

文章编号: 1672-8785(2015)10-0014-04

一种雷达/红外探测器数据融合方法

毛 谨¹ 李 悦²

(1. 四川九洲电器集团有限责任公司, 四川 绵阳 621000 ;

2. 中国电子进出口总公司, 北京 100036)

摘 要: 为了充分利用雷达和红外探测器的测量数据的各自优势, 提出了一种雷达/红外数据融合方法。以最小二乘理论为基础, 利用雷达测量值及其测量时间前后红外探测器高频测量的冗余信息, 并通过引入时间维度和测量维度两个权重因子, 获取了对目标的最优估计。仿真试验结果表明, 与等权融合方法相比, 本文获取的融合数据信息能够更好地反映出目标的运动状态, 并能为后续目标跟踪提供更为准确的观察值。

关键词: 数据融合; 最小二乘估计; 多传感器; 插值与拟合; 权重因子

中图分类号: TN29 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.10.004

A Data Fusion Method of Radar/Infrared Sensor

MAO Jin¹, LI Yue²

(1. Sichuan Jiuzhou Electric Group Co., Ltd., Mianyang 621000, China;

2. China Electronics Impo & Expo Corporation, Beijing 100036, China)

Abstract: To make full use of the advantages of the data measured both by a radar and by an infrared sensor, a fusion method for radar and infrared data is proposed. On the basis of least square theory, the radar data and the redundant information of an infrared sensor when it measures at a high frequency before and after the radar measures are used. The optimal estimation of a target is obtained by incorporating two weighting factors: time dimension and measurement dimension. The simulation test result shows that compared with the equality weighting factor fusion method, the fusion data information obtained by the proposed method can reflect the motion state of a target better and can provide more accurate observation value for the subsequent target tracking.

Key words: data fusion; least square estimation; multi-sensor; interpolation and fitting; weighting factor

0 引言

作为一种主动传感器, 雷达能够提供目标的完整位置信息(距离、方位、俯仰), 因此在目标搜索与跟踪等方面具有重要作用。由于受波束宽度的限制, 雷达探测的测角精度普遍不高, 特别是俯仰角度的测量精度较低。红外传

感器通过接收目标辐射的热能进行探测, 且无需辐射任何能量, 因而具有被动探测的功能。虽然测角精度高、目标识别能力强, 但由于无法获取目标的距离信息, 红外传感器获得的探测信息并不完整。然而通过将雷达和红外传感器结合起来使用, 既可实现雷达快速、大范围警戒搜索的功能, 又可对目标进行精确指示与跟踪, 从而

收稿日期: 2015-09-09

作者简介: 毛谨(1981-), 男, 四川乐山人, 工程师, 主要从事光电系统的总体设计研究。

E-mail: maojin999@aliyun.com

大大扩展雷达系统的使用范围。因此, 将雷达信息和红外信息融合起来, 以提高被测目标的位置精度, 是复合探测与制导的发展趋势^[1-2]。针对雷达/红外探测数据融合, 王飞等人根据雷达、红外探测精度不同的特点, 采用了一种基于精度加权的融合方法^[3]; 王芳等人通过对高采样率的红外角度测量数据进行等权平均压缩, 更加有效地利用了目标信息, 进而提高了雷达/红外数据融合后的信息精度^[4]; 梁凯等人则提出了一种基于曲线拟合的数据对准方法, 即将红外传感器测得的高采样周期的数据拟合到雷达的某一时间点上进行数据融合^[5]。本文先以精度为权值对获取的雷达/红外信息进行加权平均处理, 并将其作为一次融合的结果; 其次, 在计算 t 时刻雷达/红外融合信息时, 引入 t 时刻前后的红外数据加以融合, 使得融合后的数据

信息更加贴近目标的真实运动轨迹; 最后, 分别引入以精度和时间距离为权重的因子, 对高采样红外数据进行加权平均处理, 并将其作为二次融合的结果。

1 雷达/红外数据融合算法

假设雷达和红外探测器的采样周期分别为 T 和 t , 且两者之比为整数, 即 $n = T/t$ 。当雷达对目标状态的更新时间为 $T-1$ 和 T 时, 在连续两次的目标状态更新之间, 红外探测器对目标状态有 N 次更新, 分别为 $t-N, t-N+1, \dots, t-2, t-1$; 当雷达对目标状态的更新时间处在 T 和 $T+N$ 之间时, 红外探测器对目标状态也有 N 次更新, 分别为 $t+1, t+2, \dots, t+N-1, t+N$ 。图1为雷达/红外探测的示意图。

