

一种基于多传感器数据融合的目标跟踪算法

王鲁平, 李 飏, 胡敏露

(国防科技大学 ATR 室, 湖南 长沙 410073)

摘 要:在制导与跟踪系统中, 雷达和红外成像传感器所固有的优缺点, 决定了其自身的局限性, 为综合利用上述传感器信息, 提高目标跟踪精度, 提出了一种基于雷达和红外成像传感器数据融合的交互多模目标跟踪算法, 算法首先对红外图像进行处理, 然后基于上述处理结果, 利用交互多模算法对雷达观测信息进行目标跟踪, 最后采用分布式数据融合算法得到最终目标的跟踪结果。在有效提高跟踪精度的同时, 减少了运算量。

关键词:交互多模; 目标跟踪; 数据融合

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)02-0194-04

Target tracking algorithm based on the data fusion of multi-sensor

WANG Lu-ping, LI Biao, HU Min-lu

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

Abstract: Radar and IR image sensor both have disadvantages because of their intrinsic characters. For improving the target tracking performance, an IMM target tracking algorithm is proposed to synthesize the information from both of them. In this algorithm, IR image was processed by digital image processing technology firstly. Then its result was fused with the radar information in the algorithm of IMM target tracking. At last, the final tracking result was got through distribution method. This algorithm can reduce operating time and improve the tracking precision.

Key words: Interactive multi-mode; Target tracking; Data fusion

0 引 言

在制导与跟踪系统中, 雷达起着重要的作用, 但雷达自身存在一定的缺陷: 容易受到电子干扰和反辐射导弹的攻击; 存在搜索盲区等等。与雷达不同, 红外成像探测器属于被动式探测器, 它通过接收目标的

热辐射来进行目标成像, 因此可以避免雷达的上述缺陷, 同时红外成像探测器还具有测角精度高、目标识别能力强的优点, 同样红外成像传感器也存在着探测距离近, 受天气影响大, 不能提供目标距离信息等缺点。因此利用数据融合技术将雷达和红外成像传感器联合使用, 可以有效地弥补各自的缺点, 提供精度较高的目标位置和目标状态估计。

收稿日期: 2003-05-23; 修订日期: 2003-05-23

作者简介: 王鲁平(1974+), 男, 山东青州人, 博士研究生, 研究方向为数字信号处理及目标自动识别。

在充分分析已有文献的基础上,提出一种新的基于雷达和红外成像传感器信息融合的多模目标跟踪算法,该算法充分利用传感器的具体特点,在有效提高跟踪精度的同时,减少了运算量,从而取得了较好的跟踪效果。

1 交互多模目标跟踪算法

由于目标运动模型是未知的,而且随时间的变化而变化,因此在目标跟踪过程中,采用一种单一的目标运动模型很难准确描述目标的运动状态,交互多模算法(IMM)就是引入多个目标运动模型,并且对每个模型给出的目标运动状态估计按一定概率进行加权,从而实现目标跟踪。

整个交互多模算法的流程如图 1 所示。

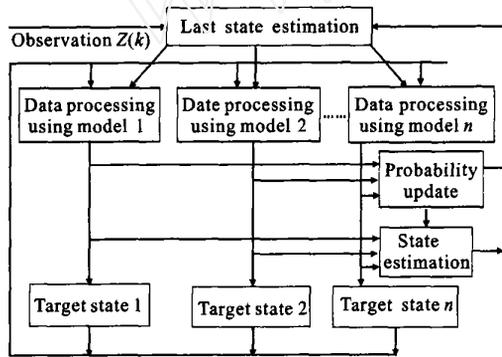


图 1 IMM 算法流程图

Fig. 1 Flow chart of IMM algorithm

从图 1 可以看出,交互多模算法分为四个流程:

- (1) 可根据 $k - 1$ 时刻各个模型的目标状态,得到 k 时刻模型 i 的初值 $X^{0i} - (k - 1 | k - 1)$ 和其相应的协方差矩阵 $P^{0i} - (k - 1 | k - 1)$ 。
- (2) 按照各运动模型的测量方程和状态转移方程进行 kalman 滤波。
- (3) 根据各模型的数据处理结果,更改该模型的加权概率。
- (4) 根据各模型目标的状态估计和更新后的模型概率,得到最终目标状态估计。

2 基于雷达和红外成像传感器信息融合的目标跟踪算法

假定雷达和红外成像传感器同步工作,基于雷达

和红外成像传感器信息融合的目标跟踪算法的基本流程如图 2 所示。

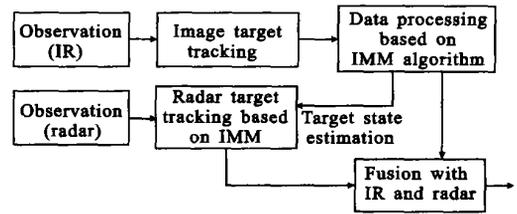


图 2 基于雷达和红外传感器信息融合的目标跟踪算法流程

Fig. 2 Target tracking algorithm based on fusion with radar and IR

依据目标上一时刻的位置 (x_0, y_0, z_0) 和目标速度 (v_x, v_y, v_z) , 利用投影定理换算可以得到目标在红外图像中的位置 (x_0, y_0) 以及目标在上一时刻在图像中 x, y 方向的运动速度 (v_x, v_y) , 以 (x_0, y_0) 为此次红外图像处理的目标跟踪窗中心, 根据目标上一时刻的运动速度 (v_x, v_y) , 可以得到目标跟踪窗的长宽分别为 $(2v_x t + x, 2v_y t + y)$, 其中 x, y 为上一时刻的跟踪误差。这样可以不必处理整幅图像, 只需处理上述跟踪窗内的图像。由于红外图像的帧速率比较高, 目标在帧间位移比较小, 因此, 开窗处理有效降低了目标检测的运算量。

由于利用中值滤波可以有效地去除图像中的脉冲点, 其中包括脉冲噪声和点目标。因此对开窗后的图像 $f(i, j)$ 进行中值滤波, 有:

$$f(i, j) = \text{Median}(f(i - N/2, j), \dots, f(i, j), \dots, f(i + N/2, j)) \tag{1}$$

由原图像减去处理后得到的图像, 有:

$$T(i, j) = f(i, j) - f(i, j) \tag{2}$$

对 $T(i, j)$ 进行二值化处理, 则:

$$T(i, j) = 1 \quad f(i, j) - f(i, j) > T$$

或

$$T(i, j) = 0 \quad f(i, j) - f(i, j) \leq T \tag{3}$$

式中 T 为设定的检测门限, 通过调整 T 的大小, 并结合上一次滤波得到的目标速度信息、运动方向, 可以有效地将目标从跟踪窗中检测出来, 从而得到这一时刻目标在图像中的位置 (x_i, y_i) 。

以这一检测结果作为红外图像的观测值 $Z_I(k)$, 对这一观测值按照交互多模算法的处理流程进行数据处理, 从而得到:

$$X_I(k|k) = \sum_{i=1}^n X_{I1}^i(k|k) u_{i1}(k) \quad (4)$$

式中 $X_I(k|k)$ 是利用交互多模算法对红外观测数据进行处理之后的结果; $X_{I1}^i(k|k)$ 是将红外观测数据按第 I 模型处理后的结果; $u_{i1}(k)$ 是更新后的模型概率; 同样, 按照交互多模算法可以得到协方差 $P_I(k|k)$:

$$P_I(k|k) = \sum_{i=1}^n u_i(k) \{ P_{I1}^i(k|k) + (X_{I1}^i(k|k) - X_I(k|k))(X_{I1}^i(k|k) - X_I(k|k))^T \} \quad (5)$$

