

基于杂波感知的双闭环多假设跟踪方法

桂佑林*, 顾万里, 汪 晋, 王永强

(南京电子技术研究所, 南京 210039)

摘要:针对杂波环境下多假设跟踪方法计算量呈指数增长,不易工程应用的问题,提出了一种基于杂波感知的双闭环多假设跟踪方法。该方法在原有的算法框架中加入杂波感知与处理环节,通过减少杂波点迹的数量,大大地减小了虚假航迹的数量;采用双闭环结构对未稳定跟踪和已稳定跟踪的航迹分别进行处理,避免了由虚假航迹引起的聚类扩大或者合并问题,进一步减小了算法的计算量。通过仿真数据验证了该算法能够减小50%的计算量,同时也降低了虚假航迹的数量,由此验证了该算法的有效性。

关键词:多假设跟踪方法;双闭环;杂波感知;数据关联

中图分类号:TN957.51

文献标志码:A

文章编号:1004-7859(2022)10-0033-04

引用格式:桂佑林,顾万里,汪 晋,等.基于杂波感知的双闭环多假设跟踪方法[J].现代雷达,2022,44(10):33-36.

GUI Youlin, GU Wanli, WANG Jin, et al. A double closed loop multiple hypothesis tracking method based on clutter perception[J]. Modern Radar, 2022, 44(10): 33-36.

A Double Closed Loop Multiple Hypothesis Tracking Method Based on Clutter Perception

GUI Youlin*, GU Wanli, WANG Jin, WANG Yongqiang

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

Abstract:In this paper, a double closed loop multiple hypothesis tracking method based on clutter perception is proposed to solve the engineering application problem of multiple hypothesis tracking method, since the calculated amount of the multiple hypothesis tracking method in a clutter environment increases exponentially. In this method, a clutter perception and processing module is added into the original algorithm framework, which greatly reduced the number of false tracks, by reducing the number of clutter points. Based on that, a double closed loop structure is used for processing the unsteady track and the steady track respectively, which further reduced the calculated amount of this algorithm, by solving the cluster expansion and merge problem caused by false tracks. It has been verified that the proposed method can reduce 50% of calculated amount, and the number of false tracks is reduced at the same time, which verified the effectiveness of the proposed method.

Key words:multiple hypothesis tracking; double closed loop; clutter perception; data association

0 引 言

点航迹关联技术是多目标跟踪系统中的核心技术之一,关联的正确与否将对目标跟踪的稳定性产生直接影响^[1-2]。由于杂波和干扰的存在,使得测量数据具有很大的不确定性,由此对点航迹关联技术提出了很高的要求^[3-5]。

在早期的研究中,文献[6]提出了最近邻域法,该方法选择波门中统计距离最小的点迹作为目标点迹。这种方法的优点为计算简单,但是在杂波环境下容易出现关联错误。针对杂波环境下的目标关联问题,文献[7]提出了概率数据关联算法,该方法对波门内所有的点迹以一定的概率进行加权求和,且采用加权后的点迹作为等效的目标点迹,但这种方法只适用杂波环境下的单目标跟踪问题。在此基础上,文献[8]通

过引入联合事件和联合概率数据关联算法,用于杂波环境下的多目标跟踪。但是,上述算法只采用一个周期的数据进行决策和判决,当信噪比较低时,由于虚警和目标不易进行区分,该算法无法取得很好的效果。而对目标来说,其运动通常满足一定的规律,如果采用多步延迟逻辑,则很容易将真目标检测出来。基于以上思想,文献[9]提出基于多假设方法的多步跟踪算法,来解决杂波环境下的多目标跟踪问题。该方法在数据关联发生冲突时,形成多种假设以延迟进行决定。在理想假设条件下,多假设跟踪方法被认为是针对多目标关联问题的最优方法。

然而多假设跟踪方法的计算量随着目标和杂波数目的增加呈指数增长,使得其在工程应用方面受到了极大地限制,为了减小计算量,很多学者对该方法进行了改进。例如文献[9]提出了一种结构化分支多假设跟踪方法,该算法在一定程度上,降低了计算量,但计

