

文章编号: 1002-0640-(2005)增刊-0113-03

多雷达异步观测数据合成融合方法

郑 虹, 徐 毓, 金宏斌

(空军雷达学院, 湖北 武汉 430019)

摘 要: 对采样周期异步的多雷达数据进行融合时, 常用的方法需要对单个雷达分别进行滤波, 对滤波结果进行时间的校准后再进行数据融合。实时性差且运算量也比较大。提出了一种将采样周期异步的雷达观测数据组合成类似于单雷达的观测数据, 直接对该数据进行卡尔曼滤波的数据融合方法。该方法只需一次滤波, 实时性较强且运算量小。通过实验仿真模拟表明该方法是有效的。

关键词: 异步; 融合方法; 卡尔曼滤波

中图分类号: TP391.6 **文献标识码:** A

A Method for A synchronous Observed Data Fusion from Multi-radars

ZHENG Hong, XU Yu, JIN Hong-bin

(A FRA, Wuhan 430019, China)

Abstract: The single radar filters separately and the filtering result is fused after the time registration in the common method under the condition that the sampling time of radar is asynchronous. It has bad real time and large calculations. A processing method for the asynchronous data is presented in which the multi-sensor data regarded as the simple sensor data is directly processed by kalman filter. This method only needs one time of filter and has good real time and less calculations. The result of simulation implies that this algorithm is feasible.

Key words: asynchronous, fusion method, kalman filter

引 言

对于一个多雷达系统对目标的跟踪, 通常首先是单个雷达在各自的时间和空间系统内进行观测, 然后把来自不同雷达不同时刻的观测值、滤波值, 通过内插、外推等一些方法将其统一到同一计时时刻, 再进行处理。对由于各传感器采样周期不同引起的异步问题, 目前解决的方法主要有泰勒展开修正法^[1], 内插外推法^[2]和虚拟融合法^[3]。但是上述的三种算法都是要在融合之前进行数据的预处理, 且观测的起始点必须一致, 虚拟融合法还要求两传感器采样周期的比满足一定的条件。而泰勒展开修正法需要使用到一阶导数, 内插外推法是运用拉格朗日三点插值法。因此这些方法在实际应用中

就不能进行实时处理, 且计算量大。

本文提出了一种新的异步雷达数据融合算法。将多雷达的数据经坐标转换和关联之后按照观测时间的先后合成为类似于单雷达的观测数据, 直接对这个合成的观测数据进行卡尔曼滤波。该方法只需进行一次滤波, 而且不需进行时间的内插、外推, 对观测的起始点也没有要求。仿真试验表明, 通过对多传感器数据的利用, 增大了对目标观测的数据流数据率, 提高了跟踪的精度, 从而说明了该算法的有效性。

1 问题的提出

为了讨论问题的方便, 这里假设只对两个采样周期异步的雷达进行数据融合的情况。雷达 1 和雷达 2 都为 2D 雷达, 其采样周期分别为 T_1 和 T_2 , 且 $T_1 < T_2$ 。假设两个雷达的观测点迹都统一到同一个坐标系中, 且点迹与点迹的关联已经完成, 不考虑通讯延迟的影响。将这些点迹按照采样时间的先后进行排序, 称为合成观测数据。如下页图 1 所示。

合成观测数据是由来自雷达 1 和雷达 2 的观测数据组成

收稿日期: 2004-08-10 修回日期: 2004-10-20

作者简介: 郑 虹 (1979-), 女, 山东省烟台市人, 硕士, 主要从事雷达组网和数据融合方面的研究。



图 1 合成观测数据

的,其采样周期不是固定不变的,而是不断变化的,设为 T_k 。有一点需要注意的就是两个雷达的数据在同一时刻到达时,这里为了计算简便采用的方法是只选取其中采样周期小的雷达观测数据,而舍弃别的雷达的观测数据。(也可以根据雷达的观测方差来选取权重)下面给出利用该合成观测数据进行传感器异步数据的融合处理方法。

