标位置,如果当第 N 帧时,在第 $N-1$ 帧目标位置的附近出现了多个目标,则在第 N 帧仅记录下所有的目标位置,不进行其他处理;在第 $N+1$ 帧根据第 $N-2$ 、 $N-1$ 、 N 、 $N+1$ 这几帧图像中目标运动轨迹的连续性确定第 N 、 $N+1$ 帧的真正目标位置。采用二维向量进行轨迹连续性检测,原理如图 1 所示。

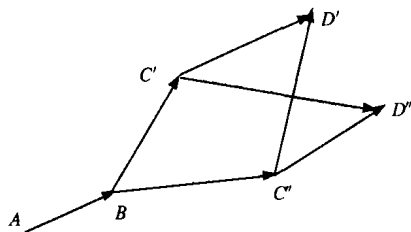


图1 点迹相关的二维向量法

Fig.1 Method of two-dimensional vector based on point-track correlation

图中 A 、 B 、分别表示第 $N-2$ 、 $N-1$ 帧的真实目标位置, C' 、 C'' 表示第 N 帧的候选目标点, D' 、 D'' 表示第 $N+1$ 帧的候选目标点。目标在 $N-2$ 到 $N+1$ 这段时间内,可能的轨迹有: $A \rightarrow B \rightarrow C' \rightarrow D'$ 、 $A \rightarrow B \rightarrow C' \rightarrow D''$ 、 $A \rightarrow B \rightarrow C'' \rightarrow D'$ 和 $A \rightarrow B \rightarrow C'' \rightarrow D''$, 由目标运动轨迹的连续性可知,其中最平滑的一条轨迹最有可能是目标的轨迹。在比较轨迹的平滑度时,采用的是向量差的方法。采用向量差,是因为向量不仅具有大小,还具

有方向,这一点与目标的运动速度的性质相同。

例如:在轨迹 $A \rightarrow B \rightarrow C' \rightarrow D'$ 中,向量差的计算方法为:

$$D = |\overrightarrow{BC'} - \overrightarrow{AB}| + |\overrightarrow{C'D'} - \overrightarrow{BC'}| \quad (9)$$

可见,平滑的轨迹具有较小的向量差值,对每一条可能的轨迹都进行向量差计算,其中向量差最小的一条最有可能是目标运动轨迹,以此为依据,得出第 N 帧和第 $N+1$ 帧的目标真正位置。

跟踪终结是跟踪起始的逆问题。当被跟踪目标逃离跟踪空间或者被摧毁时,其状态的更新质量下降。为避免不必要的存储和计算,跟踪器必须做出相应的决策,以消除多余的目标档案,完成跟踪终结功能。典型的跟踪终结方法有 N_d 次连续丢失目标的跟踪终结方法和概率决策分析方法^[4-8]。本文采用基于逻辑的最近邻算法进行跟踪起始,采用 N_d 次连续丢失目标的跟踪终结方法。

5 算法仿真

图像大小为 320×240 , 以外场采集的天空为背景,仿真 6 个运动目标,大小约为 10 个像素,分别作直线、曲线运动,运动速度为 1~3 像素/帧;平均信噪比为 2.5,航迹如图 2 所示,采用本文算法的多目标跟踪结果如图 3 所示,从图中可看出,所有的目标航迹均正确捕获,在航迹较近和交叉时,航迹的关联也准确,体现了良好的多目标跟踪性能。

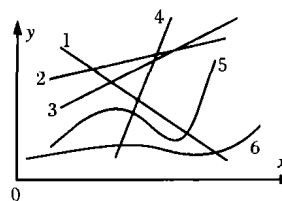


图2 仿真多目标航迹

Fig.2 Multitarget simulation tracking

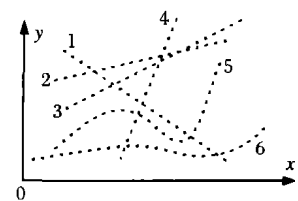


图3 目标航迹检测

Fig.3 Target tracking detection tracking

图 4 为红外图像序列的某一帧,图 5 为红外目标灰度值测量曲线,可以看出红外目标灰度在帧间具有很强的相关性。图 6 是在跟踪窗口内检测到的候选目标个数,为 0~7 个,图 7 和图 8 分别是目标在高低和方位方向上的运动轨迹。图 9 和图 10 分别是高低和方位方向目标轨迹的偏差变化曲线,由于目标真实轨