算量依然很大。因此本文在文献[9]的基础上提出了一种基于杂波感知的双闭环多假设跟踪方法,该方法在多假设跟踪算法框架中加入杂波感知与处理环节,通过减少杂波点迹的数量,减少了虚假航迹起始的数量。同时采用双闭环结构对未稳定跟踪和已稳定跟踪的航迹分别进行处理,内环用于发现和起始目标航迹。当目标进入稳定跟踪状态后,转到外环进行处理,保证目标能够一直被稳定跟踪和维持。基于上述双闭环结构进行航迹关联,减少了航迹聚类与假设生成模块输入航迹的数量,进一步减小了计算量。

1 基于航迹的多假设跟踪算法介绍

多假设跟踪算法是一种在数据关联发生冲突时,形成多种假设以延迟作决定的逻辑。该算法假设所有接收到的量测都可能来自新的目标、虚警或已有目标,它通过一个有限长度的时间窗,建立多个候选假设,并通过假设评估和管理(删除、合并、聚类)等技术实现多目标跟踪。多假设跟踪算法与概率数据关联等算法相比,主要是将生成的多个假设在不同周期之间进行传递,然后依据多个周期的数据来解决这种不确定性。基于航迹的多假设跟踪算法框架如图1所示。

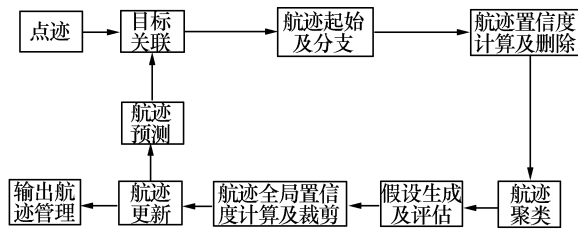


图1 基于航迹的多假设跟踪算法框架

1) 航迹预测

根据目标的状态转移方程,可以采用时刻目标运动状态的估计值及其协方差矩阵 $\mathbf{P}(k)$ 对 $k+1$ 时刻目标运动状态 $\hat{\mathbf{X}}(k+1|k)$ 及其协方差矩阵 $\mathbf{P}(k+1|k)$ 进行预测。

2) 点航迹关联

通过计算目标状态测量值与预测值之间的归一化距离 $\xi_i(k)$ 来进行点航迹关联。

3) 航迹起始与分支

对于 $k+1$ 时刻每一个量测数据,如果已经和某航迹关联上,则对该航迹进行分支。如果未关联上,则其起始新的航迹。

4) 航迹置信度计算与删除

在航迹分支完毕后,为了有效控制航迹的数量,需要及时删除其中的虚假航迹。通过对每一条分支航迹的航迹置信度进行评估,来确定其中的虚假航迹。航迹置信度 L 通过递归积累进行计算,即

$$L(k) = L(k+1) + \Delta L(k) \quad (1)$$

航迹置信度增量 $\Delta L(k)$ 计算方法为^[11]

$$\Delta L(k) = \begin{cases} \lg \left[\frac{\beta_N}{\beta_F} \right], & \text{新起始航迹} \\ \lg \left[\frac{P_d e^{-d^2/2}}{\beta_F (2\pi)^{M/2} \sqrt{|S|}} \right], & \text{有量测航迹} \\ \lg \left[\frac{1 - P_d}{1 - P_F} \right], & \text{无量测航迹} \end{cases} \quad (2)$$

式中: β_N 是目标空间密度; β_F 是虚警空间密度; P_d 代表目标的检测概率; P_F 代表虚警概率; d 代表统计距离; M 是量测空间维数; S 为残差协方差矩阵。

根据上述方法计算的航迹置信度,对航迹进行删除与确认操作。

5) 航迹聚类

为了减小算法的计算复杂度,提高算法的运行效率,对分支后的航迹进行聚类。航迹聚类将存在共享量测的所有航迹合并为一个“簇”。簇与簇之间满足相互独立性,且在簇内部的所有航迹之间存在耦合性。由此可以将算法后续的处理流程限制在每一个簇内部,且不会影响其他簇内航迹。

