基于最近邻-自适应滤波 AIS 与 HFSWR 航迹关联算法

郑志强，刘永信，于国晨

内蒙古大学，呼和浩特市 010021

摘　要：针对船舶自动识别系统(AIS)与高频地波雷达(HFSWR)对海上目标探测的数据，对其目标航迹关联技术进行了研究。结合最近邻原则与自适应滤波算法，提出了一种最近邻-自适应滤波(NNAF)航迹关联算法。通过仿真验证结果，表明了该航迹关联算法的有效性与正确性。

关键词：船舶自动识别系统；高频地波雷达；最近邻；自适应；目标数据关联

中图分类号：TN953　　**文献标识码：**A

Research on Track association algorithm based on the Nearest neighbor and adaptive filtering

Zheng Zhiqiang，Liu Yongxin，Yu Guochen

Inner Mongolia University, Hohhot 010021

Abstract：A track association algorithm for the data of target detected by AIS and HFSWR in the sea is presented. Based on the nearest neighbor rule and adaptive filtering algorithm, a new algorithm called the nearest neighbor and adaptive filtering (NNAF) for track association is proposed. The simulation results show the validity and correctness of the algorithm.

Key words：AIS；HFSWR；The nearest neighbor；Adaptive；Target data association

引言

信息融合的目的是将多传感器信息进行有效的处理，从而得到比单一传感器更加精确可靠的结果。无论是数据层融合、特征层融合还是决策层融合，在进行信息融合处理前，一个首要工作就是要解决多种传感器获得的信息是否是关于相同目标的描述，即目标关联问题。它是信息融合系统中的关键技术之一，在民用和军用领域都有广泛的应用[1-2]。

目标关联技术研究受传感器性能、目标检测手段、不可预知的战场目标环境、目标运动等多种因素的影响，在理论和应用上都面临着巨大的挑战，是一个极具挑战性的研究课题。

本文针对 AIS 与 HFSWR 目标探测数据，对目标航迹关联技术进行了研究。结合最近邻原则与自适应滤波算法，提出了一种最近邻-自适应滤波航迹关联方法。通过仿真验证，表明了航迹关联方法的有效性与正确性。在本文最后又探讨了目标数据关联技术研究中存在的问题及进一步研究发展的方向。

1 最近邻-自适应滤波关联方法

高频地波雷达是一种主动式传感器，它通过发射电磁能量并接收二次散射回波来获取有关目标的位置及运动参数。因此，通过高频地波雷达可以得到水域的全景交通图像，包括所有运动的目标，还有静止或固定的目标，以及其它环境信息等[3]。此外，高频地波雷达目标回波可以在一定程度上反映目标的大小和形状。而 AIS 对目标的探测是非自主的，它只能接收到装有 AIS 系统的船舶信息。它包括船舶的船名、呼号、MMSI、长度、装载的货物等静态信息，也包括位置、航向、航速等动态信息。

高频地波雷达与 AIS 信息融合的关键问题就是航迹关联[4]，所谓航迹关联就是确定目标与传感器接收到的量测信息之间的对应关系问题，即判断来自于两个传感器的两条航迹是否是代表同一目标。航迹关联是多传感器信息融合系统中最重要也是最核心的内容。本文针对于此，提出一种最近邻-自适应滤波关联方法。

1.1 目标运动状态模型的建立

高频地波雷达是在极坐标系下进行目标探测，故在极坐标系下对运动状态进行模拟。船只目标的起始运动状态设置如下：r_1 表示船只目标的径向距离，θ_1 表示船只目标的方位角，v_1 表示船只目标的速度，a 表示船只目标的加速度，船只目标在雷达法向为 $\phi(-\pi \le \phi \le \pi)$ 的方向上做匀加速度直线运动[5]，如图 1 所示。

第七届中国信息融合大会

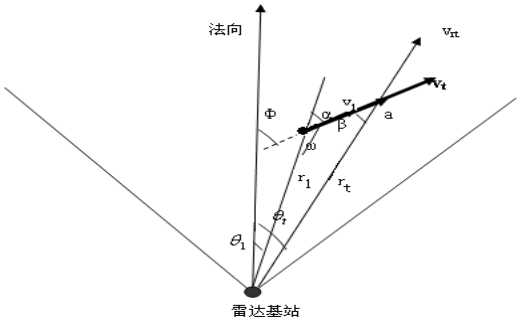

图 1 地波雷达目标运动模型示意图

其中，θ_t表示的是船只目标在时刻 t 和雷达基站的角度，r_t表示的是船只目标在时刻 t 的位置与雷达基站的距离，v_t表示的是船只目标在时刻 t 的实际速度量测值，v_{rt}表示的是船只目标在时刻 t 的径向速度，雷达的扫描时间间隔为 1min。

