

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.05.025

基于多传感器的航迹自动判别算法

王钊, 张云龙, 王伟, 严发宝

(中国兵器工业第五八研究所 军品部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为解决多传感器系统在目标跟踪时由于某个传感器不能正常工作而影响目标航迹精度的问题, 采用基于最小二乘曲线拟合和 kalman 一步预测的判别算法, 自动识别暂时失效的传感器并抛弃其受到污染的数据, 以提高系统输出数据的精确性和整个系统的健壮性。并采用交互多模型 (Interacting multiple model, IMM) 进行仿真实验。实验结果表明, 该算法实现简单, 且有良好的效果。具有很好的工程应用前景。

关键词: 多传感器; 自识别; 航迹融合

中图分类号: TP306; TP212.9 **文献标识码:** A

Auto-Identify Tracking Algorithm Based on Multi-Sensor

WANG Qian, ZHANG Yun-long, WANG Wei, YAN Fa-bao

(Dept. of Armament Products, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China)

Abstract: A certain sensor error in multi-sensor target tracking may influence the target track precision. In order to solve this problem, adopt least squares curve fitting and kalman one-step prediction, sensor which temporarily without auto-identify function will not use the polluted data to make the output data more precocious and system stronger. Then, adopt interacting multiple model (IMM) to carry out simulation test. The test result shows that the algorithm is simple, efficient and with good prospect of engineering application.

Keywords: Multi-sensor; Auto-identify; Track fusion

0 引言

光电跟踪系统多用于对目标位置坐标点的量测, 将所得到的量测点连接起来便形成了目标的航迹。在不同的坐标系下, 目标的位置坐标点有不同的表示方式, 如在球面坐标系中一般用方位角 β , 高低角 ϵ , 和距离 r 来表示目标的三维坐标, 各维坐标之间相互独立, 通过先单独处理各一维坐标, 再合并起来的方式, 实现对目标三维坐标的处理。

因为多传感器具有可视范围广、相互之间的量测信息互补性强等特点, 故目前的光电跟踪系统中一般采用多传感器, 如 CCD 摄像机、红外热像仪、激光测距等。多传感器同时工作在正常状态的情况下, 通过数据融合技术可以大大提高对目标的量测精度, 即使其中某个传感器工作在非正常状态下(如云层遮挡, 飞鸟干扰等), 仍然可以通过对航迹的处理提高量测的可靠性与实用性。故以两传感器为例进行讨论, 以实现在航迹关联失败后对传感器信息的处理。

相对于传统的用图像处理的方法来判别传感器是否正常工作, 利用航迹进行识别计算要简单得多, 更容易满足实时性的要求。

1 自动识别原理

首先, 判断自动识别传感器是否工作在正常状态, 若均工作在正常状态, 则进行融合, 若其中某各传感器工作在非正常状态, 则采用来自正常工作的传感器的数据, 并在下一数据采样时刻重新进行关联。自动识别的逻辑框图如图 1。

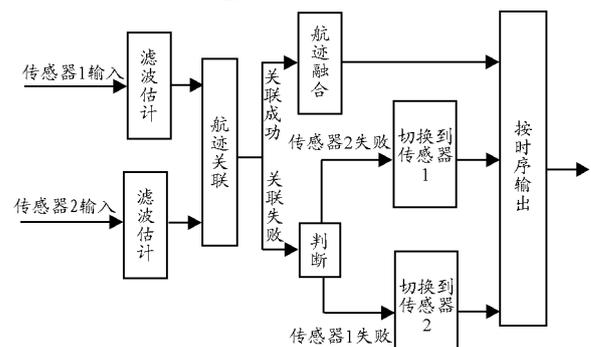


图 1 自动识别的逻辑框图

2 航迹关联后的数据处理

2.1 关联正确后的数据融合

采用序贯航迹关联算法来进行不同传感器间的航迹关联^[1]。当航迹关联正确后, 按下式进行融合: 状态融合:

收稿日期: 2009-12-24; 修回日期: 2010-02-11

作者简介: 王钊 (1984-), 男, 河南人, 在读硕士研究生, 主要从事多源信息处理的研究。

$$\hat{x}(k) = P^{(1)}(k) * (P^{(1)}(k) + P^{(2)}(k)) * \hat{x}^{(1)}(k) + P^{(2)}(k) * (P^{(1)}(k) + P^{(2)}(k)) * \hat{x}^{(2)}(k) \quad (1)$$

其中： $\hat{x}(k)$ 为融合后的状态估计。 $P^{(i)}(k), i=1,2$ 为第 i 个传感器的估计误差， $\hat{x}^{(i)}(k), i=1,2$ 为第 i 个传感器的状态估计。

2.2 关联失败后的数据处理

航迹关联失败说明其中有一个传感器工作在非正常状态。利用自动判别算法判别出暂时失效的传感器并抛弃其当前时刻的数据，使用正常工作状态下的传感器在当前时刻的数据，并重复此过程。

3 自动判别算法

将两传感器的量测值进行关联，两传感器之间的误差距离 D 服从自由度为 n_x （状态矢量的维数）的 $chi-square$ 分布^[1]：

$$D \sim \chi_{n_x}^2(1 - \alpha) \quad (2)$$

给定 α ，当误差距离 D 大于阈值 D_α 时关联失败，表明两传感器的状态估计不为同一目标。转到自动判别过程。

3.1 基于最小二乘曲线拟合的识别算法

如果实际目标在运动过程中，在短时间内很难做大的机动，故采用该目标在前几个时刻的位置量测点，借助最小二乘法拟合出目标的局部航迹，并利用拟合出的航迹外推一点，然后利用两传感器对目标的位置估计与外推出的点差值的大小来判别非正常状态的传感器，如图 2。

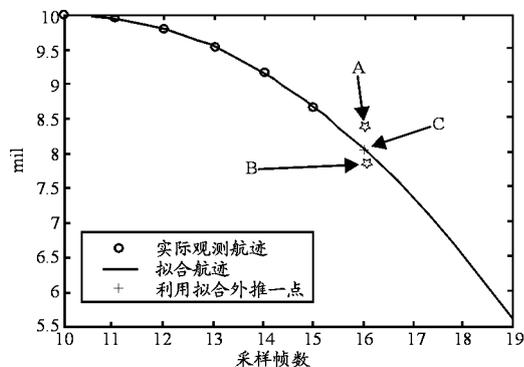


图 2 最小二乘曲线拟合判别示意图

采用直线拟合不能很好地反映出目标航迹的趋势，而采用三次以上的曲线拟合计算较为复杂，不

易满足实时性的要求，采用二次曲线拟合的方法实现了以上 2 种情况的折中，既能很好地预测目标航迹的趋势，又不会因为计算量太大而使实时性恶化。

图 2 中， A 、 B 两点分别为 2 个传感器的量测值， C 点为利用拟合曲线外推一点得到的值，通过比较 A 、 B 两点与 C 点差值的绝对值的大小，就可以判别出非正常状态的传感器。假设 A 点为传感器 1 (CCD 摄像机) 测得的值， B 点为传感器 2 (红外热像仪) 测得的值。 A 点与 C 点的差值的绝对值较大，认为传感器 1 (CCD 摄像机) 工作在非正常状态。

当传感器数量由 2 个增加到 N 个时，当关联失败时，利用基于最小二乘曲线拟和的方法可以得到外推一点，然后找出与外推点的差值的绝对值最大的一个点，抛弃这个点并对其他点进行融合，这样就把两传感器的情况推广到了多传感器的情况。

3.2 基于 kalman 一步预测的判断

同样，利用目标不会在短时间内作很大的机动这一特点，利用 kalman 滤波中一步预测式预先判断当前时刻的下一步位置，公式如下：

$$\hat{x}(n | z_{n-1}) = F(n, n-1) * \hat{x}(n-1 | z_{n-1}) \in C^{N*1} \quad (3)$$

