信阳师范学院学报:自然科学版
第 22卷 第 4期 2009年 10月

Journal of Xinyang Normal University
Natural Science Edition Vol. 22 No. 4 Oct. 2009

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0972.2009.04.037

基于反馈的航迹融合算法研究

薄红英[1,2*]

(1.北京师范大学,北京 100875; 2.河南商业高等专科学校,河南 郑州 450045)

摘 要:研究基于反馈的雷达和红外分布式航迹融合.首先给出雷达和红外传感器多目标跟踪算法以及融合中心航迹融合算法,然后将融合状态一步预测及其协方差阵反馈到局部传感器形成新的跟踪门,并把此跟踪门和未反馈前的跟踪门的交集作为下一步估计的有效跟踪门.对不能融合的航迹,给出了目标指示.最后对所提算法进行了计算机仿真研究.

关键词:航迹融合;反馈;跟踪门;目标指示;计算机仿真

中图分类号: TN953 **文献标志码**: A **文章编号**: 1003-0972(2009)04-0618-03

Research on Algorithm of Track Fusion Based on Feedback

BO Hong-ying[1,2*]

(1. Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. Henan Business College, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: Radar and IR distributed track fusion based on the feedback is studied. Firstly, multiple target tracking algorithm for every local sensor and fusion center target track fusion algorithm are put forward. Secondly, one-step fusion predictions of target states along with covariance matrix are fed back to local sensors to form a new tracking gate for each target, and the intersection of the new tracking gate and the original gate formed before feedback is taken as the effective tracking gate. In addition, target instantiation is given to the sensor that has not obtained the target track that other sensors have obtained. At last, computer simulation research is performed on the algorithm presented by this paper.

Key words: track association; feedback; tracking gate; target instantiation; computer simulation

0 引言

基于反馈的雷达和红外航迹分布式数据融合的基本思想为:把融合中心的一步预测估计及其协方差阵反馈到雷达和红外传感器,避免互协方差阵的影响,以获得全局最小均方意义下的航迹融合.但是,在目标跟踪应用系统中,由于受不同传感器的特性、环境、噪声等因素的影响,目标漏检和虚警是经常发生的事情.因此,基于反馈的雷达和红外航迹融合在应用过程有 2个问题未作考虑:①雷达/红外提供某一目标航迹给融合中心,而红外/雷达却没有,这将导致在融合中心,无法进行航迹融合而形成反馈状态预测值;②融合中心除了将融合一步预测估计及其协方差阵反馈到雷达和红外传感器形成新跟踪门外,没有考虑原来跟踪门的影响.因此,本文试图提出一种基于反馈的复合融合结构和反馈算法来解决这些问题,以保证基于反馈的多传感器航迹融合算法的完整性.

假设固定在同一平台上的雷达和红外传感器对某一观测区域进行同步观测.各个传感器对各自的观测进行关联,形成目标航迹,并将形成的航迹和关联后的观测值报告给融合中心.在融合中心对各传感器提供的航迹进行关联融合处理,求一步预测估计和一步预测协方差阵,然后由控制决策单元根据融合结果向各传感器发出控制命令,或将融合后的一步预测估计和一步预测协方差阵反馈给各传感器,或给传感器发出目标指示.各传感器或利用一步预测和预测协方差阵以及原跟踪门构造一个新的跟踪门进行下一步关联、估计和预测,或根据目标指示,调整扫描方式,对目标指示区域进行

收稿日期: 2009-03-12;**修订日期**: 2009-06-30; *.**通讯联系人**, E-mail: bo_hongying@sina.com
作者简介:薄红英(1973-),女,河南巩义人,实验师,硕士,主要从事计算机应用研究.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

重点扫描,力图获得目标航迹[1].

1 算法研究

1.1 基于单传感器的目标航迹

假设在直角坐标系下,目标的状态模型为:

$$X(k+1)=FX(k)+V(k), \tag{1}$$

其中:$X(k)$为状态向量;F为状态转移矩阵;$V(k)$为过程噪声,假定是零均值的高斯白噪声,即满足:

$$E[V(k)V(j)']=Q\delta_{kj},$$

其中:δ_{kj}是 Kronecker δ函数. 传感器 i的测量模型为:

$$z^i(k)=h^i[X(k)]+W^i(k), \tag{2}$$

其中:$z^i(k)$为,第 i传感器的观测向量;$W^i(k)$是均值为零和方差为 R^i的高斯白噪声,$i=1$表示雷达,$i=1$表示红外.

