

# 一种基于雷达和红外的粒子滤波融合跟踪方法

赵少锋 刘涛 李明

(兰州理工大学计算机与通信学院, 兰州 730050)

**摘要** 针对 Kalman滤波不能处理雷达与红外传感器量测信息融合中的非线性问题,提出了一种基于粒子滤波方法的融合跟踪算法。该算法通过利用量测方程的非线性分析和粒子滤波器计算状态估计值,从而以线性迭代的方式得到系统的最优估计。仿真结果表明,与采用 Kalman滤波的方法相比,该算法具有更高的估计精度,同时减小了计算量。

**关键词** 雷达 红外 粒子滤波 数据融合 目标跟踪

中图分类号 TN957; 文献标志码 A

在目标跟踪中,由雷达 (Radar)和红外 (Infrared IR)传感器组成的系统是一类典型的异类多传感器融合系统。在军事多传感器信息融合中,异类传感器的信息融合一直是个重要而极富挑战性的研究课题<sup>[1]</sup>。如何充分发挥雷达、红外两种传感器的互补性,使其满足融合跟踪的需要,是近年来国内外专家研究的热点。

数据融合<sup>[2]</sup>是一种多层次的、多方面的处理过程,包括对多源数据进行检测、结合、相关、估计和组合以达到精确的状态估计和身份估计,以及完整、及时的态势评估和威胁估计。比较典型的融合方法有:加权平均、Kalman滤波、贝叶斯估计、统计决策理论、D-S证据推理、模糊推理、粗糙集、小波变换和神经网络技术。Davidson<sup>[3]</sup>等人详细描述了由雷达和红外传感器组成的多传感器系统,采用传感器的数据融合信息进行多假设跟踪,跟踪效果较单一传感器要好。Volker Schatz<sup>[4]</sup>提出一种现场可编程门阵列策略,解决了多种传感器之间数据不同步的问题。文献[5]采用粒子滤波融合算法在复杂背景下能够稳健可靠的跟踪目标。Peng<sup>[6]</sup>等人采用改进的扩展 Kalman滤波进行状态估计,一定程度上解决了非线性问题,但是估计精度有所下降。本文采用粒子滤波方法对融合的雷达和红外量测信息进

行状态估计,解决了非线性非高斯问题,提高了估计精度,对目标在复杂场景下和杂波环境下做到准确的跟踪。

## 1 雷达、红外技术

雷达是一种无线电检测和测距技术,利用微波波段电磁波探测目标的电子设备。雷达的优点是白天黑夜均能探测远距离的目标,且不受雾、云和雨的阻挡,具有全天候、全天时的特点,并有一定的穿透能力。现在常用的毫米波 (MMW)雷达有较高的抗衰减能力。作为主动传感器,雷达能够提供目标完整的位置信息和 Doppler信息,但是由于雷达在工作时要向空中辐射大功率电磁波,因而易受电子干扰和反辐射导弹的攻击。

红外是一种无线通讯方式,可以进行无线数据的传输。根据探测机理可分成为:光子探测器 (基于光电效应)和热探测器 (基于热效应)。红外传感器不向空中辐射任何能量,它通过接收目标辐射的热能进行检测和定位。因其不辐射能量,从而不易被侦察或定位,具有较强的抗干扰能力;同时由于目标不可避免地要辐射能量,从而又为使用红外传感器对目标探测创造了条件。红外传感器还具有测角精度高和目标识别能力强等优点。红外传感器存在的主要缺点有:不能提供目标的距离信息;

作用距离较近,受气候影响大等。

相对于多传感器信息融合来说,单传感器提供的信息往往是不完整、不精确的,把各传感器的信息结合起来使用,就可以实现性能互补,提高信号的空间分辨率,拓展空间覆盖和时间覆盖的范围,提高信息融合的能力和系统可靠性、可信度。因此,在大多数情况下,雷达与红外传感器配合使用,成为相互独立又彼此补充的探测跟踪手段。利用雷达高精度的距离测量和红外传感器高精度的角度测量,利用信息互补,通过数据融合技术,可以给出对目标位置的精确估计,改善对目标的跟踪和识别。总之,把雷达和红外传感器组合构成雷达红外多传感器系统,能够使系统降低对敌方干扰的脆弱性,提高系统的可靠性,具有鲁棒性的工作性能。

## 2 一种基于粒子滤波的融合跟踪方法

数据融合算法通过对传感器的输入信息进行学习、理解,确定权值的分配,完成知识的获取、信息的融合,进而对输出模式做出解释,将输出数值向量转换成高层逻辑概念。本文提出了一种融合雷达和红外传感器的方法,采用粒子滤波对量测信息实现融合跟踪。该算法可以解决两种传感器的量测不同步的问题,解决了跟踪系统的非线性问题,提高了系统的估计能力和预测性能。