式中， $\hat{x}(n | Z_{n-1})$ 为基于观测集合 $\{z(1), z(2), \dots, z(n-1)\}$ 对状态 $z(n)$ 的预测， $F(n, n-1)$ 为目标的状态转移矩阵，为基于观测集合 $\{z(1), z(2), \dots, z(n-1)\}$ 对状态 $z(n-1)$ 的估计。

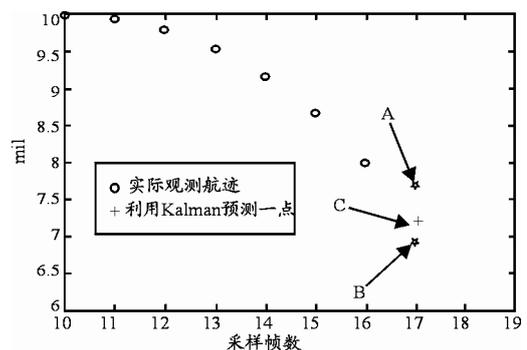


图 3 利用 kalman 一步预测判别示意图

利用 A 、 B 两点与 C 点差值的绝对值的大小就可以判别出非正常状态的传感器。假设 A 点为传感器 1 (CCD 摄像机) 测得的值， B 点为传感器 2 (红外热像仪) 测得的值。由图 3 可知： A 点与 C 点的差值的绝对值较大，判别出传感器 1 (CCD 摄像机)

工作在非正常状态。

传感器数量由 2 个增加到 N 个的时候, 与 3.1 节的推广方法相同。

4 仿真实验

使用的仿真模型为交互多模型 (interacting multiple model, IMM) 算法, IMM 算法是一种有效的机动目标跟踪方法, 其中用到了 CV 、 CA 和 $Jerk$ 三个模型。

仿真实验模拟单个目标做一个类似正弦曲线的变加速运动, 方位角传感器 1 在区间[100, 200]之间时, 由于不能分辨真实目标和干扰物而在目标与干扰物之间做随机采样, 传感器 1 在此区间失效, 方位角传感器 2 在区间[500, 600]之间由于不能分辨真实目标和干扰物而在目标与干扰物之间做随机的采样, 传感器 2 在此区间失效。其中:

状态方程为:

$$x(n) = F(n, n-1) * x(n-1) + \Gamma(n, n-1) * v_1(n-1) \tag{4}$$

观测方程为:

$$z(n) = C(n) * x(n) + v_2(n) \tag{5}$$

噪声方差为:

$$E[v_1(n)v_1^H(n)] = Q_1(n) = 5^2 \tag{6}$$

$$E[v_2(n)v_2^H(n)] = Q_2(n) = 5^2 \tag{7}$$

其中 $v_1(n)$ 为系统状态噪声, $v_2(n)$ 为系统观测噪声。在观测中方位角传感器 1 中又加入 $\sigma_1^2 = 25$, 在方位角传感器 2 中加入 $\sigma_2^2 = 4$ 的随机白噪声。采样周期 $T=1$ 、 $Jerk$ 模型中的目标机动频率 $f = 0.01$ 。

其中的估计误差为:

$$P(n) = E[\varepsilon(n)\varepsilon^H(n)] \tag{8}$$

上式中:

$$\varepsilon(n) = x(n) - \hat{x}(n | Z_n) \tag{9}$$

在目标跟踪时, 工程上常用状态向量估计初始化^[4]。

分别使用基于最小二乘曲线拟合和基于 kalman 一步预测的判别方法, 进行 50 次 Monte Carlo 仿真实验, 结果如图 4~图 6。

仿真结果表明, 两传感器关联后运用自动判别算法后所得航迹明显优于没有进行关联判断而直接

进行融合的航迹。

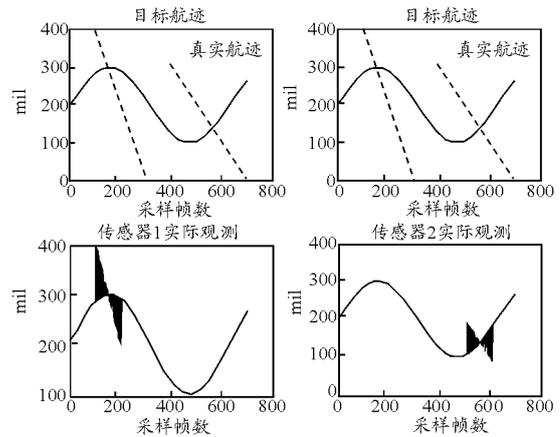


图 4 目标航迹与传感器测量值

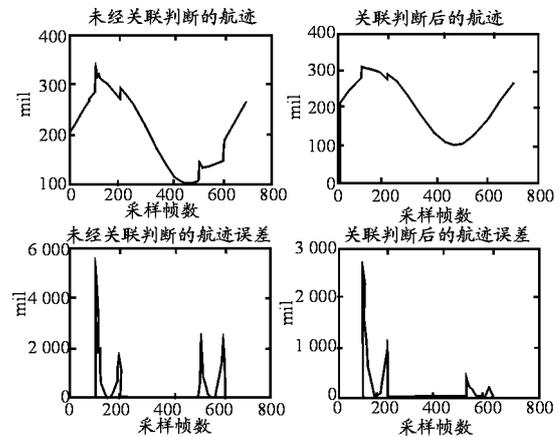


图 5 基于曲线拟合判别的比较

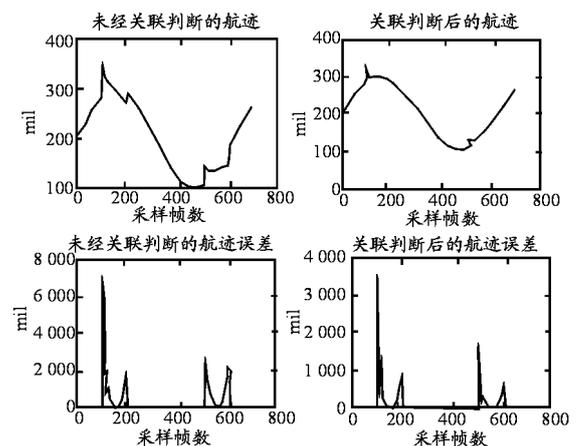


图 6 基于 kalman 一步预测判别的比较

5 结束语

在总结前人工作的基础上提出了在多传感器系统中具有自动识别暂时工作在非正常状态的传感器的判别算法, 对于系统中的某个传感器受到干扰而退化严重的情况有很好的处理效果。由仿真结果可以看出, 加入自动判别算法后, 处理效果明显。该

算法实现简单，具有很好的工程应用前景。

该关联算法的关联正确率还有待于进一步提高，下一步的工作重点是更好地实现关联的正确率。反馈机制也是多传感器信息融合研究领域的一个重要方向，如何在多传感器航迹融合中引入反馈机制也是下一步迫切需要解决的问题。

参考文献:

[1] 韩红, 刘允才, 韩崇昭, 等. 多传感器融合多目标跟踪中序贯航迹关联算法[J]. 信号处理, 2004, 20(1): 30-34.

[2] 何子述, 夏威. 现代数字信号处理及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

(上接第 73 页)

参考文献:

[1] DiSTI. GL Studio Version 3.0 User's Guide, U.S.A <http://www.dist.com/Products/glstudio>, 2008.

[2] 汪乐舟, 张合新. 某型导弹模拟训练仿真系统的研究[J]. 兵工自动化, 2009, 28(2):10-12.

[3] 樊世友, 邸彦强, 朱元昌. GL Studio 软件在视景仿真建模中的应用[J]. 计算机工程, 2002, 28(3): 260-261.