2 算法描述

2.1 离散时间线性动态系统的状态方程

不失一般性,只对 X 方向进行分析。当目标做匀速直线运动时,描述目标运动的状态 X 是二维向量,即 $X = [x \quad \dot{x}]^T$, x 和 \dot{x} 分别是 X 方向的目标位置和速度分量。

设目标状态方程为:

$$X(k+1) = \Phi(k)X(k) + G(k)V(k) \quad (1)$$

$$\text{其中, } \Phi(k) = \begin{bmatrix} 1 & T_k \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$G(k) = \begin{bmatrix} T_k^2/2 \\ T_k \end{bmatrix} \quad (3)$$

$V(k)$ 是标量零均值白噪声序列:

$$E[V(k)V(j)] = \sigma^2 \delta_{kj} \quad (4)$$

这里要注意的一点就是, $\Phi(k)$ 和 $G(k)$ 都是 T_k 的函数,如果 T_k 的选取过大或过小,也就是合成雷达的采样周期相差过大或过小,都将导致 $\Phi(k)$ 和 $G(k)$ 成为病态矩阵,从而使运算结果出现波动,丧失了算法的稳定性。所以使用该算法时要注意合成雷达采样周期的选取。

2.2 合成观测方程

合成观测方程可以表示为:

$$Z(k) = H(k)X(k) + W(k) \quad (5)$$

雷达 1 和雷达 2 的观测方程为:

$$Z_i(k) = H_i(k)X(k) + W_i(k), i = 1, 2 \quad (6)$$

假定雷达只能对距离方向进行观测,即 $H_i(k) = [1 \quad 0]$, $i = 1, 2$, 则 $H(k) = [1 \quad 0]$ 。

对雷达 1 和雷达 2 来说,各自的观测噪声是零均值的白噪声,即:

$$E[W_1(k)] = 0, E[W_2(k)] = 0 \quad (7)$$

$$E[W_1(k)W_1(j)] = \sigma_1^2 \delta_{kj}, E[W_2(k)W_2(j)] = \sigma_2^2 \delta_{kj} \quad (8)$$

合成数据的观测噪声应该满足怎样的分布呢?假设 k 时刻合成观测数据的个数为 N , 其中来自雷达 1 和雷达 2 的观测数据的个数分别为 N_1 和 N_2 。

$$E[W(k)] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W(i) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_1} W_1(i) + \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_2} W_2(i) = E[W_1(k)] + E[W_2(k)] = 0 \quad (9)$$

$$D[W(k)] = E[W(k) - E[W(k)]]^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W^2(i) =$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_1} W_1^2(i) + \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_2} W_2^2(i) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_1}{N} \frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^{N_1} W_1^2(i) + \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_2}{N} \frac{1}{N_2} \sum_{i=1}^{N_2} W_2^2(i) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_1}{N} \sigma_1^2 + \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_2}{N} \sigma_2^2 \quad (10)$$

N , 则 $N_1 \rightarrow \hat{a}$, $N_2 \rightarrow \hat{a}$, 设 $\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_1}{N} = \hat{a}$, $\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_2}{N} = \hat{a}$

所以合成观测数据的观测噪声的协方差为:

$$E[W(k)W(j)] = \sigma^2 \delta_{kj} = (\hat{a}\sigma_1^2 + \hat{a}\sigma_2^2) \delta_{kj} \quad (11)$$

2.3 初值

在运算之前,必须对滤波值进行初始化。利用前三个时刻的观测值,即 $z(1)$, $z(2)$ 来确定滤波初始值 $\hat{X}(2)$ 。

$$\hat{X}(2) = \begin{cases} \hat{x}(2) = z(2) \\ \dot{\hat{x}}(2) = \frac{z(2) - z(1)}{T_2} \end{cases} \quad (12)$$

