

doi: 103969/j.issn.0490-6756.2017.01.015

杂波环境下雷达新建航迹处理方法分析

袁德诚, 王运锋

(四川大学计算机学院国家空管自动化系统技术重点实验室, 成都 610065)

摘要: 针对杂波环境下容易出现虚假航迹的问题, 本文从数据处理角度讨论了航迹关联时的扇区划分和新建航迹规则等方法, 利用多个周期的统计分析, 在新建航迹的准确性和实时性中寻找平衡, 通过适当延长判断周期(牺牲实时性)来降低虚假航迹的出现(提高准确性).

关键词: 航迹关联; 扇区划分; 新建航迹规则; 虚假航迹

中图分类号: TN 957.52 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2017)01-0089-06

Analyze radar new track processing methods in clutter environment

YUAN De-Cheng, WANG Yun-Feng

(College of Computer Science, Sichuan University, National Key Laboratory of ATC Automation System Technology, Chengdu 610065, China)

Abstract: Prone to issuing false track problem in clutter environment, this article discusses sector division and new track rules methods when track association, in which perspective of the data processing. Using statistical analysis of multiple cycles to find a balance between accuracy and real time in creating new track. By appropriately extended judgment cycle (sacrifice real-time) to reduce the occurrence of false track (improve accuracy).

Keywords: Track association; Sector division; New track rules; False track

1 引言

在通常进行周期性报告雷达数据处理的过程中, 对每个周期的点迹报告, 用其中不能与系统维护的现有航迹进行关联的点迹, 生成新建航迹, 并设置其航迹状态为新建航迹或临时航迹, 在后续的2~3个报告周期中进行确认, 若均有有效点迹报告与之关联并更新, 则将该新建航迹状态转换为确认航迹管理, 如果中间出现无关联点迹报告的情况, 则认为该新建航迹为虚假航迹, 直接删除^[1], 这个确认过程将根据雷达应用环境的不同而有所差异, 通常应用环境下会设置为3个雷达扫描周期.

但对于杂波环境下, 由于各种杂波出现的不规

则性^[2], 特别是雷达在受到地杂波或海杂波影响的区域, 每个周期都可能出现大量的点迹报告, 给数据处理系统造成极大的压力, 如果按照常规处理方法, 将不能与系统航迹关联的点迹用来生成新建航迹, 则会出现大量的虚假航迹, 严重影响雷达数据处理的效果. 在这种情况下, 最好能够从信号处理的角度来解决大量虚假航迹的影响, 为数据处理营造一个良好的氛围, 但通常情况下信号处理部分不可能做到所有的点迹报告均为有效点迹, 因此这就需要从数据处理的角度来避免虚假航迹的出现.

本文针对周期性报告的雷达点迹, 从航迹关联处理的扇区划分和拟定新建航迹规则两方面, 讨论降低虚假航迹的问题, 主要思想就是通过延长新建

收稿日期: 2016-05-05

基金项目: 国家空管科研课题(GKG201403001)

作者简介: 袁德诚(1991-), 男, 江西新余人, 硕士生, 研究方向为雷达数据处理、源信息融合.

通讯作者: 王运锋. E-mail: yfwang@scu.edu.cn.