记$\hat{X}^i(k|k-1)$表示第 i传感器 $k-1$时刻对 k时刻目标的状态预估值. 将式(2)在$\hat{X}^i(k|k-1)$处按太勒级数展开,忽略二次和高阶项,可得线性化后的测量方程为:

$$z^i(k)=H^i(k)X(k)+W^i(k), \tag{3}$$

$$H^i=\frac{\partial h^i(X(k))}{\partial X}\Big|_{X=\hat{X}(k/k-1)}. \tag{4}$$

首先为目标建立一个跟踪门,在本文中选择椭圆跟踪门,而且取 γ为跟踪门限阈值,由预先设定的接受正确回波的先验概率 P_G所确定. 记 $V_j^i(k)=z_j^i(k)-\hat{Z}^i(k)$为跟踪门内第 j个测量的信息,$\hat{Z}^i(k)$为传感器 i的预测测量,$S^i(k)$为信息协方差阵,P_D^i为传感器 i的监测率,则落入跟踪门内的有效回波满足[2]

$$v_j^i(k)'[S^i(k)]^{-1}v_j^i(k)<\gamma^2. \tag{5}$$

假设传感器 i在 k时刻跟踪门内有 $m_i(k)$个回波,对应的量测集为

$$Z^i(k)=\{z_j^i(k)\}_{j=1}^{m_i(k)},\ i=1,2 \tag{6}$$

传感器 i到 k时刻为止的累积量测集为

$$Z^{i,k}(k)=\{Z^i(l)\}_{l=1}^{k},\ i=1,2 \tag{7}$$

用 $\beta_j^i(k)$表示 $z_j^i(k)$源于目标的正确测量事件的概率,$\beta_0^i(k)$跟踪门内没有回波源于目标事件的概率,则根据 PDA 算法可获得传感器 i对目标状态的估计值[3],记为$\hat{X}^i(k|k)$.

$$\hat{X}^i(k|k)=\sum_{j=0}^{m_i(k)}\beta_j^i\hat{X}_j^i(k|k)=\hat{X}^i(k|k-1)+K^i(k)v^i(k), \tag{8}$$

$$\hat{X}^i(k|k-1)=F\hat{X}^i(k-1|k-1), \tag{9}$$

$$v^i(k)=\sum_{j=0}^{m_i(k)}\beta_j^iv_j^i(k), \tag{10}$$

$$P^i(k|k-1)^{-1}=FP^i(k-1|k-1)F'+Q, \tag{11}$$

$$S^i(k)=H^i(k)P^i(k|k-1)H^i(k)'+R^i, \tag{12}$$

$$K^i(k)=P^i(k|k-1)H^i(k)'[H^i(k)P^i(k|k-1)H^i(k)'+R^i]^{-1}, \tag{13}$$

$$P^i(k|k)=\beta_0^i(k)P^i(k|k-1)+[1-\beta_0^i(k)][I-K^i(k)H^i(k)]P^i(k|k-1)+K^i(k)[\sum_{j=1}^{m_i(k)}\beta_j^i(k)v_j^i(k)v_j^i(k)'-v^i(k)v^i(k)']K^i(k).' \tag{14}$$

1.2 航迹融合

对局部传感器上报的航迹按最近邻原则进行关联,然后融合以形成目标的最终融合航迹. 假设 T_1和 T_2是来自同一目标的航迹,对应的量测集和累积量测集分别用式(6)和式(7)描述. 令 $Z^k=\{Z^{1,k}\ Z^{2,k}\}$、$Z_k=\{z^1(k)\ \ z^2(k)\}$、$H_k=\{H^1\ \ H^2\}$,则在最小均方误差以下的最优状态估计为

$$\hat{X}(k|k)=E[X(k)|Z^k]. \tag{15}$$

利用卡尔曼滤波可以得到最优估计的递推表示为

$$\hat{X}(k|k)=[I-\bar{K}_2(k)H^2(k)]\hat{X}^1(k|k)+[I-\bar{K}_1(k)H^1(k)]\hat{X}^2(k|k)-[I-\bar{K}_1(k)H^1(k)-\bar{K}_2(k)H^2(k)]\hat{X}(k|k-1), \tag{16}$$

$$\hat{X}(k|k-1)=F\hat{X}(k-1|k-1), \tag{17}$$

$$P(k|k-1)=FP(k-1|k-1)F^{\mathrm{T}}+Q, \tag{18}$$

$$P(k|k)=\{I-\bar{K}_2H^2\}P^1(k|k)=\{I-\bar{K}_1H^2\}P^2(k|k), \tag{19}$$

$$S(k)=H_kP(k|k-1)H_k'+R_k, \tag{20}$$

$$\bar{K}_1(k)=P^2(k|k)(H^1)^{\mathrm{T}}[H^1P^2(k|k)(H^1)^{\mathrm{T}}+R^1]^{-1}, \tag{21}$$

$$\bar{K}_2(k)=P^1(k|k)(H^2)^{\mathrm{T}}[H^2P^1(k|k)(H^2)^{\mathrm{T}}+R^2]^{-1}. \tag{22}$$

1.3 反馈算法

假设在 $k-1$时刻,局部传感器形成目标航迹,并上报信息融合中心. 此时,各传感器的一步预测估计值及其一步预测协方差阵为$\hat{X}^i(k|k-1)$和 $P^i(k|k-1)$. 融合中心把融合后的一步预测估计值$\hat{X}(k|k-1)$及其一步预测协方差阵 $P(k|k-1)$反

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

馈给各传感器. 在未反馈之前,记 k时目标回波有效量测集为 Y_a,根据式 (5), Y_a满足

$$Y_a = \{ z_j^i(k) \mid (z_j^i(k) - \hat{Z}^i(k|k-1))' [S^i(k)]^{-1} (z_j^i(k) - \hat{Z}^i(k|k-1)) < \gamma^2 \}. \quad (23)$$