2.4 均方误差矩阵

由滤波器初值,有误差矢量:

$$X(2) = \begin{cases} x(2) - \hat{x}(2) = W(2) \\ \dot{x}(2) - \dot{\hat{x}}(2) = \frac{W(2) - W(1)}{T_2} \end{cases} [4] \quad (13)$$

由于 W 各噪声采样之间互相独立,则初始误差的协方差矩阵为:

$$P(2) = E[X(2) - \hat{X}(2)][X(2) - \hat{X}(2)]^T = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix} \quad (14)$$

其中 $p_{11} = \sigma^2$, $p_{12} = p_{21} = \frac{\sigma^2}{T_2}$, $p_{22} = \frac{2\sigma^2}{T_2^2}$, $\sigma^2 = \hat{a}\sigma_1^2 + \hat{a}\sigma_2^2$

这样,所需要的参数均已具备,可以进行卡尔曼滤波迭代运算。

以上是对匀速运动的模型合成观测的数据融合算法进行的推导,对于其它运动模型的合成观测数据融合算法都可以按照这种方法进行推导。

3 仿真试验

3.1 对匀速运动目标的跟踪

为讨论问题的方便,这里只讨论单目标的情况。假设目标作匀速直线运动,起始状态为 $X(0) = [10 \quad 0.2]^T$, 采用 CV 模型进行跟踪,并采用卡尔曼滤波。目标在公共区域的运动时间为 300s, 两雷达的过程噪声和观测噪声都服从高斯分布,且相互独立。雷达 1 和雷达 2 异步采样且采样周期分别为 5s 和 12s, 其观测噪声标准差为 5km 和 8km, 过程噪声标准差均为 5km。雷达 1 的观测点为 60 个, 雷达 2 的观测点为 25 个, 其中观测时刻相同的点为 5 个。所以这里取 $\hat{a} = 60/80 = 0.75$, $\hat{a} = 20/80 = 0.25$ 。用蒙特卡洛方法进行仿真,仿真次数为 50 次。

由图 2(见下页) X 方向距离滤波结果和距离的均方根误差表明,采用该种算法能有效地对匀速运动的目标进行跟

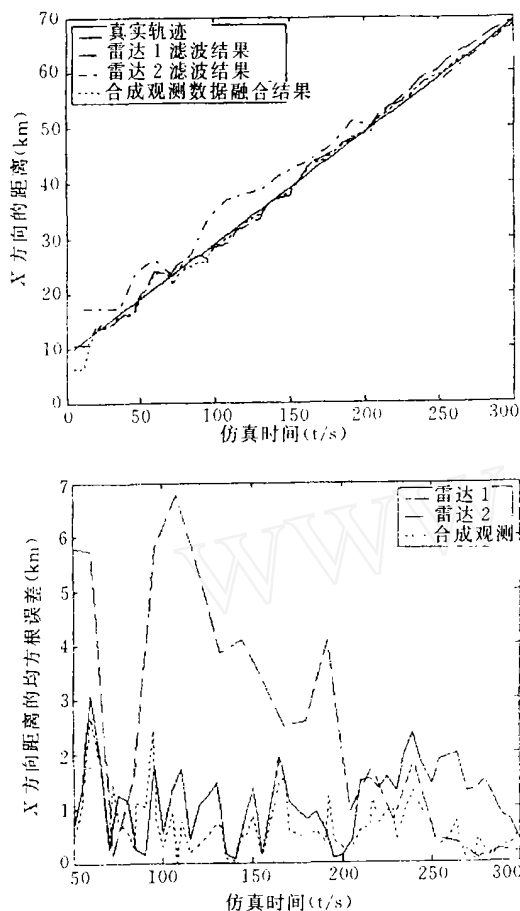


图2 匀速运动目标的合成观测数据融合结果

踪,而且随着观测点的增加,也就是 N 的增加,合成观测数据融合算法的跟踪效果越来越好,与理论分析结果一致。同时采用合成观测数据融合算法得到的航迹,与单雷达滤波的结果相比,合成观测数据后的数据流数据率增大,跟踪精度增加。

