

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.04.014

引用格式:曹国海,王运锋.航管雷达一二次融合异常情况分析[J].电讯技术,2014,54(4):452-456. [CAO Guo-hai, WANG Yun-feng. Anomalies Analysis of Data Fusion for ATC Primary and Secondary Radar[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(4):452-456.]

## 航管雷达一二次融合异常情况分析\*

曹国海<sup>1,2,\*\*</sup>, 王运锋<sup>1,2</sup>

(1. 四川大学 计算机学院, 成都 610065; 2. 四川大学 国家空管自动化重点实验室, 成都 610065)

**摘要:**航管雷达一二次航迹融合过程中,直接用得到的含噪声的报告点来更新航迹时,航迹连续性较差,关联的正确性下降。对此现象进行了具体原因分析,用得到一二次雷达的报告点加权平均作为实际航迹输出的方法进行改进。根据一二次雷达数据未能正确关联的现象,在关联步骤中加入当前点和融合航迹中的对应航迹进行比较,如果当前报告点能和融合航迹中的点更好地匹配,就置换出融合航迹中的对应航迹,然后用置换出的航迹点当成新报告点重复融合算法过程。实验结果证明,采用改进融合算法能正确地分析产生异常现象的原因,并很好地解决了异常现象。

**关键词:**航管雷达;航迹融合;加权平均;关联正确性

**中图分类号:** TN953.6    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1001-893X(2014)04-0452-05

## Anomalies Analysis of Data Fusion for ATC Primary and Secondary Radar

CAO Guo-hai<sup>1,2</sup>, WANG Yun-feng<sup>1,2</sup>

(1. Computer School, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. National Laboratory of Air Traffic Control Automation System Technology, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** In the process of primary and secondary fusion of air traffic control (ATC) radar, the track continuity is poor and the correctness of association declines when the report points containing noise are used to refresh track. This paper analyzes the reasons and improves the algorithm by using the report points of primary and secondary radar to conduct weighted average as the output of the actual track. According to the phenomenon that the data of primary and secondary radar cannot associate correctly, the current points are added and compared with the corresponding track of the fusion track on the process of association. If the current reporting points better match the points of fusion track, the corresponding track of fusion track is replaced, and then the process of the fusion algorithm is repeated by using the replacement of the track points as a new report point. Experimental results show that the improved algorithm can analyze the causes of anomalies correctly, and is a better solution to anomalies of data fusion.

**Key words:** ATC radar; primary and secondary fusion; weighted average; correctness of association

### 1 引言

雷达具有目标探测功能,能很好地用于发现物体,实现物体的跟踪,以前在军事领域有着广泛的应

用,现在在民用领域,如气象、交通等方向,也都起到了重要的作用。

一次雷达主要通过发射电磁波扫描波束,利用

\* 收稿日期:2013-12-09;修回日期:2014-02-21    Received date:2013-12-09;Revised date:2014-02-21

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA011804)

Foundation Item: The National High-tech R&D Program of China(863 Program) (2012AA011804)

\*\* 通讯作者:ew522018240@163.com    Corresponding author:ew522018240@163.com

目标反射的回波来发现物体,其探测的目标包括空中的移动目标、空中气象。地面的一次雷达主要有航路监视雷达、机场监视雷达、精密进近雷达及气象监测雷达等,通过一次雷达主要可以得到物体的位置、速度、加速度等信息。二次雷达主要是采用问答模式,在地面站和目标应答机的合作下工作的,二次雷达能得到物体的高度、位置、速度等信息<sup>[1-2]</sup>,现在二次雷达广泛应用于空中交通管制系统。将一二次雷达信息和航管中心的飞行计划输入到数据处理系统,能很好地实现航管雷达的全自动化。