[4] 高颖, 邵亚楠, 等. GL Studio 在飞行座舱模拟器中的仿

(上接第 76 页)

6) 低功率高能量效率。低截获的一个核心思想就是进行严格的能量控制，因此发射信号的能量效率便是考核其低截获性能的一个重要标准。而根据文献发射信号能量效率可以定义为待测脉冲信号辐射能量与以待测信号频带为中心的单频信号的比值。不同的信号具有不同的发射效率，发射效率高的波形有利于信号的检测。

图 1 描述了多种主动声纳能量效率对比，表 1 给出了几种信号的能量效率。

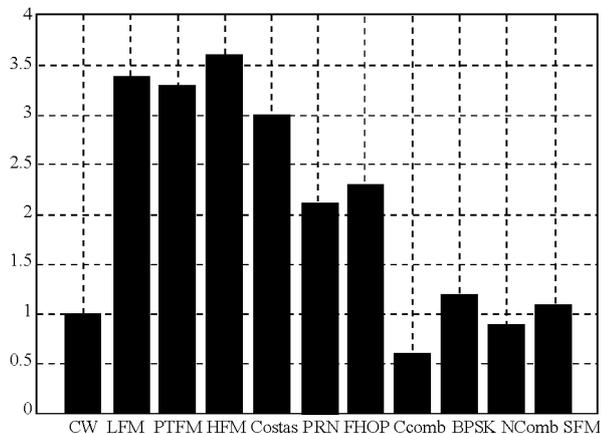


图 1 主动声纳信号能量效率对比

[3] 杨露菁, 耿伯英 译. (美) 霍尔 (Hall,D.L.) 等 编著. 多传感器数据融合手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.

[4] 何友, 修建娟, 张晶炜, 等. 雷达数据处理及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.

[5] Leigh A. Johnston and Vikram Krishnamurthy. An Improvement to the Interacting Multiple Model (IMM) Algorithm[J]. IEEE transactions on signal processing, 2001, 49(12): 2909-2923.

[6] 郭治. 现代火控理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.

[7] 乔向东, 李涛. 多传感器航迹融合综述[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(2): 245-250.

真研究[J]. 弹箭与制导学报, 2008, 28(1): 257-260.

[5] 李哲煜, 张响, 等. 大型运输机综合训练器虚拟仪表系统的研究[J]. 计算机仿真, 2007, 24(7): 247-250.

[6] 朱渊超, 车建国, 等. 基于 GL Studio 的某型雷达面板仿真[J]. 电脑开发与应用, 2006, 19(5): 21-25.

[7] 李栩冰, 郭喜庆, 冯祺. 一种基于 Lab Windows/CVI 的 GL Studio 插件调用方法[J]. 系统仿真技术, 2008, 4(1): 45-46.

[8] Charles Petzold. Programming Windows(Fifth Edition)[M]. Seattle: Microsoft Press, 2009:1198-1200.

表 1 部分主动声纳波形能量效率

波形	能量效率	波形	能量效率
CW	中	Costas	中
LFM	高	PRN	中
HFM	高	New COMB	中
SFM	高	PTFM	高
FHOP	中	OC-PTFM	高
COX COMB	低	Costas-PTFM	高
BPSK	中	MCPC	高

3 结束语

分析了影响低截获主动声纳信号的诸因素，并从低频、大时宽带宽积、复合频（码）制、随机或非线体制、时频捷变、低功率高能量效率等 6 个方面对低截获声纳的信号特征进行了剖析，对于今后选择 LPI 声纳的信号有一定指导作用。

参考文献:

[1] Stove, Hume, Baker. Low probability of intercept radar strategies[J]. IEEE Proc. Radar Sonar Navig., 2004, 151(5): 249-260.

[2] 张锡熊. 低截获概率 (LPI) 雷达的发展[J]. 现代雷达, 2003, 25(12): 1-4.

[3] 周胜, 林春生. 水雷主动声引信低截获特性分析[J]. 海军工程大学学报, 2009, 21(1): 91-95.