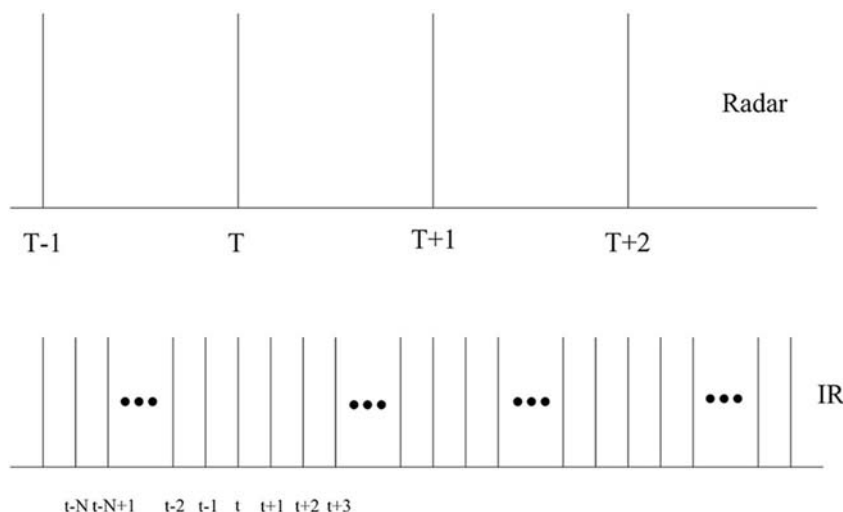


图1 雷达/红外探测的示意图

假设在雷达的 T 时刻与红外探测器的 t 时刻, 雷达与红外探测器同步, 而且两者对目标状态的探测值分别为 X_R 和 X_I , 相应的误差分别为 σ_{RT}^2 和 σ_{IT}^2 , 则可对两者的测量值进行融合处理, 并可用融合后的数值替代红外探测器在 t 时刻的数值。融合后的数值和误差分别为

$$\tilde{X}_t = \frac{1}{\sigma_{RT}^2 + \sigma_{IT}^2} (\sigma_{IT}^2 * X_R + \sigma_{RT}^2 * X_I) \quad (1)$$

$$\tilde{\sigma}_t = \frac{\sigma_{RT}^2 * \sigma_{IT}^2}{\sigma_{RT}^2 + \sigma_{IT}^2} \quad (2)$$

对于红外探测序列, 选取 $[t-N, t-1]$ 时刻的值、 t 时刻的融合值 $\tilde{X}_t$ 以及 $[t+1, t+k]$ 时刻的值进行拟合($k < N$, 其具体值由雷达和红外探测器的采样周期以及雷达/红外数据处理时间决定), 求取 t 时刻红外探测的估计值 $\hat{X}_t$ 。在上述求解过程中, 同时考虑各时刻的误差以及不同时刻与 t 时刻之间的时间距离, 并增加不同测量值的权重因子。根据前面选取的目标状态值构建以下矩阵:

$$\begin{bmatrix} y_1^n & y_1^{n-1} & \cdots & y_1 & 1 \\ y_2^n & y_2^{n-1} & \cdots & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_t^n & y_t^{n-1} & \cdots & y_t & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{N+k}^n & y_{N+k}^{n-1} & \cdots & y_{N+k} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_t \\ \vdots \\ P_{N+k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_t \\ \vdots \\ X_{N+k} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, 最左边的矩阵是一个范德蒙多矩阵; P 为多项式向量; X 为目标状态向量。设权重因子向量为 α , 它由两部分组成: 一部分由目标状态的误差大小构成, 设为 α_1 ; 另一部分由目标状态值与 t 时刻的时间距离构成, 设为 α_2 。根据权重因子与误差大小成反比的特点, 可以得到 α_1

向量:

$$\alpha_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_{1t}^2} & \frac{1}{\sigma_{2t}^2} & \cdots & \frac{1}{\sigma_{kt}^2} & \cdots & \frac{1}{\sigma_{Nt}^2} & \frac{1}{\sigma_{N+k}^2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