分别对 $X_I(k|k)$ 、 $P_I(k|k)$ 作空间变换得到 $X_R(k|k)$ 、 $P_R(k|k)$, 以 $X(k|k)$ 作为 k 时刻雷达量测中心 $Z_R(k|k)$, 则根据 $P_I(k|k)$ 可以得到雷达量测的确认区域, 即满足如下条件的雷达量测:

$$(Z_R(k) - Z_R(k|k))^T (Z_R(k) - Z_R(k|k)) < P_I(k|k) \quad (6)$$

将予以确认。结合根据红外图像检测到的目标的运动信息, 可以在雷达回波中检测出 k 时刻的观测值 $Z_R(k)$ 。对所得 $Z_R(k)$ 按照交互多模算法进行处理可以得到雷达目标状态估计和目标协方差矩阵:

$$X_R(k|k) = \sum_{i=1}^N X_{R1}^i(k|k) u_i(k) \quad (7)$$

$$P_R(k|k) = \sum_{i=1}^N u_i(k) \{ P_{R1}^i(k|k) + (X_{R1}^i(k|k) - X_R(k|k))(X_{R1}^i(k|k) - X_R(k|k))^T \} \quad (8)$$

设定雷达观测的置信度为 p , 则最终经过信息融合后的观测结果为:

$$X(k|k) = X_R(k|k) p + X_I(k|k) (1 - p) \quad (9)$$

$$P^2(k|k) = p^2 P_R^2(k|k) + (1 - p)^2 P_I^2(k|k) + 2p(1 - p) \text{cov}(P_I, P_R) \quad (10)$$

以上就是整个算法流程。

3 实验结果

假定目标在 $t = 0 \sim 40$ s 沿 y 轴作恒速直线运动, 运动速度为 -10 m/s, 目标起始点为 (2000, 10000 m), 在 $t = 40 \sim 60$ s 向 x 轴方向作 90° 的慢转弯, 加速度为 $u_x = u_y = 0.085$ m/s², 结束时加速度降为零, 从 $t = 61 \sim 66$ s 开始作 90° 快转弯, 加速度为 0.5 m/s², 在 66 s 结束转弯, 加速度降为零。红外成像传感器和雷达采样间隔均为 $T = 1$ s, 假定 x 和 y 独立进行观测, 观测噪声标准差均为 100 m。

实验中采用蒙特卡罗方法对文中的跟踪算法进行仿真分析, 仿真次数为 200 次。仿真过程中采用三个模型。第一个为非机动模型, 第二、三个为机动模型, 设系统内部噪声方差 $= AI$, 则第二个模型取 $A = 0.001$, 第三个模型取 $A = 0.0144$ 。Markov 概率转移控制矩阵为:

$$P = \begin{bmatrix} 0.97 & 0.015 & 0.015 \\ 0.015 & 0.97 & 0.015 \\ 0.015 & 0.015 & 0.97 \end{bmatrix}$$

目标的真实轨迹、雷达和红外观测数据及滤波得到的目标轨迹如图 3 所示。可以看出, 滤波输出曲线较好地收敛于真实轨迹, 仅在两个转弯处有较小的偏差。模拟 200 次后 x 、 y 方向位置误差均值分布曲线如图 4 所示, x 、 y 方向位置估计误差标准差分布曲线如图 5 所示。滤波误差均值及标准差计算公式分别为:

$$\overline{e_x(k)} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [x_i(k) - \hat{x}_I(k|k)] \quad (11)$$

$$\sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [x_i(k) - \hat{x}_I(k|k)]^2 - [\overline{e_x(k)}]^2} \quad (12)$$

式中 M 为 Monte Carlo 的模拟次数, $k = 1, 2, \dots, N$, N 为采样点数。由图 4、图 5 可以看出, 滤波误差整体较小, 表明文中提出的算法有较好的性能。目标在非机动状态时的滤波效果明显优于机动状态。同

