

# 多传感器多目标联合概率数据关联研究

孙俊生, 王建民, 王维锋

(中国人民解放军装甲兵工程学院, 北京 100072)

**摘要:** 提出改进联合概率数据关联算法对多传感器、多目标量测进行同源划分及单一传感器测量数据转换, 并采用联合概率数据关联算法求解空间目标轨迹交叉时的数据关联。仿真结果表明, 改进联合概率数据关联算法提高了成功关联概率, 降低了求解数据关联概率的难度, 可以解决密集目标正确跟踪问题。

**关键词:** 多传感器、多目标跟踪; 联合概率数据关联; 改进联合概率数据关联算法

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

## Research of the joint probabilistic data association algorithm for multisensor-multitarget tracking

SUN Jun Sheng, WANG Jian Min, WANG Wei Feng

(Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

**Abstract:** The amend joint probabilistic data association algorithm for multisensor-multitarget tracking was proposed. The same source observations were classified into the same set. Then the JPDA algorithm was treated as a combination problem of optimization. The simulation results show that the amend joint probability algorithm can increase the success rate of data association, and reduce calculation complexity. This algorithm can make the sensor track densely distributed targets correctly.

**Key words:** multisensor-multitarget tracking; joint probabilistic data association; amend joint probability data association algorithm

利用性能不断改进的传感器对空间机动目标进行跟踪是航空领域的一个基本问题, 随着现代航空航天理论的创新不断发展, 出现了利用多传感器跟踪多目标的概念和体制。对于多目标跟踪理论及方法的研究一直是国内外研究的热门课题之一, 而多目标环境下的数据关联问题是多目标跟踪最核心部分。它是在传感器探测到目标关联区内有多个观测回波时, 将多目标数据和观测回波进行关联的过程, 实现空间运动目标轨迹确认被跟踪的目标数目, 及对应于每一条运动轨迹的目标状态参数(如位置、速度和加速度等)均可相应地估计出来<sup>[1]</sup>。

多目标跟踪主要包括关联门的形成、数据关联与跟踪维持、跟踪起始与跟踪终结、漏报与虚警等, 其中数据关联是多目标跟踪技术中最重要而又最困难的方面<sup>[2]</sup>。

Bar Shalom 等人基于 1 个观测可与多个目标之间建立关联假设, 并以关联概率为权值求测量波门内有效

观测的融合值, 作为等效测量对目标航迹进行更新思想, 于上世纪 80 年代提出了联合概率数据关联(JPDA)算法<sup>[2-3]</sup>。

假设传感器在空间发现有  $T$  个目标, 则它们的状态方程和测量方程分别为:

$$X^t(k+1) = F^t(k)X^t(k) + W^t(k) \quad k=0, 1, 2, \dots, t=1, 2, \dots, T \quad (1)$$

$$Z(k) = H(k)X^t(k) + V(k) \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

其中,  $X^t(k)$  为  $k$  时刻目标  $t$  的状态向量,  $F^t(k)$  为目标  $t$  的状态转移矩阵;  $W^t(k)$  为状态噪声, 是均值为零的高斯白噪声;  $H(k)$  为测量矩阵;  $V(k)$  为测量噪声, 是均值为零的高斯白噪声。

JPDA 算法认为落入目标  $t$  的关联门内的传感器有效回波都有可能来自目标  $t$ , 只是关联的概率不同。

JPDA 算法对单传感器跟踪多目标是一种非常好的算

## 技术与方法 Technique and Method

法,但对于多传感器跟踪多目标情况,特别是目标相对密集时,在各目标跟踪波门的相交区域内可能同时有来自多个目标的测量数据和杂波,并且来自每个目标的测量又可能是含有多个传感器测量的集合。JPDA 算法中的联合关联矩阵拆分为可行关联事件的条件已不再适用,若修正 JPDA 算法中的拆分条件使其满足某一确定目标,由于可能有多个测量源于该目标,会导致可行关联事件的数量与测量呈指数增长,出现计算组合成倍数成长现象,这样在传感器跟踪多目标时进行数据关联算法运行时间较长,影响传感器跟踪的实时性。

## 1 改进的联合概率数据关联算法

本文提出改进联合概率数据关联算法(AJPDA),首先对多传感器多目标测量进行同源划分,然后把多传感器对多目标的测量转换为一个传感器对空间多目标测量数据,以尽可能减少可行矩阵数量,从而降低关联概率计算难度及计算量。最后再将 JPDA 作为一种组合优化问题,以进一步减少计算量,提高空间多目标实测数据关联成功概率。