航迹转换为确认航迹的过程,即牺牲新航迹出现的实时性,达到降低虚假航迹出现的目标。

本文主要讨论涉及杂波环境下“点迹-航迹相关”模块的扇区划分和“未相关点迹创建新临时航迹”模块的创建规则。

2 航迹关联扇区划分方法

2.1 常规关联及扇区划分

雷达数据处理的一般流程如图 1 所示。

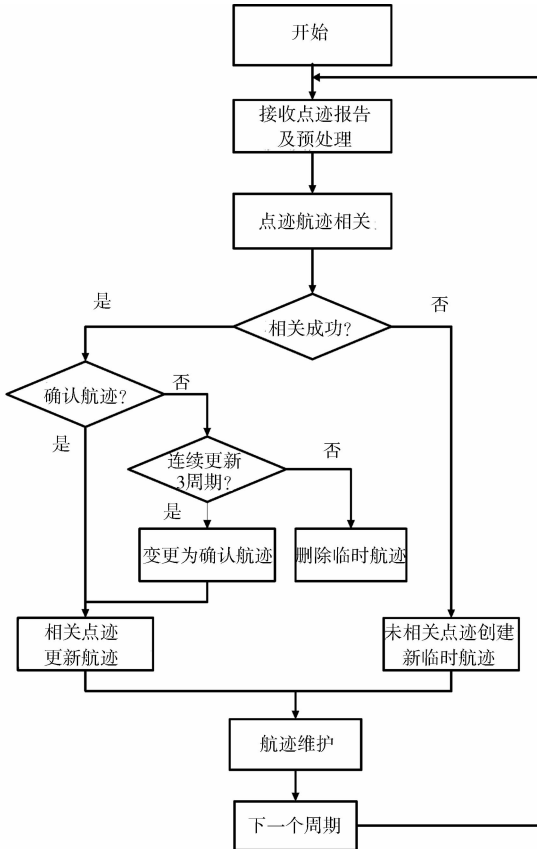


图 1 雷达数据处理流程图

Fig. 1 Flow chart of radar data processing

针对多目标嘈杂环境下,点迹和航迹的相关和航迹起始,常规选用的关联算法包括最近邻关联算法^[3]、全局最近邻关联算法、概率数据关联算法、联合概率数据关联算法^[4]、模糊关联算法^[5,6]等。常规选用的航迹起始算法包括直观法^[7]、逻辑法^[8]、基于 Hough 变换的方法^[9,10]、修正的 Hough 变换法^[11]等。

航迹的起始是多目标航迹处理中的首要问题,因此航迹起始的好坏直接影响了后续航迹的处理。上述航迹起始算法在处理地杂波或海杂波的数据时,一类采用是面向目标的顺序处理技术;另一类是面向测量的批处理方法。前者计算量小但是在强杂波环境下辨别目标与虚警的能力差,仅适合稀疏

回波环境;后者虽然处理效果较好,能有效的降低虚警概率,但在密集回波环境下计算量太大,实现太困难,不易于工程实践。本文所分析的是在实际场景中,在含有大量的密集杂波、回波、慢速目标和仙波情况下,如何能有效的起始正确的目标航迹并且减少计算量。上述关联算法的主题思路均是在航迹预测位置建立相关门,对相关门内的点迹报告,采用不同的关联参数,计算各点迹的统计结果,并依据制定的规则确定关联结果。这其中涉及两个关键问题,其一是相关门的划分,其二是点迹统计参数的设定及关联规则,在本文我们主要讨论第一个关键问题相关门确定过程中的扇区划分问题。

从关联计算的目的来说,希望关联门越大越好,这样可以有效避免漏关联现象的发生,极端情况是将本次报告的所有点迹均与特定航迹进行粗相关,这样做的后果就是计算量大增、处理时效性较差,因此从工程实施角度来说,就必须缩小关联门,使得候选点迹能够满足航迹处理的同时,符合计算处理等的要求,基于上述两者的平衡,通常情况下,在实施过程中,会将雷达监视的空域范围划分为若干个扇区,由于目标运动特性决定了其关联大致范围,通常仅处理相邻扇区的点迹进行粗关联检测,常见的以 16 扇区划分方式,如图 2 所示,将雷达监视范围划分为 16 个扇区,编号 0~15,每个扇区 22.5° ,每次处理时根据点迹位置和航迹位置,计算点迹报告和预测航迹所处扇区^[12]。

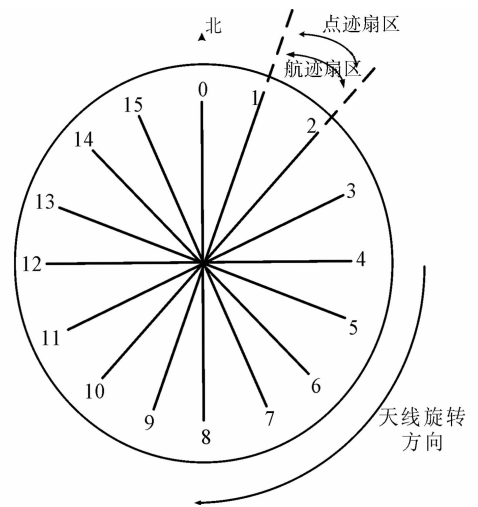


图 2 常见雷达处理 16 扇区划分示意图

Fig. 2 Common radar processing 16 sector classification schemes

在关联处理过程中,对未跨越扇区时,可以将预测航迹处于第 K 扇区的航迹与位于第 K 扇区

的点迹进行关联, 对跨越扇区时, 就需要将预测航迹处于第 K 扇区的航迹与第 $K, K-1, K+1$ 三个扇区的点迹报告进行关联, 而在实际工作中, 两种情况都存在, 因此关联程序就需要设计成预测航迹位于第 K 扇区的航迹与第 $K, K-1, K+1$ 三个扇区的点迹进行关联号。