根据权重因子与时间距离成反比的特点, 可以得到 α_2 向量:

$$\alpha_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{N} & \frac{1}{N-1} & \cdots & \frac{1}{1} & \cdots & \frac{1}{k-1} & \frac{1}{k} \end{bmatrix} \quad (5)$$

最终的权重因子为

$$\alpha = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \quad (6)$$

最后, 式 (3) 变为

$$\begin{bmatrix} \alpha(1)y_1^n & \alpha(1)y_1^{n-1} & \cdots & \alpha(1)y_1 & \alpha(1) \\ \alpha(2)y_2^n & \alpha(2)y_2^{n-1} & \cdots & \alpha(2)y_2 & \alpha(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \alpha(t)y_t^n & \alpha(t)y_t^{n-1} & \cdots & \alpha(t)y_t & \alpha(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \alpha(N+k)y_{N+k}^n & \alpha(N+k)y_{N+k}^{n-1} & \cdots & \alpha(N+k)y_{N+k} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha(1)P_1 \\ \alpha(2)P_2 \\ \vdots \\ \alpha(t)P_t \\ \vdots \\ \alpha(N+k)P_{N+k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha(1)X_1 \\ \alpha(2)X_2 \\ \vdots \\ \alpha(t)X_t \\ \vdots \\ \alpha(N+k)X_{N+k} \end{bmatrix} \quad (7)$$

通过式 (8) 可以获得用于拟合的多项式系数:

$$P = V/X \quad (8)$$

根据拟合多项式, 可以求得 t 时刻的目标状态值。图 2 所示为异类探测器的数据融合流程。

2 仿真分析

采集雷达/红外探测信息, 并对其进行仿真分析。其中, 雷达测量值为真实的雷达探测值, 其方位误差为 1° , 俯仰误差为 3° ; 红外测量值采用基于真实 GPS 信息的模拟数据, 其方位误差和俯仰误差均为 0.5° 。红外探测器和雷达的采样频率分别为 0.05 s 和 3 s 。图 3 和图 4 所示分别为融合后的方位结果和俯仰结果。

图 3 和图 4 中, 红色 “.” 号表示差分 GPS 的数据, 即真值数据; 蓝色 “.” 号表示雷达/红外一次融合后获得的数据; 绿色 “.” 号表示在

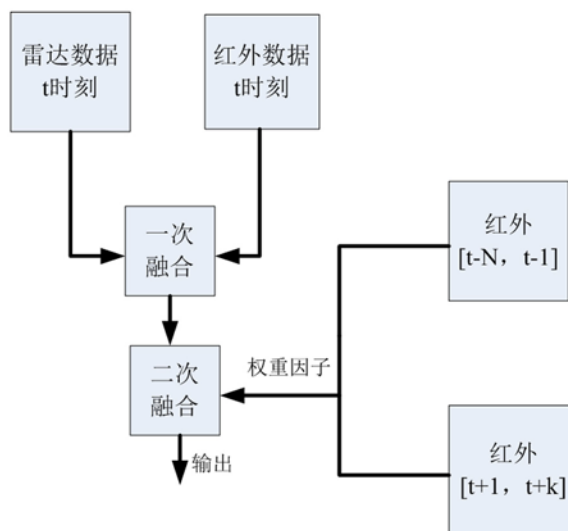


图 2 雷达/红外数据融合的示意图

雷达/红外一次融合的基础上, 增加雷达采样间隔之间的红外采样冗余信息后得到的二次融合数据; 蓝色 “+” 号表示增加雷达/红外数据融合时刻前后的红外采样冗余信息后得到的二次

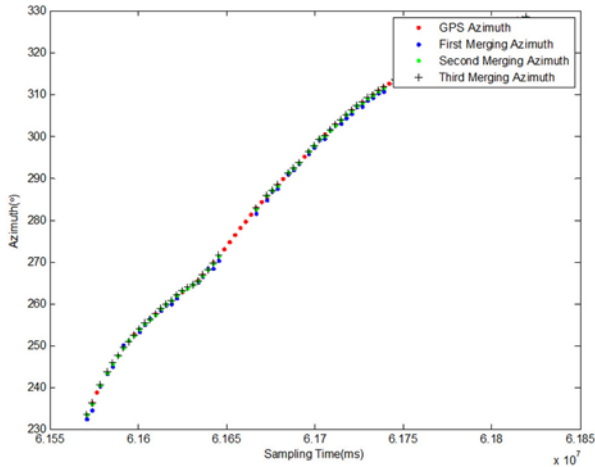


图 3 雷达/红外数据融合的示意图 (方位)