一二次融合能很好地结合一次和二次雷达的优势,实现全自动,甚至是无人值守的工作站,一般融合方法主要是先建立一二次航迹和融合航迹的映射表(表项包括一次航迹号、二次航迹号、融合航迹号),当有新来的航迹报告时,就到映射表中进行查询,查询到相同航迹号就用新到航迹更新表中的航迹,如果不能查询到该航迹号,说明是新航迹,然后到表中和对应的单独航迹进行匹配(如果新报告是一次航迹,就匹配融合表中单独二次航迹;新报告是二次航迹,就匹配融合表中单独一次航迹),距离、时间在一定门限内,就认为一、二次雷达报告是同一个目标,就在表中插入相应的映射关系项,如果在整张映射表中都没有发现相匹配的航迹,就用此次报告新建一条单独的融合航迹<sup>[3-5]</sup>。

不同的一二次雷达会产生不同的航迹报告,本文中叙述的一次雷达航迹报告主要包括航迹号、速度、位置(平面坐标)、加速度、航向,二次雷达的航迹报告主要有二次码、高度、位置(平面坐标)。本文对采用一般融合方法工作的系统遇到的异常问题进行了分析。异常现象一包括航迹不平滑、连续性较差,主要原因是由于噪声干扰导致某一时刻的报告点与物体真实位置有一定的误差,直接用含噪声干扰的报告点来更新航迹时导致航迹融合时关联正确性下降;异常现象二为近距离内,一条一二次融合航迹和一条单独的一次或者二次航迹并列,原因是一条一次或者二次航迹和含噪声航迹先关联形成了一二次融合航迹,导致本该关联的航迹不能正常关联,然后新建单独航迹,在噪声航迹消失后,根据一般融合算法映射表中已有的航迹不会互相关联。本文对两种现象产生的原因进行了具体分析,并在一般融合方法的基础上进行了改进,很好地解决了上述的异常现象。

## 2 融合处理算法

### 2.1 航迹号关联

在本地对雷达直接输出的点迹进行相关处理形成航迹时,为了判别不同的物体,都维持了一个航迹号,关系统中已有航迹号为后续的航迹关联提供了重要的依据,当报告点到来时就查找以前的航迹是否有相同的航迹号,有相同航迹号时,还需要有其他几项检测,如果其他特征项匹配失败,就统计未匹配次数,当次数达到门限值时撤销关联关系,当未能查找到相同航迹号,进行后续关联处理<sup>[6]</sup>。航迹号关联算法流程如图 1 所示。

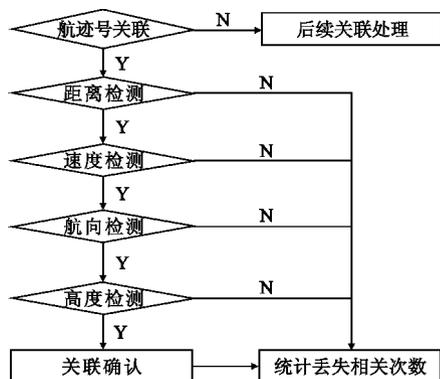


图 1 航迹关联流程图

Fig. 1 Track association flow diagram

### 2.2 最近邻域关联

当航迹号关联没有匹配到相关航迹,或者特征项匹配丢失次数超过门限值时,利用当前航迹点和对应未融合航迹进行空间最近邻域匹配(如果是一次航迹则和未形成融合航迹的二次航迹进行相关):

$$d_{1,2} = \sqrt{\Delta s_{x,1,2}^2 + \Delta s_{y,1,2}^2} \quad (1)$$

其中:

$$\Delta s_{x,1,2}^2 = (s_{x,1} - s_{x,2})^2 \quad (2)$$

$$\Delta s_{y,1,2}^2 = (s_{y,1} - s_{y,2})^2 \quad (3)$$

式中, $s_{x,1}$ 、 $s_{y,1}$ 、 $s_{x,2}$ 、 $s_{y,2}$ 分别代表一次和二次雷达传感器得到的物体位置在平面坐标系下的  $x$ 、 $y$  方向的坐标值,可以是距离,也可以是目标方位。如果  $d_{1,2}$  等于零,则我们认为是一个物体,应当关联上,但是实际情况下有误差干扰,故  $d_{1,2}$  大于一个我们设定的门限值时就认为两个传感器发现的是同一物体<sup>[7]</sup>。