2.2 改进扇区划分方法

上述点迹报告与航迹关联时计算点迹/航迹所处扇区使用的扇区划分方法是相同, 为解决跨扇区时的关联问题, 需要处理用第 K 扇区的航迹与 $K-1, K, K+1$ 三个扇区的点迹进行关联, 为提高关联效率, 我们提出了一个改进的扇区划分方法, 如图 3 所示

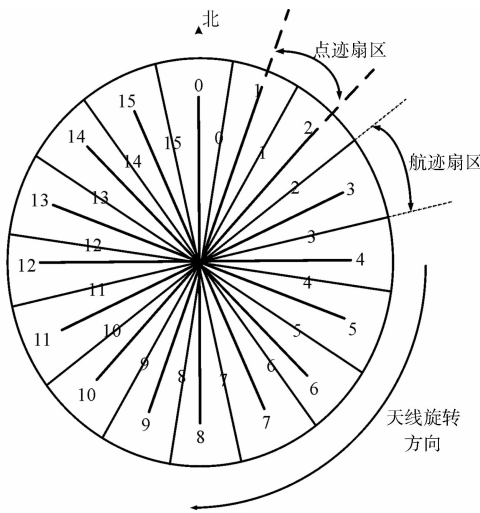


图 3 改进的扇区划分方法

Fig. 3 Improved sector classification method

在图 3 的改进扇区划分方法中, 点迹扇区和航迹扇区不再重合, 而是相差半个扇区的范围, 这种划分方法可以有效的降低粗关联时点迹-航迹关联对的数量, 提高关联的准确性。

改进划分方法后, 扇区关联规则可以修改为:

处于航迹扇区 K 中的确认航迹, 与处于点迹扇区 $K-1$ 和点迹扇区 K 的点迹进行关联判断。

处于航迹扇区 $K-1$ 中的临时航迹, 与处于点迹扇区 $K-1$ 和点迹扇区 $K-2$ 的点迹进行关联判断。

处于点迹扇区 $K-2$ 中未被使用的点迹, 用来生成新的临时航迹。

3 新建航迹的拟定规则

为避免新生成的航迹出现过多的虚假航迹, 在程序设计和开发过程汇总, 需要根据具体的应用环

境设置不同的确认规则, 以下以空管一次雷达建航为例, 描述两个简要规则。

3.1 规则 1——线性起始规则

所有关联点迹报告 (t, X, Y) , (其中 t 为报告时间, X, Y 为报告的二维位置坐标) 均在一条射线上, 即: 由两个时刻报告的关联点迹 (t_1, X_1, Y_1) , (t_2, X_2, Y_2) , 就构成了一条射线, 线起点 (X_1, Y_1) , 并指向 (X_2, Y_2) 方向, 该射线方程为:

$$y = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}x + \left(Y_2 - \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}X_2 \right) \quad (1)$$

后续点迹报告 (t_i, X_i, Y_i) 应落在该射线上或有很小的误差 ϵ (控制参数)。

3.2 规则 2——速度稳定性规则

起始关联点迹报告所形成的目标航速和航向均稳定, 即前后两次计算的航速变化量小于前次航速的 10%, 航向变化量小于 5% (适应性设置参数)^[13]。以连续 5 个周期中, 中间一个周期漏报为例, 速度稳定性规则判断如下。

$$\text{航速: } v_2 = \frac{d_2}{T}, v_4 = \frac{d_4}{2 \times T}, v_5 = \frac{d_5}{T}$$

分别为航迹连续 5 个周期中第 2、4、5 报告周期后计算的航速, 其中:

$$d_2 = \sqrt{(Y_2 - Y_1)^2 + (X_2 - X_1)^2} \quad (2)$$

$$d_4 = \sqrt{(Y_4 - Y_2)^2 + (X_4 - X_2)^2} \quad (3)$$

$$d_5 = \sqrt{(Y_5 - Y_4)^2 + (X_5 - X_4)^2} \quad (4)$$

T 为雷达报告间隔周期 (天线扫描周期)

航向:

$$\theta_2 = \arctg \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (5)$$

$$\theta_4 = \arctg \frac{Y_4 - Y_2}{X_4 - X_2} \quad (6)$$

$$\theta_5 = \arctg \frac{Y_5 - Y_4}{X_5 - X_4} \quad (7)$$

分别为航迹连续 5 个周期中第 2、4、5 报告周期后计算的航向。

3.3 其他规则

根据不同的应用, 可以设置其他应用规则, 如在空管监视雷达中, 还可以设置距离规则、漏报规则、机场区域规则、首次报告规则等^[6]。

4 实验

本实验涉及边扫描边跟踪体制 TWS (Track-While-Scan) 雷达^[14], 为验证改进扇区划分方法和新建航迹规则对雷达系统点迹与航迹关联的性能,

同时保证场景数据的真实性和有效性,本节进行如下实验:从工程现场提取雷达录取的多个周期(10 s)数据,然后进行关联跟踪,对最后生成的航迹数据在采用相同跟踪算法的基础上,分析点迹与航迹的关联效果。