引入反馈后,记 k时目标回波有效量测集为 Y_b,根据式 (5), Y_b满足

$$Y_b = \{ z_j^i(k) \mid (z_j^i(k) - \hat{Z}(k|k-1))' [S(k)]^{-1} (z_j^i(k) - \hat{Z}(k|k-1)) < \gamma^2 \}. \quad (24)$$

则目标的真正有效回波集 Y为

$$Y = Y_B \cap Y_a \quad (25)$$

对于形成的真正有效回波集 Y,取 $P^i(k|k-1) = P(k|k-1)$和 $\hat{X}^i(k|k-1) = \hat{X}(k|k-1)$,利用上述讨论的算法,进行下一步迭代估计. 如果 $Y = Y_b \cap Y_a$ =空集,意味着新航迹产生或虚警发生[4].

2 仿真研究

假设固定在同一平台上的雷达和红外对某一观测区域进行同步观测,采样周期为 1 s 雷达的量测标准方差为 50 m,红外的量测标准方差为 1 mrd. 仿真中设计 2个在二维平面内作匀速运动的目标,目标 1的初始位置为 (5 km, 5 km),速度为 0.416 km/s,目标 2的初始位置为 (5 km, 15 km),速度为 0.424 km/s 目标运动时间为 100 s 雷达 1在最初的 15 s内漏检目标 1,雷达 2在 50～70 s内漏检目标 2 跟踪门内的阈值取 $\gamma = \sqrt{9.2}$,跟踪门内杂波的分布密度为 0.2个/km^2. 单传感器的跟踪仿真结果如图 1所示,双传感器航迹融合的仿真结果如图 2所示.

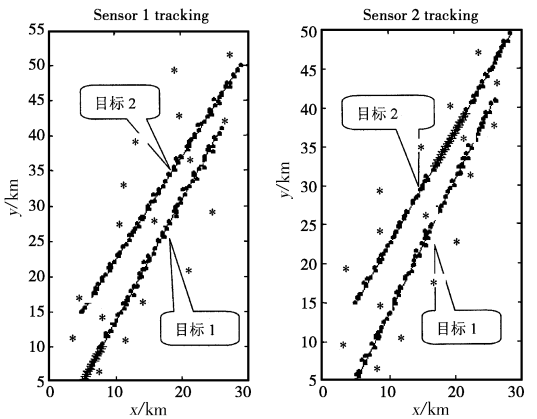

图 1 单传感器多目标跟踪仿真结果

Fig. 1 The simulation result of single sensor's multi-purpose tracking

"-"为目标实际航迹;"·"为跟踪航迹;"+"为漏检;"*"为杂波

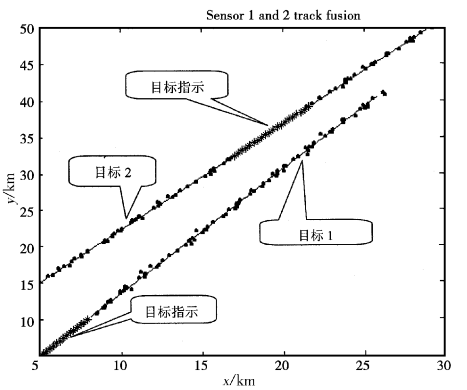

图 2 多传感器多目标航迹融合仿真结果

Fig. 2 The simulation result of multi sensor's multipurpose tracking fusion

"-"为目标实际航迹;"·"为跟踪航迹;"+"为目标指示

3 结束语

在传统的基于反馈的多传感器分布式航迹融合的基本方法[5-6]中,有 2个因素没有考虑,即目标指示和反馈对局部传感器跟踪门的影响. 本文在相关文献的基础上进行了深入研究,给出了比较完整的基于反馈的多传感器分布式航迹融合算法,如果融合中心反馈给分布传感器的是目标指示,可以减少传感器的扫描范围,从而减少计算开销. 而无论是首次或反复几次后反馈给分布传感器预测值和预测协方差阵,则可以明显改善局部航迹的跟踪精确度. 仿真结果证明了所提算法的有效性.

参考文献:

[1] Hintz K J, McIntyre G A. *Information instantiation in sensor management*[J]. Proc SPIE (S0277-786X), 1998, 3374: 38-47.
[2] Feistauer M, Feireisl E. *Mathematical and computational methods for compressible flow*[M]. Oxford: Clarendon Press, 2003.
[3] 李 辉,程 琤,张 安,等. 基于反馈结构的多传感器自适应航迹融合算法[J]. 计算机学报, 2006, 29(12): 2232-2237.
[4] Pucar P, Norberg P. *Decentralized sensor fusion and support using multiple models*[J]. Proc SPIE (S0277-786X), 1997, 3068: 20-31.
[5] Saha R K, Chang K C, Kolar M M. *Fusion of synchronous tracks*[J]. Proc SPIE (S0277-786X), 1997, 3068: 206-217.
[6] 何 友, 王国宏. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2000.

责任编辑:任长江

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net