迹不知,目标轨迹偏差采用目标检测轨迹和预测轨迹的差值。采用本文的多目标跟踪算法,无论在目标暂时丢失,还是在跟踪门存在多个候选目标时,跟踪算法均能够正确关联航迹和跟踪目标,对该序列图像统计结果表明跟踪精度约为 1 像素,说明本算法在较高杂波下具有稳定的目标跟踪性能。

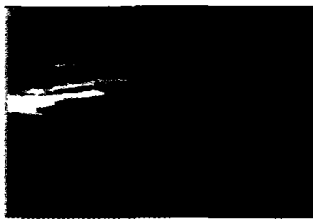


图 4 原始图像

Fig.4 Original image

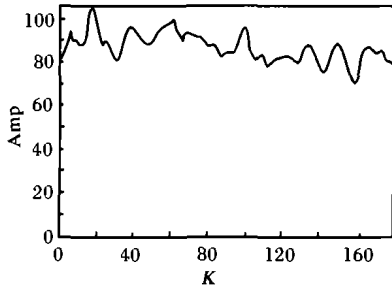


图 5 目标测量幅度变化曲线

Fig.5 Variational curve of target measure range

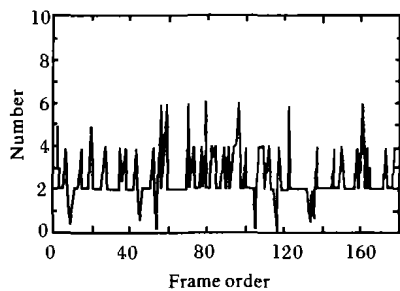


图 6 跟踪窗口中候选目标个数

Fig.6 Numbers of selected target

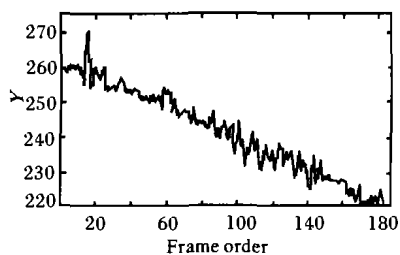


图 7 目标轨迹(高低)

Fig.7 Target tracking in the tracking window(high-low)

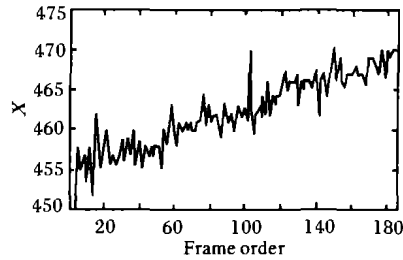


图 8 目标轨迹(方位)

Fig.8 Target tracking(azimuth)

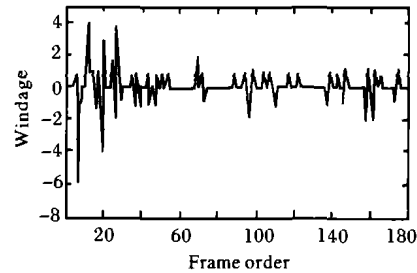


图 9 轨迹偏差(高低)

Fig.9 Tracking windage(high-low)

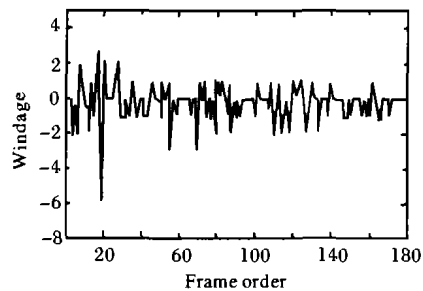


图 10 轨迹偏差(方位)

Fig.10 Tracking windage(azimuth)

参考文献:

- [1] 潘丽娜.红外警戒系统中的数据互联算法[J].红外与激光工程, 1998,27(6):5-7.
- [2] 罗鹏飞,张文明.一种多目标跟踪航迹起始新算法及其性能评估[J].国防科技大学学报,1999,21(6):51-54.
- [3] 胡磊力,陈钰清,丁贤澄,等.一种多目标跟踪起始和数据关联的快速算法[J].电光与控制,2000,80(4):5-9.
- [4] 徐志弘.基于红外全方位警戒系统的多目标跟踪处理[J].舰船光学,1995,(2):19-25.
- [5] 原新,朱齐丹.舰载指控系统航迹相关算法研究[J].哈尔滨工业大学学报,2002,34(1):125-127.
- [6] 王学伟,何友.舰载红外警戒系统多目标跟踪算法研究[J].火力与指挥控制,1999,24(1):38-42.
- [7] 周绍光,熊仁生,吴圣熊,等.多目标跟踪[J].光子学报,1997,26(2):149-153.
- [8] 王国宏,毛士艺,何友.红外传感器目标跟踪算法[J].火力与指挥控制,2001,26(2):5-9.