3.2 对机动运动的目标进行跟踪

假设目标作机动运动,起始状态为 $X(0) = [10 \ 0.02]$,采用Singer模型进行跟踪,并采用卡尔曼滤波。目标在公共区域的运动时间为300s,其中前60s,目标的机动加速度为3g;60s到120s之间目标的机动加速度为-5g;120s到180s之前,机动加速度为5g;180s到300s之间,机动加速度为-4g。两雷达的过程噪声和观测噪声都服从高斯分布,且相互独立。雷达1和雷达2异步采样且采样周期分别为5s和12s,其观测噪声标准差为5km和8km,过程噪声标准差均为5km。 $\hat{a} = 60/80 = 0.75$, $\hat{a} = 20/80 = 0.25$ 。

由图3中 X 方向距离滤波结果和距离的误差表明,采用合成观测的数据融合算法也能有效地对机动运动的目标进行跟踪。同时由于合成观测后的数据流数据率增大,与单雷达相比,加速了航迹的起始,同时能有效地对目标的机动进行跟踪,消除了单雷达中的跟踪滞后现象。

4 结束语

针对目前异步数据融合算法实时性差和计算量大的缺

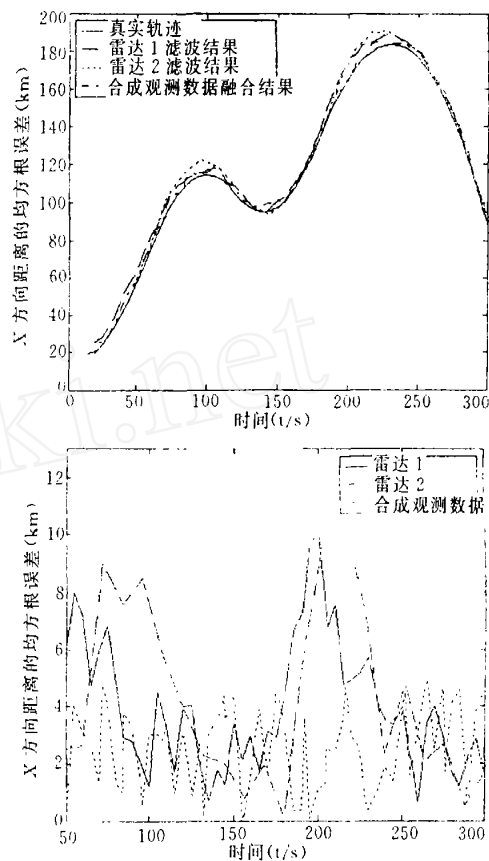


图3 机动目标的合成观测数据融合结果

点,提出了一种将多雷达数据组合成类似于单雷达数据的异步数据处理方法,运用于多雷达点迹的合成。该方法计算量少,实时性强,同时通过对多雷达数据的利用,增大对目标观测的数据流数据率,提高了跟踪精度,通过跟踪做匀速运动和机动运动目标的仿真实验表明该算法是有效的。特别进行机动目标跟踪时,目标观测总体数据率的提高,可使得航迹起始速度加快和对目标机动的跟踪加强,这在反低空突防和低空反导方面,以及在对防空信息处理及信息融合的进一步研究方面具有重要的意义^[5]。

参考文献

- [1] 刘利生 外测数据事后处理[M]. 北京:国防工业出版社,2000
- [2] 王宝树,李芳社 基于数据融合技术的多目标跟踪算法研究[J]. 西安电子科技大学学报,1998,25(3): 269-272
- [3] Blair W D, Rice T R. A synchronous Data Fusion for Target Tracking with a Multitasking Radar and Option Sensor[J]. SPIE, 1991: 234-245
- [4] 杨万海 多传感器数据融合及其应用[M]. 西安:电子科技大学出版社,2004
- [5] 张晓刚,刘进忙,刘昌云 一种对多传感器异步数据的融合处理方法[J]. 航空计算技术,2001,31(4): 1-4