

考虑目标航向机动信息的机动目标跟踪算法

鄢余武¹, 王睿¹, 郑富军¹, 张月玲²

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:传统的机动目标跟踪算法大多过于依赖所采用的目标运动模型,没有充分利用目标量测序列中携带的其它有用信息,当目标机动时跟踪性能下降较大。针对该问题,提出了利用目标航向机动序列修正传统跟踪算法滤波值的新算法。仿真结果表明,该算法比传统跟踪算法的跟踪精度高,是一种简单有效的自适应机动目标跟踪算法。

关键词:机动目标跟踪;航向机动;自适应

中图分类号: TN953 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2007)03-0036-03

机动目标跟踪是目标跟踪中的一个难点,因为采用的目标运动模型与目标实际运动模式不完全匹配,跟踪过程中若目标实施机动,传感器可能丢失目标。针对这个问题,许多学者提出了一些不同的解决方法^[1-4]。

传统跟踪算法(如 Kalman 滤波算法^[5,6])的结构如下:建立目标运动模型;根据“新息”调整滤波器参数。这两个主要缺陷:①通过“新息”调整滤波参数有一定的滞后性;②过于依赖目标的运动模型,没有充分利用目标的量测信息,当运动模型难以建立或模型精度较差时跟踪精度下降较大,甚至导致滤波器发散,丢失目标。本文探讨如何减少跟踪过程对目标运动模型的依赖性,提出了一种考虑目标航向机动信息的新算法。

1 目标航向机动序列的计算和目标航向机动的辨识

不考虑高度,假设目标在水平面内做转弯机动。航向机动序列的计算方法如下。

在二维水平直角坐标面内,任意两个相邻量测点可以确定目标在这两点之间所有瞬时航向的等效航向。假设已获得一个长度为4的量测序列 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$,如图1所示。

显然,向量 \overline{AB} 、 \overline{BC} 和 \overline{DC} 的方向等效于目标在相应时段内的航向,两个相邻向量的夹角表示目标在这段时间内发生的总航向机动 $\Delta\theta$ 。图中, $\Delta\theta_1$ 表示 t_{BC} 内目标的总航向机动大小, $\Delta\theta_2$ 表示 t_{CD} 内目标的总航向机动大小, $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2$ 就构成一个航向机动序列。量测序列长度大于4时,依此类推。

一般地,设已知 $k-2, k-1$ 和 k 时刻目标位置的量测数据,则 $k-1$ 到 k 这个时间间隔内目标发生的总航向机动大小 $\Delta\theta_k$ 为

若 $k \geq 3, x_k \neq x_{k-1}, x_{k-1} \neq x_{k-2}$, 则

$$\Delta\theta_k = \arctan\left(\frac{y_k - y_{k-1}}{x_k - x_{k-1}}\right) - \arctan\left(\frac{y_{k-1} - y_{k-2}}{x_{k-1} - x_{k-2}}\right) \quad (1)$$

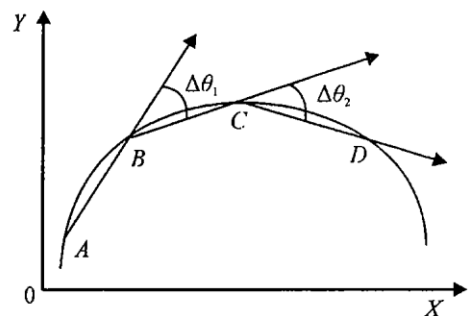


图1 目标的量测序列与机动序列示意图

收稿日期:2006-06-14

基金项目:国家航空科学基金资助项目(01130011)

作者简介:鄢余武(1984-),男,江西上饶人,硕士生,主要从事信号与信息处理研究。

若 $1 \leq k < 3$, 或 $x_k = x_{k-1}$ 或 $x_{k-1} = x_{k-2}$, 则

$$\Delta\theta_k = 0 \tag{2}$$

取 $k = 1, 2, \dots, L$, 由式(1)、(2), 可以得到一个量测航向差序列, 即航向机动序列:

$$\Delta\theta_1 = 0, \Delta\theta_2 = 0, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4, \dots, \Delta\theta_L$$