6) 假设生成及评估

对于实际的雷达系统,由于存在测量值误差,且有杂波和干扰的存在,针对单个周期的数据进行点航迹关联很容易出现错误。为了提高输出航迹的正确率,采用多个周期的数据构建关联假设树,根据假设树在一段时间累积后的关联质量得分寻求全局范围内的最优解。但是,若聚类中航迹数目过多,会导致假设条目爆炸式增长。因此,必须对假设进行评估,在航迹关联正确率不受影响的前提下,挑选出概率大的航迹假设,删除概率较小的航迹假设。假设分数的计算方法为

$$L_H = \sum_{i=1}^N L_i \quad (3)$$

式中: N 代表假设 H 中航迹的数目; L_i 为假设 H 中第 i 个航迹的置信度。

7) 航迹全局置信度计算及裁剪

根据计算得到的假设得分,可以计算每个航迹的后验概率,即全局置信度,由此重新对航迹进行裁剪。对于航迹,其全局置信度 P_g 计算公式为

$$P_g(T_i) = P(T_i) \times \frac{\sum_{T_i \in H} \exp(L_H)}{\sum_{H \in C_m} \exp(L_H)} \quad (4)$$

$$P(T_i) = \frac{\exp(L_i)}{1 + \exp(L_i)} \quad (5)$$

式中: C_m 代表第 m 个聚类中所有假设的集合。

8) 航迹更新

对于剩下的航迹, 基于扩展 Kalman 滤波器进行航迹更新。

2 改进的多假设跟踪算法介绍

对于原始的多假设跟踪算法, 在杂波环境下, 会起始大量的虚假航迹。同时, 当虚假航迹和目标航迹同时参与聚类时, 会使目标航迹聚类中引入大量的虚假航迹, 导致聚类范围扩大, 甚至可能导致原本多个相互独立的目标航迹聚类, 连同虚假航迹一起合并为一个范围内的聚类。对于每一个聚类, 由于其生成假设的数量会随着航迹数量的增加呈指数级增长, 导致其计算量也同步呈指数级增长, 这将给工程应用带来很大的困难。针对上述问题, 本文改进了多假设跟踪算法的实现框架, 如图 2 所示。

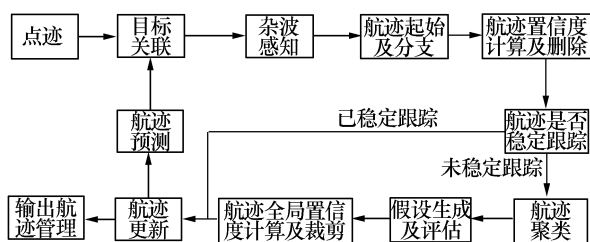


图 2 改进的多假设跟踪算法框架

具体的改进措施如下:

1) 针对杂波会引起大量的虚假航迹问题, 本文在航迹起始前加入了杂波感知与处理模块, 如图 3 所示。对于当前周期的某一个点迹, 统计该点迹与上一周期在空间上相邻点迹的距离, 如果上一周期存在某个点迹与本周期该点迹的距离小于某个门限, 则认为该点迹是杂波寄生点。对于确认为杂波的点迹, 不参与航迹起始, 且不与未进入稳定跟踪状态的航迹进行关联。

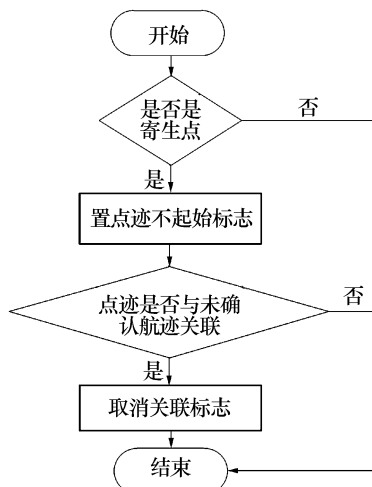


图 3 杂波感知与处理模块处理流程图

2) 对于虚假航迹可能会引起航迹聚类扩大或者合并的问题, 本文提出了一种基于双闭环结构的多假设跟踪算法。该结构的内环针对未进入稳定跟踪状态的临时航迹进行处理。内环不参与聚类以及生成假设等环节, 在航迹起始或分支完毕后, 直接进行更新。在目标进入稳定跟踪状态后, 进入外环进行处理, 通过参与聚类以及生成假设等环节, 保证目标能够一直被稳定跟踪。