### 2.1 粒子滤波方法

粒子滤波器(Particle filter PF)<sup>[8]</sup>是一种基于贝叶斯估计的序贯重要性采样方法,是解决非线性非高斯问题的有效算法。其基本思想是用随机样本来描述概率分布,这些样本被称为“粒子”,然后在测量的基础上,通过调节各粒子权值的大小和样本的位置来近似实际概率分布,以样本的均值作为系统的估计值。粒子滤波器在目标跟踪中的一般流程。

#### 2.1.1 系统动态模型的建立

首先,根据目标的运动形式建立一个系统动态模型,它描述了粒子的传播过程,是一种随机运动过程。简单的可以表示为一个一阶系统。

$$x_t = Ax_{t-1} + Bw_{t-1} \quad (1)$$

#### 2.1.2 设计粒子的表示方式,确定粒子数目并初始化粒子

用  $\{x_k^i, w_k^i\}_{i=1}^N$  表示粒子,  $x_k^i$  是粒子的位置参数,一般用向量表示,通常是表示位置、速度等的量。初始化粒子包括根据初始位置计算所有粒子的位置参数。系统状态模型中系统噪声是粒子分散开的主要动力。粒子的权值为  $\frac{1}{N}$ 。

#### 2.1.3 系统观测模型

粒子滤波器中用观测值来修正由系统动态模型得到的状态的先验概率,从而得到状态的后验概率。一般是利用当前帧目标的特征和初始帧目标的特征的相似度表示观测值,而用相似度的高斯调制直接获得  $p(z_k | x_k^i)$ 。然后用(2)式更新所有粒子的权值:

$$w_k^i = w_{k-1}^i p(z_k | x_k^i) \quad (2)$$

#### 2.1.4 目标位置的确定

利用加权准则确定目标的最终位置:

$$x_k^{opt} = \sum_{i=1}^M x_k^i * w_k^i \quad (3)$$

#### 2.1.5 重采样

重采样实质就是一个不断选择粒子的过程。其目的在于减少权值较小的粒子数目,使得权值大的粒子衍生出较多的“后代”粒子。重采样重新选择了状态更合理的权重粒子,将新产生的粒子赋予相同的权值。这些新粒子传播进下一帧的计算中,利用系统动态模型改变粒子位置,观测模型改变粒子的权值,确定目标位置,重采样不断循环进行。

## 2.2 量测信息融合算法

假定雷达和红外同地配置,同地采样,设在执教坐标系中的目标动态模型为:

$$x_{k+1} = F_k x_k + w_k \quad (4)$$

(4)式中,  $x_k$  为状态向量,  $F_k$  为状态转移矩阵,  $w_k$  为过程噪声。

1) 利用量测信息和协方差矩阵,按粒子滤波方法计算预测状态  $x_{k|k-1}$  和协方差矩阵  $P_{k|k-1}$ 。

2) 然后分别计算雷达测量的一步提前预测  $z'_{k|k-1}$  和相应的协方差阵  $S'_k$ , 以及红外测量的提前

一步预测  $z''_{k|k-1}$  和新息协方差矩阵  $S''_{k|k-1}$ 。

3) 利用粒子滤波器分别对雷达和红外的量测信息进行状态估计, 得到  $x'_{k|k}$ 、 $P'_{k|k-1}$ 、 $x''_{k|k}$  和  $P''_{k|k-1}$ 。

4) 对状态估计值进行线性迭代。令

$$x_{k|k} = x'_{k|k} + x''_{k|k} + S'_k + S''_k \quad (5)$$

$$P_{k|k-1} = P'_{k|k-1} + P''_{k|k-1} \quad (6)$$

5) 按照上述方法得到基于第  $i$  个传感器的状态估计后, 则基于雷达和红外传感器测量的最优估计为

$$\tilde{x}_{k|k} = E[x_k | z'_k, z''_k] \quad (7)$$

### 3 仿真结果及分析

为了验证算法的有效性, 分别用基于 Kalman 滤波的融合跟踪算法和本文所提出的基于粒子滤波的融合跟踪算法做 100 次仿真试验。假设目标在三维空间作匀速直线运动, 目标初始位置 (2 km, 5 km, 0.05 km), 速度为 (0.03 km/s, 0.03 km/s, 0 km/s), 过程噪声方差  $\sigma = 0.01$  km。雷达 A 位于公共参考坐标系的原点, 红外传感器 B 的位置为 (1 km, 1 km, 0 km)。采样周期  $T = 8$  s。算法 Pentium 4 1.5 G CPU 和 512 M 内存的计算机上运行, 通过 Matlab 6.5 中的 CPU TIME 函数进行测量。