假设传感器的任意两次量测相互独立, 因为目标的航向不可能突变, k 时刻目标的航向 θ_k 必定在 $k-1$ 时刻目标航向 θ_{k-1} 的某个邻域内, 因此长度为 L 的航向机动序列中所有元素同号且绝对值之和大于某一给定门限 θ_{th} 的概率为 $p^{[6]}$ 。一般地, L 和 θ_{th} 都与 p 呈反比关系。考虑到量测数据中叠加有随机噪声, 航向机动的起始准则采用 $\theta_{th}/m/L$ 准则, 即长度为 L 的航向机动序列中至少有 m 个元素同号且绝对值之和大于某一给定门限 θ_{th} 才认为目标发生了航向机动, 机动起始点为航向机动序列的第一个点。类似地, 航向机动的终止准则采用 $\theta'_{th}/m'/L'$ 准则。

2 采用目标航向机动序列修正的跟踪算法

在二维水平直角坐标面内, 以 Kalman 滤波器为例, 说明如何用目标航向机动序列修正 Kalman 滤波器的滤波值。Kalman 滤波器根据“新息”调整滤波器增益, 以适应目标的机动, 但这种调整具有滞后性, 且急剧调整滤波器参数会导致滤波性能下降。现将新算法与 Kalman 滤波算法相结合如下:

1) 启动 Kalman 滤波器, 启动一个长为 L 的航向机动序列。

2) 计算目标状态预测值。根据量测值, 用 Kalman 滤波器计算目标当前的滤波值; 计算并更新航向机动序列, 用 $\theta_{th}/m/L$ 起始准则或 $\theta'_{th}/m'/L'$ 终止准则判断目标当前的航向机动情况, 若有航向机动, 转 3), 若没有, 转 4)。

3) 用已更新的航向机动序列修正所得到的滤波值:

$$\hat{\theta}_k = \begin{cases} \arctan \frac{\hat{y}(k)}{\hat{x}(k)}, & \hat{x}(k) > 0 \\ \frac{\pi}{2} & \hat{x}(k) = 0, \hat{y}(k) > 0 \\ \pi + \arctan \frac{\hat{y}(k)}{\hat{x}(k)} & \hat{x}(k) < 0 \\ \frac{3\pi}{2} & \hat{x}(k) = 0, \hat{y}(k) < 0 \\ 0 & \hat{x}(k) = 0, \hat{y}(k) = 0 \end{cases}$$

$$\Delta\theta = \lambda \times \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \Delta\theta_i$$

$$v = \|(\hat{x}(k), \hat{y}(k))\|_2; \quad \hat{x}(k)v \cos(\hat{\theta}_k + \Delta\theta); \quad \hat{y}(k)v \sin(\hat{\theta}_k + \Delta\theta)$$

其中, \hat{x}, \hat{y} 分别为 x 和 y 方向位置滤波值, $\hat{\dot{x}}, \hat{\dot{y}}$ 分别为 x 和 y 方向速度滤波值, $\hat{\theta}_k$ 是目标的滤波航向, $\Delta\theta$ 是滤波航向的修正量, λ 是一个非负的修正系数。

4) 若满足退出条件, 退出。否则, 转到 2)。

新算法中修正滤波值的过程实质上是对 Kalman 滤波值的一次平滑, 这种平滑与目标的航向机动有关, 具有自适应性。该算法避免了对整条航迹进行平滑的运算复杂性和低效性, 又能实时地改善滤波器的滤波性能。应用该算法时要设定合适的航向机动准则和修正系数 λ , 可以使用固定值, 也可以动态自适应调整。