对于改进后的多假设跟踪算法, 通过引入杂波感知与处理模块, 有效地减小了虚假航迹的起始数量。同时, 采用双闭环结构, 将虚假航迹限制在内环进行处理, 外环只处理稳定跟踪的航迹。由于杂波起始的虚假航迹很少能够进入稳定跟踪状态, 外环的输入航迹几乎都是目标真实航迹, 参与航迹聚类的也几乎都是目标真实航迹, 由此通过将虚假航迹和真实航迹分开进行处理, 有效地避免了聚类扩大或者合并的问题。

3 算法验证与分析

针对上述算法, 采用仿真数据进行测试与验证, 仿真数据的距离范围为 80 km ~ 150 km, 方位范围为 130° ~ 150°, 仰角范围为 0° ~ 15°。采样周期为 13 s。该仿真数据包含了 30 个周期 39 s 的数据, 所有周期数据平面投影图如图 4 所示。

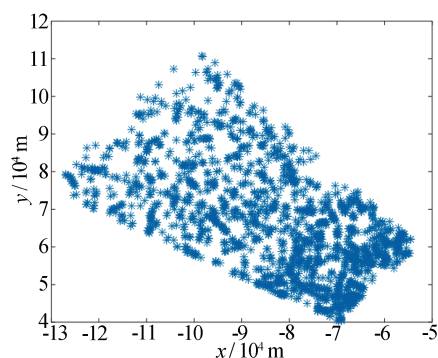


图 4 所有周期数据平面投影图

基于 Matlab 软件编写程序分别对改进前后的多假设跟踪算法进行测试与验证, 截取同一时刻两种方法输出的航迹进行对比, 对应输出航迹如图 5 和图 6 所示。

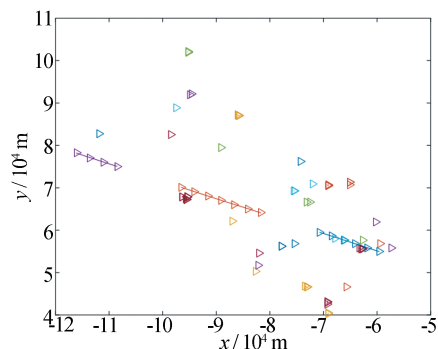


图 5 改进前的多假设跟踪算法输出航迹

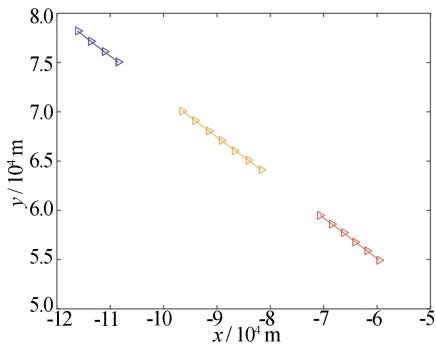


图6 改进后的多假设跟踪算法输出航迹

根据图5和图6可以看出,对于改进前的多假设跟踪算法,其航迹输出画面中包含很多虚假航迹。但是,对于改进后的多假设跟踪算法,其输出航迹画面很干净,只包含3批真实的目标航迹,由此验证了改进后的多假设跟踪算法能够大大减小虚假航迹的数量。