### 2.3 航迹更新

得到的本地航迹运动参数包括一次航迹(速度、直角坐标系下位置坐标、航向)和二次航迹(目标距离、目标方位、高度)。航迹更新时采用相关数据进行加权平均,作为融合航迹相关参数<sup>[8]</sup>,位置

加权因子为

$$P_n = \frac{1}{(\delta_R^2 + R^2 \cdot \delta_\theta^2)} \quad (4)$$

式中,  $R$  为本地雷达测量距离,  $\delta_R$  是本地雷达距离测量标准差,  $\delta_\theta$  为本地雷达方位角测量标准差。

### 3 一二次融合过程中出现的异常情况分析

#### 3.1 异常现象描述

本文描述的异常现象来自某型号航管一二次合装雷达。实验场地位于某省会机场附近, 从该雷达的输出通道获取的一次报告和二次报告进行数据分析。在实验过程中, 采用一般融合算法产生的异常现象如图 2 所示。

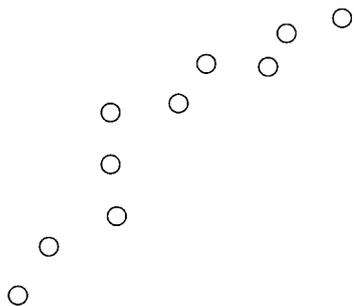


图 2 一次异常航迹

Fig. 2 Abnormal primary track

图 2 代表一条航迹, 由图可以看出, 航迹的连续性较差, 实际情况下航迹应该是一条比较平滑的曲线, 但图中有的时刻报告点的位置产生了异常。

图 3 中有两条航迹, 图中的菱形代表一二次融合航迹, 长方形代表二次航迹, 圆形代表一次航迹。由图可以看出, 出现了两条相距很近的一次和二次航迹并行的现象, 根据实际情况, 它们代表的是同一个物体, 应该形成一条一二次融合航迹。

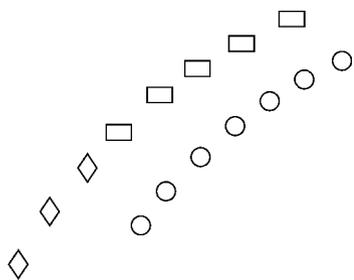


图 3 一二次融合异常现象

Fig. 3 Abnormal primary and secondary fusion

#### 3.2 异常现象分析

图 2 中的现象是更新航迹时报告点的位置产生的异常, 可能原因是噪声干扰导致报告点的位置产

生了异常, 当直接采用含有噪声的异常点进行航迹更新时, 航迹就出现了不连续现象, 导致实际情况下本该是一条平滑曲线的航迹变成一条忽左忽右的折线。根据实际情况分析, 产生图 3 的异常现象的原因是刚开始由于噪声干扰, 短时间内在一条二次航迹附近形成了一条由杂波点组成的一次航迹, 根据一般融合算法, 这条一次航迹与正常的二次航迹融合得到了一二次融合航迹, 但实际反映同一个物体的一次航迹发现没有可匹配的二次航迹就新建生成了一条单独的一次航迹, 在杂波消失过后, 原来的一二次融合航迹变成单独的二次航迹, 但是根据融合算法, 映射表中已经处理过后的航迹不会互相匹配, 就形成了两条反映同一个物体的航迹没有匹配上, 显示成一条单独的一次航迹和一条单独的二次航迹并行的现象。