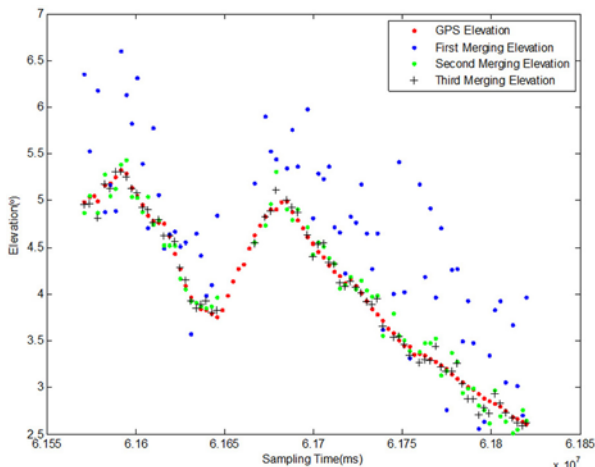


图 4 雷达/红外数据融合的示意图 (俯仰)

融合数据。从图 3 和图 4 中可以看出:

(1) 由于雷达的俯仰精度大大低于方位精度, 雷达/红外数据融合后俯仰角精度的改善比方位角更加明显。

(2) 一次融合仅仅利用雷达/红外探测信息的精度作为权重进行融合, 虽然融合后的数据逼近目标的真实数据, 但由于雷达误差较大 (如图 4 中的俯仰角), 融合后的目标信息仍然具有较大的误差, 如图 4 中的蓝色 “.” 号所示。

(3) 在一次融合的基础上, 利用红外高采样率的探测冗余信息, 即 $t-1$ 时刻和 t 时刻之间

的冗余信息, 此处共有 60 条采样信息 (红外探测器和雷达的采样频率分别为 0.05 s 和 3 s); 采用最小二乘法对 t 时刻的红外信息进行估计, 使得融合后的目标信息误差明显减小, 如图 4 中的绿色 “.” 号所示。

(4) 在一次融合的基础上, 利用融合时刻前后的红外高采样率的探测冗余信息, 即 t 时刻前后的采样信息, 此处取 $[t-k, t-1]$ 与 $[t+1, t+k]$ 采样时刻的信息, 其中 $k=10$; 然后采用数据插值方法对 t 时刻的红外信息进行估计, 使得融合后的目标信息误差明显减小; 由于引入了 t 时刻后的某段时间内的信息, 目标融合信息受目标运动的影响减小, 并且更加符合目标的运动趋势, 如图 4 中的蓝色 “+” 号所示。

3 结论

本文基于红外探测器对目标的高频率采样的冗余数据信息, 分别利用融合时刻前后的采样信息对融合时刻的目标信息进行了估计, 进一步提高了数据融合精度, 并保证了融合信息与目标真实信息的一致性。

参考文献

- [1] 王国宏, 毛士艺, 何友. 雷达与红外数据融合评述 [J]. 火力与指挥控制, 2002, 27(2): 3-6.
- [2] 曾宪伟, 方洋旺, 王锋, 等. 雷达间或工作下雷达/红外融合跟踪 [J]. 光电工程, 2009, 36(6): 10-14.
- [3] 王飞, 雷虎民. 红外/毫米波雷达双模制导跟踪融合算法的优化 [J]. 红外与激光工程, 2008, 37(2): 250-255.
- [4] 王芳, 邹杰. 基于等权平均压缩技术的雷达/红外传感器融合算法 [J]. 科学技术与工程, 2013, 13(23): 6788-6793.
- [5] 梁凯, 潘泉, 宋国明, 等. 基于曲线拟合的多传感器时间对准方法研究 [J]. 火力与指挥控制, 2006, 31(12): 51-53.
- [6] 郝丽鹏, 叶方, 司锡才. 基于雷达、红外的数据融合算法研究 [J]. 信息技术, 2005, 25(5): 8-11.