3 算例及分析

不考虑高度, 假设在水平面上有两批水平机动的目标。目标 1 的航向机动较小, 量测噪声较大, 如图 2 所示; 目标 2 的航向机动较大, 如图 3 所示。分别用 Kalman 算法和对应的新算法对目标进行跟踪。考虑到两个目标的机动强度不同, 目标 1 的航向机动起始准则取为 $\theta_{th}/m/L = 0.01/4/6$, 修正系数为 0.1; 目标 2 的航向机动起始准则取为 $\theta_{th}/m/L = 0.01/2/3$, 修正系数为 1。由图 2 可以看出, 当噪声对 Kalman 滤波器的滤波性能影响较大时, 对应的新算法因为利用了量测序列中的航向机动信息, 仍能保持较好的性能; 由图 3 可

可以看出,目标航向机动很大时 Kalman 算法性能较差,而对应的新算法的性能明显优于 Kalman 算法。

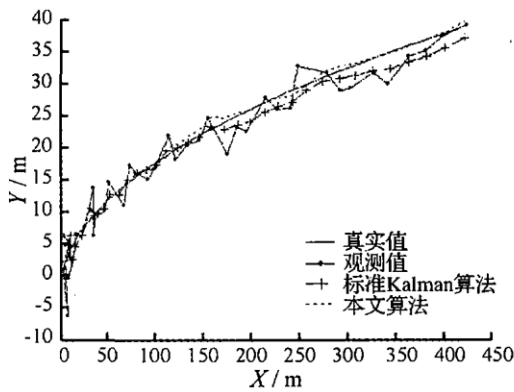


图2 目标1航向机动较小,量测噪声较大

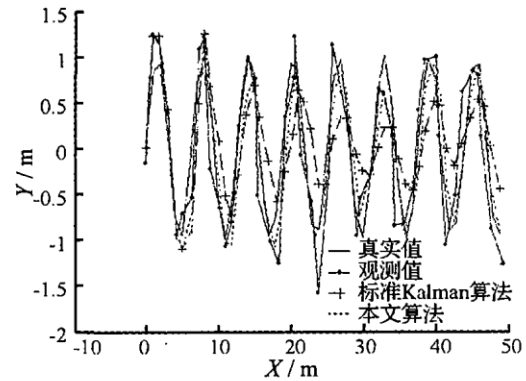


图3 目标2航向机动较大

4 结论

本文所提出的算法提供了一种跟踪机动目标的新思路,是一种简单有效的自适应算法。与传统跟踪算法相比,该算法有如下特点:①能更快地辨识目标的航向机动,几乎不存在滞后和滤波器发散现象,具有良好的自适应性;②在跟踪过程中将目标运动模型和量测序列平等对待,克服了传统跟踪算法过于依赖目标运动模型的弊端,对量测序列中携带的信息利用更加充分;③计算量增加很少,计算复杂性与传统跟踪算法相当。

参考文献:

- [1] 周宏仁,敬忠良,王培德. 机动目标跟踪[M]. 北京:国防工业出版社,1994.
- [2] A. 费利那, F. A. 斯塔德. 雷达数据处理[M]. 北京:国防工业出版社,1988.
- [3] 席庆彪,袁冬莉,闫建国. 目标做加速运动时飞行器末制导中非线性滤波问题研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2004, 5(2): 23-26.
- [4] 何友,修建娟,张晶炜. 雷达数据处理及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [5] Sorenson W. Kalman Filtering: Theory and Application[M]. New York: IEEE Press, 1985.
- [6] 赵兴录. 机动目标跟踪算法研究[J]. 现代雷达, 1993, 15(6): 44-50.

(编辑:田新华)

Maneuvering Targets Tracking Algorithm Regarding Targets' Course Maneuvering Information

YAN Yu-wu¹, WANG Rui¹, ZHENG Fu-jun¹, ZHANG Yue-ling²

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 2. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: Most traditional maneuvering targets tracking algorithms are excessive in relying on the adopted targets motion models, and without making full use of the information of the measure series, so the tracker's performance declines when the targets are maneuvering. Aiming at the problem described above, a new algorithm is derived. The algorithm can be used to adjust the filtering results of a traditional algorithm with targets' course maneuvering series. The simulation results show that tracking precision of the new algorithm is higher than that of the traditional algorithms, so it is simple and effective adaptive maneuvering targets tracking algorithm.

Key words: maneuvering targets tracking; course maneuvering; adaptive