采用整包数据对改进前后的多假设跟踪算法进行对比测试与验证,其性能对比如表1所示。

表1 改进前后的多假设跟踪算法性能对比

	改进前的多假设跟踪算法	改进后的多假设跟踪算法
运行时间/s	63	31
虚假航迹数/批	3 219	1 811

根据以上性能对比可以看出,对于改进后的多假设跟踪算法,和改进前的多假设跟踪算法相比较,其运算时间减小50%左右,由此验证了改进后的多假设跟踪算法能够减小算法的计算量。同时,通过性能对比可以看出生成虚假航迹的数量也大大减小。另外,基于Windows7平台编写C语言程序验证了改进后的多假设跟踪算法每一帧数据的运算时间为0.86 s左右,小于每一帧测量数据的采集时间1.3 s,由此验证了该算法的工程可实现性。

4 结束语

本文提出了一种基于杂波感知的双闭环多假设跟踪方法。首先,在算法框架中加入杂波感知与处理环节,减小了杂波环境下虚假航迹的数量,同时也降低了该算法的计算量。在此基础上,采用双闭环结构对未稳定跟踪和已稳定跟踪的航迹分别进行处理,通过减少航迹聚类与假设生成模块输入航迹的数量,进一步减小了算法的计算量。最后,通过仿真数据验证了该算法在杂波环境下能够减小50%的计算量,同时也降低了输出虚假航迹的数量,由此验证了该算法的有效性。

参考文献

[1] 汪圣利,程知敬.引入目标径向速度信息的多假设跟踪方法[J].现代雷达,2016,33(7):45-48.
WANG Shengli, CHENG Zhijing. Multiple hypothesis tracking algorithm using target doppler information[J]. Modern

Radar, 2016, 33(7): 45-48.

[2] 文成宇,房卫东,陈伟.多目标跟踪的对象初始化综述[J].计算机科学.2022,49(3):152-162.
WEN Chengyu, FANG Weidong, CHEN Wei. Object initialization in multiple object tracking[J]. A Review, 2022, 49(3): 152-162.
[3] 崔恩永.基于多特征的多假设跟踪算法及航迹融合技术研究[M].西安:西安电子科技大学,2021.
CUI Enyong. Researchs on multi-feature based multiple hypothesis tracking algorithm and track fusion method[M]. Xi'an: Xidian University, 2021.
[4] 蔡秀梅,王妍,卞静伟,等.多目标跟踪数据关联算法综述[J].西安邮电大学学报,2021,26(2):77-86.
CAI Xiumei, WANG Yan, BIAN Jingwei, et al. Overview of muti-target tracking data association algorithms[J]. Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications. 2021, 26(2): 77-86.
[5] 尹立凡,张奕群,王硕,等.直方图概率多假设跟踪方法技术综述[J].系统工程与电子技术,2021,43(11):3118-3125.
YIN Lifan, ZHANG Yiqun, WANG Shuo, et al. A survey on history probabilistic multi-hypothesis tracker technique[J]. Systems Engineering and Electronics, 2021, 43(11): 3118-3125.
[6] SINGER R A, SEA R G. A new filter for optimal tracking in dense multi-target environment[C]// Proceedings of the ninth Allerton Conference Circuit and System Theory. Urbana-Champaign, USA: University of Illinois, 1971: 201- 211.
[7] BAR-SHALOM Y. Tracking in a cluttered environment with probabilistic data association[J]. Automatic, 1975, 11(9): 451- 460.
[8] FORTMAN T E, BAR-SHALOM Y, SCHEFE M, et al. Multi-target tracking using joint probabilistic data association[C]// IEEE Conference on Desition and Control. Albuquerque, NM, USA:IEEE Press, 1980: 807-812.
[9] BLACKMAN S S, DEMPSTER R J, BROIDA T. Multiple hypothesis track confirmation for infrared surveillance systems[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1993, 29(3): 810-823.
[10] GUO Wen, JIN Yuelong, SHAN Bin, et al. Multi-cue multi-hypothesis tracking with reidentification for multi-object tracking[J]. 2022, 28(3): 925-937.

作者简介:

桂佑林 男,1977年生,硕士,研究员级高级工程师,研究方向为雷达信号处理;

顾万里 男,1988年生,博士,工程师,研究方向为雷达数据处理;

汪晋 男,1985年生,硕士,研究员级高级工程师,研究方向为雷达数据处理;

王永强 男,1989年生,硕士,工程师,研究方向为雷达数据处理。