#### 3.3 解决方法

根据上述对异常现象的分析可知, 图 2 由于噪声干扰造成了报告点失真, 直接使用此报告点进行航迹关联时融合航迹质量较差。针对上述情况, 本文进行相关改进, 将每次报告点的坐标与融合表已经得到的航迹的坐标进行关联比较, 如果表示同一目标, 就用匹配上的两个报告点加权平均, 取加权平均过后的值作为当前报告点的实际位置; 如果相差距离超出门限值, 就舍弃这次报告点, 用上一个周期的值进行外推得到一个外推值, 用这个外推值作为当前的位置区更新航迹。图 2 中短暂出现的一次杂波与二次航迹融合后, 导致了本应该融合的一次航迹无二次航迹进行匹配, 产生新建航迹, 针对上述情形, 进行相关改进, 新到报告点在映射表中匹配时, 先查找表中是否有相同的航迹号, 在没有查找到的情况下, 先和附近的一二次融合航迹中相对的航迹进行匹配, 如果此次的报告点相对于一二次融合航迹中的点更优, 就从一二次融合航迹中置换出对应点, 置换出的点再重复上述匹配过程。这样新来的报告点就会置换出杂波点, 很好地形成了稳定的一二次融合航迹, 避免了两条本应该关联上的航迹没有正确关联上的现象。

### 4 实验与结果分析

#### 4.1 对异常现象图 2 的实验与结果分析

针对该项目本地雷达的实际参数输出情况, 本文对航管雷达采用传统一二次融合算法出现的异常情况原因进行分析后进行具体改进。针对图 2 所示

异常现象,改进方法如下:先根据公式(4),算出本地雷达的加权因子,然后用对应的加权因子对一二次本地航迹进行加权平均处理,得到实际输出航迹。实验中提取算法处理前的输出融合航迹点坐标,本地雷达周期为10 s,在每一个雷达周期后得到物体的航迹点,然后能得到每个周期物体的航迹点坐标,一直保存40个周期的坐标点。在直接用得到报告点更新航迹和用加权平均处理后的值作为航迹输出的两种情况下根据上述实验步骤得到物体的航迹输出对比如图4所示。

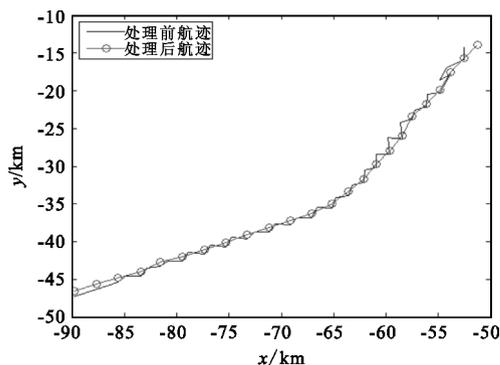


图4 不同处理方法的到的一次航迹  
Fig.4 Primary track for different methods

由图4可以看出,直接用得到报告点更新航迹,航迹连续性较差,航迹曲线平滑度较差。用加权平均处理后的值作为航迹输出,航迹连续性好,平滑度好。

#### 4.2 对异常现象图3的实验与结果分析

针对如图3所示的异常现象,按3.3节解决方法中描述的步骤进行相关改进,然后以本地雷达周期10 s作为保存航迹点的单位,用一般融合处理方法和改进后融合处理方法分别进行相关实验,然后各自保存22个周期,得到一般融合处理方法和改进后融合处理方法下各自航迹,一般融合处理方法得到的航迹对比如图5所示。