(1) 虚警概率是验证点迹与航迹关联算法好坏的一项重要指标,为验证改进扇区划分能有效的减少误关联,本实验在三种场景下,分别为弱杂波、弱杂波且包含多个机动目标和强杂波,通过计算虚警率,来对比改进扇区划分方法与正常扇区划分方法的性能,结果如表 1 所示。

表 1 改进扇区划分与正常扇区划分的虚警率对比

Tab.1 The compared table of false alarm rate about Improved and Common sector classification

场景	弱杂波	弱杂波含机动目标	强杂波
改进扇区划分	7.06%	8.23%	10.23%
正常扇区划分	15.93%	21.34%	27.68%

从表 1 可以看出,在点迹与航迹关联时,采用改进扇区划分方法可以有效的降低虚警率,减少航迹误关联的产生。尤其是在强杂波或含多个机动目标场景下,改进扇区划分方法能在粗关联的过程中,有效的处理跨扇区的点迹,更好的跟踪机动目标。

(2) 在点迹与航迹关联时,关联算法的处理时间直接影响到整个系统的时效性,在上述三种场景下,统计雷达在多个扫描周期(10 s)内,系统对收到目标点迹进行粗关联所花费的时间,来对比改进扇区划分与正常扇区划分算法的时效性,结果如表 2 所示。

表 2 改进扇区划分与正常扇区划分的平均处理时间对比

Tab.2 The compared table of average processing time about Improved and Common sector classification

每周平均点迹数量	200	500	1000
改进扇区划分(ms)	14.54	102.08	173.10
正常扇区划分(ms)	62.72	150.86	292.80

从表 2 可以看出,系统采用改进扇区划分关联方法,能有效的减少处理大批量点迹与航迹关联所花费的时间,增强系统的实时性需求。

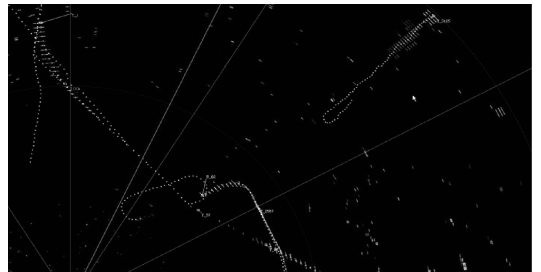
本系统数据来源于真实场景,各种场景数据都

是回波能量较小、密集排列且存在一定机动的飞行目标,采用改进扇区划分方法和新建航迹规则的点迹与航迹关联效果如图 4~图 7 所示。

图 4 中,在弱杂波场景下,在采用改进扇区划分图 4(a)和正常扇区划分图 4(b)对同一个机动目标关联跟踪效果上,改进扇区划分正确跟踪机动目标同时生成了航迹 T₁₂,该机动目标正常进行椭圆形绕圈飞行,整个过程中没有出现误关联,同时在点杂波场景下机动目标关联跟踪效果良好;但是在采用正常扇区划分对该机动目标进行关联时,图 4(b)中该机动目标航迹与另一条航迹 T₂₅₆₇的点迹出现了误关联,导致关联错误,同时目标偏航严重,极大的影响了整个系统的准确性。



(a)



(b)

图 4 改进扇区划分(a)正常扇区划分(b)弱杂波区机动目标关联跟踪轨迹

Fig.4 The compared figure of maneuvering target correlation and tracking in weak clutter region about Improved(a) and Common(b) sector classification

图 5 中,在强杂波区场景下,目标航迹 T₄₅₁在做杂乱无序的绕圈机动飞行,采用改进扇区划分图 5(a)对该目标航迹关联跟踪效果良好,无掉点和误关联情况出现,其他直线飞行目标轨迹同样无掉点和误关联出现;但采用正常扇区划分图 5(b)对目标航迹 T₄₅₁关联过程中出现了大面积漏点情况,说明出现了关联失误,错误的以为该机动目

标在绕圈飞行后消失随后又出现,但实际过程中一直处于机动状态,并无漏点情况.