时,在目标由非机动向机动变化和由机动向非机动变化的过程中,估计误差出现峰值,因此,目标的状态模型选择的正确与否对于滤波效果影响很大。

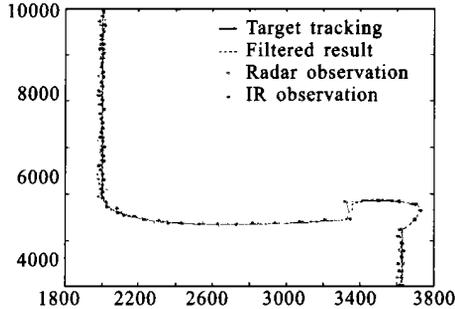


图 3 目标真实轨迹、雷达和红外观测数据及滤波后的目标轨迹

Fig. 3 Target track, radar and IR observation and filtered result

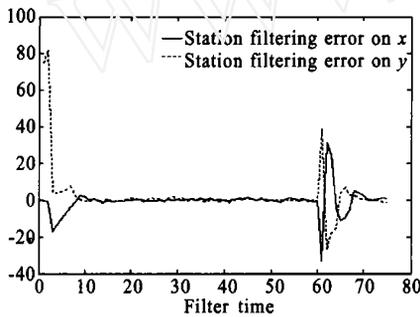


图 4 x 、 y 方向位置滤波误差

Fig. 4 Station filtering error on x , y

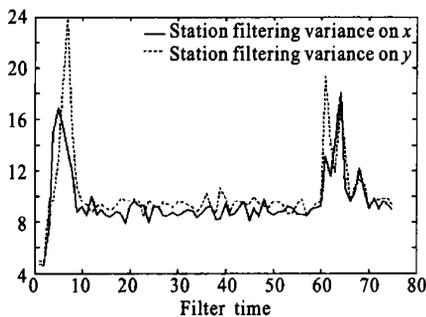


图 5 x 、 y 方向位置滤波方差

Fig. 5 Station filtering variance on x , y

实验中,由于提出的算法利用上次运算结果作为红外图像跟踪窗的中心,避免了对图像进行耗时最多的全局处理,同时利用红外图像的检测结果作为雷达回波确认区域中心,减少了雷达回波检测的运算量,因此整个算法有效地减少了运算量。假设红外图像

的大小为 128×128 ,跟踪窗的大小为 16×16 ,则在图像处理阶段,其运算量仅为原来的 $1/64$,因此,该算法便于实时实现。

4 结束语

文中考虑了红外成像传感器的特殊性,首先利用上一时刻数据处理的结果,给出图像目标的跟踪窗,利用红外图像目标检测技术对红外成像传感器获取的信息进行目标检测,获得目标的位置以及运动状态的初步估计,再利用红外图像的初步检测结果作为雷达跟踪窗的中心,进行雷达目标检测,然后分别对红外成像传感器和雷达的测量结果进行处理,最终利用分布式信息滤波器将二者的处理结果进行信息融合,从而得到目标跟踪结果。该算法充分利用上一时刻的处理结果,避免了图像的全帧搜索,在有效提高跟踪精度的同时,减少了运算量,从而取得了较好的跟踪效果。因此算法具有一定实际意义。

参考文献:

- [1] Belur V Dasarathy. Decision fusion strategies in multi-sensor environments[J]. IEEE Transactions On Systems Man Cybernetics, 1991, 21(5): 1140-1154.
- [2] Romine J, Kamen E, Sastty C. Fusion of radar and image sensor data for target tracking[A]. SPIE Signal and Data Processing of Small Target[C]. 1994, 2335: 558-569.
- [3] Blair D, Rice T R, Alouni A T. Asynchronous data fusion for target tracking with a multi-tasking radar and optical sensor acquisition [A]. SPIE Tracking and Pointing[C]. 1991, 1482: 234-245.
- [4] 王润生. 图像理解[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1995.
- [5] 周锐,申功勋,房建成,等. 多传感器融合目标跟踪[J]. 航空学报,1998,19(5): 536-540.
- [6] 丁赤飏,毛世艺. 基于雷达和成像传感器的融合跟踪[J]. 电子学报, 1998, 26(9): 134-138.
- [7] 何友,王国宏. 多传感器信息融合及其应用[M]. 北京:电子工业出版社,2000.