利用传感器对空间目标的特性(RCS)测量值,通过 RCS 算法,对空间目标情况进行同源划分,把类似的目标划分为同一空间目标。传感器对空间多目标进行测量时,即是同一传感器对同一运动目标的测量,由于空间目标相对于传感器的运动,二者相对测量角度不同,测量数据也不可能相同。这时,可利用 RCS 数据连续性来确定同一传感器测量空间不同目标<sup>[4,6]</sup>,对目标特性变化较大的空间目标进行剔除,保留下的空间目标基本上可确定为飞行器及诱饵目标,根据不同传感器对 RCS 测量值的数据库数据,对空间被测目标进行同源划分。

其次,对不同测站多传感器测量的同一空间目标数据进行测站系转换,使多传感器测量问题转化为单传感器对空间多目标测量问题,测站系坐标转换步骤如下:

(1)将传感器对空间目标测量的测站极坐标系数据转化为测站直角坐标系数据。

空间目标在传感器的测站系中位置、速度分别为<sup>[5-6]</sup>:

$$X_s = FR; \dot{X}_s = \dot{F}R + F\dot{R} \quad (3)$$

其中:

$$F = (\cos E \cos A \quad \sin E \cos A \quad \sin A)^T \quad (4)$$

$$\dot{F} = (-\dot{E} \sin E \cos A - \dot{A} \cos E \sin A \quad \dot{E} \cos E \quad -\dot{E} \sin E \sin A + \dot{A} \cos E \cos A)^T \quad (5)$$

$$X = (x, y, z)^T, \dot{X}_s = (\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})^T \quad (6)$$

其中  $R$ 、 $A$ 、 $E$ 、 $\dot{R}$ 、 $\dot{A}$ 、 $\dot{E}$ 、 $X_s$ 、 $\dot{X}_s$  分别为空间目标在传感器测站极坐标系中的斜距、方位角、俯仰角、斜距速度、方位角速度、俯仰角速度、测站直角坐标系的位置、测站直角坐标系的速度。

(2)将不同测站传感器对空间多目标的测站直角坐

标系测量数据转化为地心直角坐标系测量数据,然后进行数据平滑滤波处理。

空间目标在地心系的位置速度  $X$ 、 $\dot{X}$  为:

$$X = Msg X_s + Vs g \quad (7)$$

$$\dot{X} = Msg \dot{X}_s \quad (8)$$

式中:  $X$ 、 $\dot{X}$  分别为目标在地心直角坐标系位置、速度,  $Msg$ 、 $Vs g$  分别为测站系转入地心直角坐标系的转移矩阵和转移向量,根据各传感器的测站站址计算得出。

这样,就把多传感器多目标跟踪问题转化为单传感器多目标跟踪问题。

最后,利用 JPDA 算法对单传感器跟踪空间多目标数据进行关联。

## 2 仿真实验验证

在传感器测量空间目标时,通常是通过获取测量目标相对传感器的测距  $R$ 、方位角  $A$ 、俯仰角  $E$ ,再计算出空间目标在空间的位置  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  分量。由于在做图时,三维空间曲线直观表示数据不明显,因此试验数据均由  $X$ 、 $Y$  方向分量表示空间目标位置坐标,采样间隔  $T=0.5$  s。

飞行器在空间的运动轨迹一般不确定,并且还会有随时加减速的可能,但在非常短的时间内,飞行器的运行轨迹可看作是匀速直线运动<sup>[5]</sup>。况且,在实时处理空间目标运动轨迹时,时间通常以毫秒为单位。因此,本次仿真实验采用空间目标匀速直线运动数据。目标在  $X$ 、 $Y$  方向运动方程如公式(9),RCS 用 STK 软件模拟产生。

$$X(k+1) = X(k) + V(k)\Delta t \quad (9)$$

在服从正态分布的噪声环境下进行数据仿真,设定传感器的测量噪声方差  $var=0.1$ ,传感器对空间目标的测量数据正确测量概率为  $PD=0.99$ ,传感器测量数据正确落入跟踪门限内的概率  $PG=0.99$ 。

设定目标的初始状态参数如表 1 中目标 1、2 所示,位置、速度分量单位分别为 km、km/s:

表 1 匀速直线运动目标的初始状态参数

参数 目标	起始位置 $X/\text{km}$	起始位置 $Y/\text{km}$	速度 $V_x/$ (km/s)	速度 $V_y/$ (km/s)
1	2.0	1.42	0.7	0.5
2	5.0	8.8	0.5	-0.3
3	4.0	6.0	0.5	0.5
4	2.0	6.0	0.5	0.3
5	3.0	4.5	0.5	-0.5
6	6.0	4.0	0.7	0.5
7	1.0	10.0	0.5	-0.7
8	5.0	8.0	0.5	-0.3
9	2.0	8.0	0.5	-0.3

在上述仿真条件下,通过比较图 1 JPDA 与 AJPDA 算法跟踪效果得知,单传感器跟踪空间多目标的实时数

## 技术与方法 Technique and Method

据关联中, AJPDA 出现一定误差, 与 JPDA 不完全吻合, 这是由于对传感器跟踪空间目标进行坐标转换及平滑处理时, 刚开始处理的数据与实际不符, 但误差在允许范围之内, 可视为两者一致, 且两者的 CPU 开销都为 10% 以下。

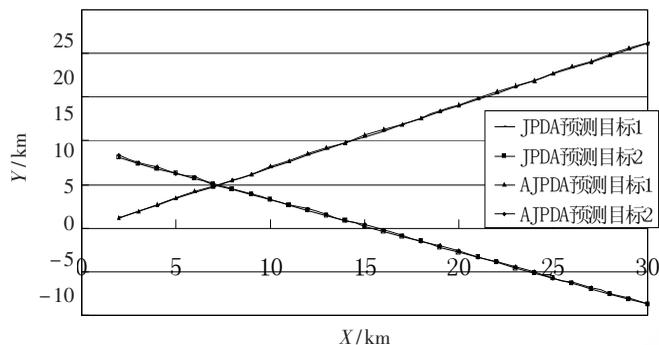


图1 JPDA、AJPDA 算法 2 个交叉目标跟踪效果图

设定目标的初始状态参数如表 1 所示的目标 3-10, 目标 3、4 为传感器 1 的测量数据, 目标 5、6 为传感器 2 的测量数据, 目标 7、8、9 为传感器 3 的测量数据, AJPDA 算法 7 个交叉目标跟踪效果如图 2 所示:

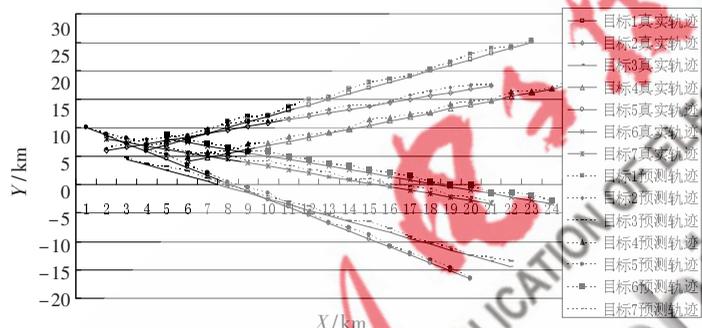


图2 AJPDA 算法 7 个交叉目标跟踪效果图

在 JPDA 算法中, 多传感器跟踪多目标数据时不仅算法实现开销较大(CPU 开销在 85% 以上), 难以保障实时性, 而且关联数据效果不理想, 出现混乱现象。而 AJPDA 算法在多传感器跟踪多目标航迹交叉情况下仍可以实现较保真数据关联跟踪, 虽出现一定误差, 与实际不完全吻合, 但误差在允许范围之内 (且 CPU 开销在 25% 以下), 满足实时性及并联精度要求。图 2 给出了 AJPDA 算法在多传感器跟踪多目标时的关联数据效果, 证明其算法具有很好的跟踪性能。

本文提出 AJPDA 算法, 首先对多传感器测量空间多目标数据进行同源划分, 然后把多传感器测量转换为单一传感器测量空间目标, 最后采用 JPDA 算法求解空间目标轨迹交叉时的数据关联, 不但提高了成功关联概率, 而且降低了求解数据关联概率的难度, 减小了计算量, 适合多传感器对空间多目标测量数据的实时数据关联、识别。

## 参考文献

- [1] 何友, 王国宏, 彭应宁, 等. 多传感器信息融合及应用[M]. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [2] 杨万海. 多传感器数据融合及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [3] 耿峰, 祝小平. 一种改进的多传感器多目标跟踪联合概率数据关联算法研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(20): 4671-4675.
- [4] 夏南银, 张守信, 穆鸿飞. 航天测控系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [5] 王正明. 弹道跟踪数据的校准与评估[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999.
- [6] 蔡庆宇. 相控阵雷达数据处理及其仿真技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.

(收稿日期: 2009-04-24)