表 1 两种融合算法计算效率比较

算法	平均耗时 /s	更新周期 /s
Kalman 融合	1.697 4	0.193 4
PF 融合	0.963 2	0.131 4

从表 1 中可以明显地看出, 本文提出的融合算法的平均消耗时间要比基于 Kalman 融合算法少得多, 大约减少了 43%, 更新周期也要小得多。可见, 本文算法在不降低跟踪性能的前提下, 大大提高了计算效率, 实时性好。

### 4 结束语

本文研究了雷达与红外传感器量测数据的状态估计问题。在一些非线性系统中, 采用基于粒子滤波的量测信息融合算法比通常状态向量融合滤波算法性能更优一些, 该融合算法同时考虑雷达与红外传感器量测信息, 并将其和目标的运动状态组合在同一状态估计方程中, 采用线性迭代的方式, 进而得到跟踪系统的最优估计。仿真结果验证了该算法的有效性和实用性。算法提高了测量系统的抗干扰能力和结果的可靠性, 改善跟踪性能的同时又保持跟踪滤波的计算结构尽可能简单, 提高了目标的跟踪精度。

### 参 考 文 献

- 李震, 张冰, 刘维亭, 等. 基于异类传感器的数据融合系统. 船舶工程, 2007; 29(1): 38-41
- 韩崇昭, 朱洪艳, 段战胜, 等. 多源信息融合. 北京: 清华大学出版社, 2006
- Davidson G, Symons S, Everett M. Sensor fusion system for infrared and radar. Signal Processing Solutions for Homeland Security, 2005; 11(10): 1-7
- Schatz V. Synchronised data acquisition for sensor data fusion in airborne surveying. 11th International Conference on Information Fusion, Cologne, Germany, 2008; 1-6
- 胡昭华, 宋崇良, 梁德群, 等. 复杂背景下多信息融合的粒子滤波跟踪算法. 光电子·激光, 2008; 19(5): 680-685
- Peng Zhizhuan, Feng Jinfa, Wu Youli et al. Data fusion approach with mw radar and ir sensor based on MEKF. Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Harbin, China, 2007; 1992-1996
- 张开禾, 富力, 范耀祖. 基于卡尔曼滤波的信息融合算法优化研究. 中国惯性技术学报, 2006; 14(5): 32-35
- 胡士强, 敬忠良. 粒子滤波算法综述. 控制与决策, 2005; 20(4): 361-371

(下转第 3509 页)

近的两个 GPS数据点。

#### 4 结论

本文采用 SAR系统 PRF信号作为同步触发条件,利用 FPGA产生相应控制代码,实现 MU/GPS与 SAR的同步。经过静态实验和车载动态实验,该系统的定位精度可以控制在 2m之内,航向角、俯仰角及横滚角精度可以控制在  $0.05^\circ$ 以内。实现了为 SAR提供了精准的运动补偿数据的目的。

#### 参 考 文 献

- 1 张澄波.综合孔径雷达原理、系统分析与应用.北京:科学出版社,1989
- 2 董绪荣,张守信,华仲春.GPS/INS组合导航定位及其应用.北京:国防科技大学出版社,1998
- 3 游文虎,姜复兴.INS/GPS组合导航系统的数据同步技术研究.中国惯性技术学报,2003;11(4):20-22
- 4 Zhang Pifu, Gu Jason, Milios E. E. et al Navigation with MU/GPS/digital compass with unscented kalman filter IEEE International Conference on Mechatronics & Automation Niagara Falls Canada 2005; (7): 1497-1502

## Design of Synchronization IMU/GPS Integrated Navigation System with SAR

ZHENG Peng-si LI He-ping LI Jian-xiong

(Institute of Electronics Chinese Academy of Sciences Beijing 100190, P.R.China)

[Abstract] Data synchronization between SAR and MU/GPS is crucial when using MU/GPS as a supplier of the motion compensation data. An MU/GPS Integrated Navigation System can synchronize with the Pulse Repetition Frequency of SAR system, solve the problem of asynchronous between MU/GPS and SAR.

[Key words] SAR motion compensation MU/GPS integrated navigation system data synchronization

(上接第 3506页)

## Tracking Algorithm Based on Radar and Infrared Sensor Particle Filter Fusion

ZHAO Shao-feng LIU Tao LIMing

(College of Computer and Communication, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, P. R. China)

[Abstract] Aiming at the restriction of Kalman filter in dealing with nonlinear problems of measurement information in radar and infrared sensor data fusion, a fusion tracking algorithm based on particle filter is proposed. It uses particle filter to calculate state estimated values by the non-linear analysis of measurement equation, and then the system optimal estimation is obtained in the linear iterative way. The simulation results show that compared with the Kalman filter, the proposed algorithm improves the estimation accuracy and reduces the computational complexity.

[Key words] radar infrared particle filter data fusion object tracking