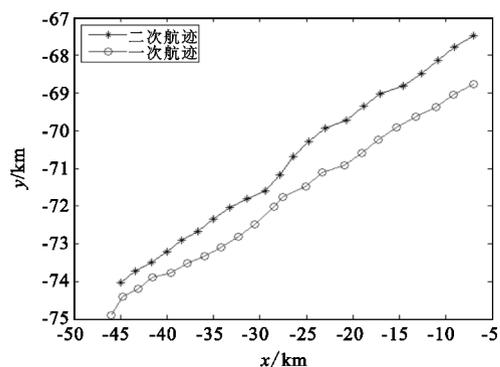


图5 一般融合处理方法产生的融合异常  
Fig.5 Abnormal fusion using general fusion method

改进后融合处理方法得到的航迹如图6所示。

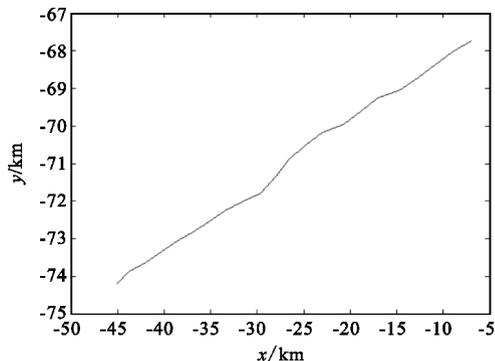


图6 融合后航迹图  
Fig.6 Fusion track

从上述的实验结果可知,在采用改进的融合算法后,航迹的连续性较差的问题和一二次融合中未能正常融合问题都得到了很好的解决。

## 5 结 语

随着雷达技术研究的深入发展,数据融合研究也越来越受到各方面的重视。本文通过对某型号航管一二次合装雷达数据融合中出现的异常现象进行分析,通过加权平均得到了更好的航迹质量,通过分析一般融合算法中对已经运行融合航迹不会互相关联导致一二次航迹不能很好关联的现象作出了针对性改进,提高了融合相关算法的性能。目前该项目还处于在研阶段,今后将进一步进行观察和分析,使航迹质量和融合算法性能能更加完善。

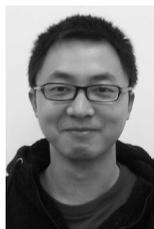
### 参考文献:

- [1] Wolfgone D. Separate processing of primary and secondary radar data in multi radar tracking[C]//Proceedings of 14th International Radar Symposium (IRS). Dresden: IEEE,2013: 361-366.
- [2] 何友,修建娟,张晶炜,等.雷达数据处理及应用[M].北京:电子工业出版社,2006.  
HE You,XIU Jian-juan,ZHANG Jing-wei, et al. Radar Data Processing with Application [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2009. (in Chinese)
- [3] 吴显亮,官慧峰,尹良泽.多雷达系统数据预测与航迹融合[J].数学的实践与认识,2010(15):162-175.  
WU Xian-liang, GUAN Hui-feng, YIN Liang-ze. The data fusion and tracks prediction of multiple radar system [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2010(15): 162-175. (in Chinese)
- [4] 丁鹭飞,耿富录,陈建春.雷达原理[M].4版.北京:电

- 子工业出版社,2009.
- DING Lu-fei, GENG Fu-lu, CHEN Jian-chun. Radar Theory[M]. 4th ed. Beijing: Publishing House of Electronics Insustry,2009. (in Chinese)
- [5] 吴顺君,梅晓春. 雷达信号处理和数据处理技术[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- WU Shun-jun, MEI Xiao-chun. Radar Signal Processing and Data Processing Technology[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Insustry,2008. (in Chinese)
- [6] 李永宁,游志胜,聂建荪,等. 一种分布式多雷达航迹数据融合系统[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2004, 41(2):305-309.
- LI Yong-ning, YOU Zhi-sheng, NIE Jian-sun, et al. A distribution multi-radar tracking and data fusion system [J]. Journal of Sichuan University(Natural Science Edition), 2004, 41(2): 305-309. (in Chinese)
- [7] Andersson M, Ilestrand M. Data fusion of secondary and primary surveillance radars for increased robustness in air-traffic monitoring[C]//Proceedings of 2007 European Radar Conference. Munich:IEEE,2007:456-459.

- [8] 孙利强,邹斌斌. 多雷达航迹融合处理算法的研究与优化[J]. 空中交通管理,2011(2):24-25.
- SUN Li-qiang, ZOU Bin-bin. Studies and optimization of algorithm of multiple radar trajectory fusion process[J]. Air Traffic Management, 2011(2): 24-25. (in Chinese)

### 作者简介:



曹国海(1988—),男,四川南充人,硕士研究生,主要研究方向为空管自动化;

CAO Guo-hai was born in Nanchong, Sichuan Province, in 1988. He is now a graduate student. His research concerns air traffic control.

Email:cw522018240@163.com

王运锋(1975—),男,河南南阳人,四川大学计算机学院国家空管自动化重点实验室研究员,主要研究方向为雷达信号、信息处理。

WANG Yun-feng was born in Nanyang, Henan Province, in 1975. He is now a senior engineer of professor. His research concerns radar signal and information processing.

Email:yfwang@scu.edu.cn