图 6 中,在强杂波场景下,对一个小时的大批量点击数据关联跟踪效果如图 6 所示.采用改进扇区划分图 6 (a)和新建起批规则对强杂波区域的目标关联较好,能正确的选择出点迹进行关联,而正常扇区划分图 6 (b)虽然在没有较多杂波点的地方关联良好,但是在强杂波区域出现大量目标航迹误关联和漏点情况,如航迹 T_2345 出现掉航,航迹 T_1273 出现偏航,T_1500 出现漏点,航迹 T_2127、T_559 和 T_3376 出现了误关联.

图 7 是针对于含有大量杂波、回波和仙波环境下,采用本文提出的改进扇区划分和新建航迹规则对录取的四个小时的数据的处理效果图.经过分析数据和实时航迹轨迹可以得出该方法适应于回波能量较小且目标密集排列的杂波环境下,并且对于机动目标和仙波的关联跟踪效果良好,同时对于回波能量较大的目标在处理过程中则会出现关联失误,出现虚警情况,跟踪效果较差.该方法已经应用于项目工程实践中,取得了良好效果,并且从准确性和实时性上满足工程要求.



(a)



(b)

图 5 改进扇区划分(a)正常扇区划分(b)强杂波区机动目标关联跟踪轨迹

Fig. 5 The compared figure of maneuvering target correlation and tracking in strong clutter region about Improved (a) and Common (b) sector classification



(a)



(b)

图 6 改进扇区划分(a)正常扇区划分(b)强杂波场景关联跟踪效果图

Fig. 6 The compared figure of target correlation and tracking effect in strong clutter region about Improved (a) and Common (b) sector classification

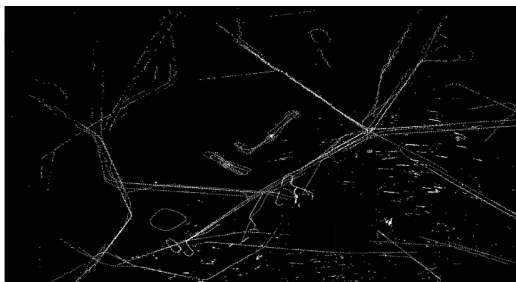


图 7 总体关联跟踪效果展示图

Fig. 7 The figure of all target correlation and tracking effect

5 结 论

本文就杂波区雷达数据处理中涉及的航迹关联时的扇区划分和新建临时航迹的规则进行了讨论,并针对目前常见处理方法,给出了一些适应性的改进措施,并从实验结果可以得出,这些方法对于回波能量较小、密集排列、存在一定机动的飞行目标处理效果良好,这些方法已经在作者承担的多个雷达数据处理项目中经过了实际应用,并取得了良好的工程应用效果.

当然由于不同体制和用途的雷达,其数据处理关注点可能会有一定的差异,本文在扇区划分和新建航迹方面的改进措施不一定具有通用性,这些都需要同行在使用过程中根据具体情况具体分析.

参考文献:

- [1] 何友. 雷达数据处理及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.
- [2] 吴顺君, 梅晓春. 雷达信号处理与数据处理技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [3] Song T L, Lee D G, Ryu J. A probabilistic nearest neighbor filter algorithm for tracking in a clutter environment[J]. IEEE Trans Signal Proc, 2005, 85(10): 2044.
- [4] Roecher J A, Phillis G L. Suboptimal joint probabilistic data association[J]. IEEE Trans Aerosp Electron Syst, 1993, 29(2): 510.
- [5] 韩崇昭, 朱洪艳, 段战胜. 多源信息融合[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [6] 张明友, 汪学刚. 雷达系统[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [7] 董志荣. 论航迹起始方法[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 1999(2): 1.
- [8] 刘永坦. 雷达成像技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2001.
- [9] 王国宏, 苏峰, 毛士艺, 等. 杂波环境下基于 Hough 变换和逻辑的快速航迹起始算法[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(7): 874.
- [10] Sklansky J. On the hough technique for curve detection[J]. IEEE Trans Comput, 2006, 27(10): 923.
- [11] 孙强, 惠晓滨, 郭璐, 等. 一种基于修正 Hough 变换的航迹起始算法[J]. 航空计算技术, 2011, 41(2): 11.
- [12] 王运锋. TWS 跟踪雷达点迹与航迹关联处理方法[P]. 201410564791.0. 2014.
- [13] 王运锋. 雷达杂波区域新建系统航迹处理方法[P]. 201410562647.3. 2014.
- [14] 张鹏. LDP01 型航管一次雷达航迹跟踪技术研究与实现[D]. 成都: 四川大学, 2012.