由图可知，通过正余弦定理，便可得到极坐标系下的船只目标运动模型：

$$\begin{cases} r_t = \sqrt{r_1^2 + (v_1 t + \frac{1}{2}at^2)^2 - 2r_1\cos(\phi-\theta_1)(v_1 t + \frac{1}{2}at^2)} \\ \theta_t = \phi - \arcsin(r_1\sin(\phi-\theta_1)/r_t) \\ \mathrm{v}_{rt} = (v_1 + at)\cos(\arcsin(r_1\sin(\phi-\theta_1)/r_t)) \end{cases}$$

1.2 自适应滤波原理

通过利用高频地波雷达的实际测量值，将实际的雷达点迹量测的距离、径向速度以及角度值运用到相应处理操作中，利用径向速度来建立和确定船只目标的平滑方程，故有高频地波雷达的滤波器方程如下所示：

$$\begin{cases} R_l(k) = R_y(k) + \alpha_r[R_c(k) - R_y(k)] \\ v_l(k) = v_y(k-1) + \beta_v[v_{\mathrm{m}}(k) - v_y(k)] \\ \theta_l(k) = \theta_y(k) + \alpha_a[\theta_c(k) - \theta_y(k)] \\ \dot{\theta}_l(k) = \dot{\theta}_y(k-1) + \beta_{\dot{a}}/T[\theta_c(k) - \theta_y(k)] \end{cases}$$

在上式中，参数的下标 c 代表的是船只目标的量测值，α,β 则为各个对应的量测的滤波系数。确定合适的α,β，则是滤波效果是否良好的一个重要环节。如果能够合适的选取增益系数，便能更加准确的对下一时刻目标点进行预测，从而更加准确的实现对于航迹的探测与跟踪。

1.3 最近邻-自适应滤波关联

最近邻原理[6-8]，如图 2 所示。设现存在航迹 i，这时关联门成为一个二维矩形门，其中预测位置除外，还包含 1、2、3 三个观测点迹，初步估计，“最近邻”点迹是 2。

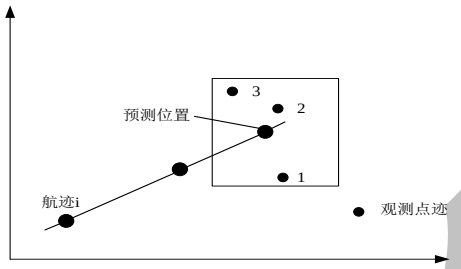

图 2 最近邻数据关联示意图

最近邻数据关联算法其优势之处在于：计算量相对比较小，实现容易；借助最近邻原理，可通过自适应滤波器进行 AIS 与 HFSWR 目标信息的航迹关联。具体步骤如下：

利用高频地波雷达所探测到的信息来生成相应航迹过程中，主程序需要调用其余的 12 个子程序来共同完成。子程序由于篇幅的原因这里没有一一列举，具体的主程序流程图，如图 3 所示。

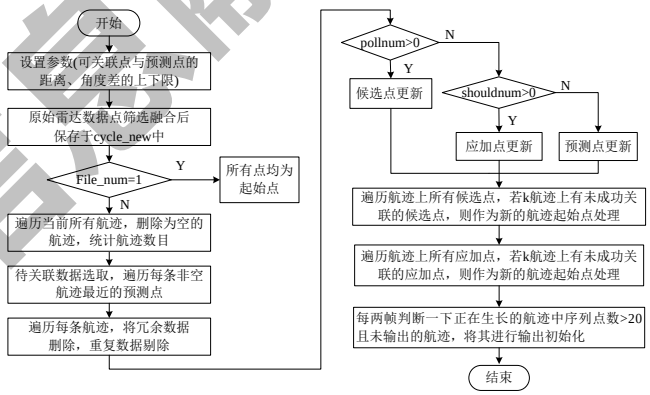

图 3 主函数流程图

需要说明的是，对于航迹信息的初始化阶段，主要的作用是将高频地波雷达所探测到的点迹 j 的各个参数信息存入到航迹数组的尾部。

2 仿真验证

本文中采用某海域的实测数据进行算法实现，数据采集的时间是 2013 年 9 月 6 日，数据的经度和纬度区域分别是：北纬：35°-40°，东经：117.5°-123°，共采集到 333 批次的数据信息，现使用其中的 100 批数据进行算法验证。下面就最近邻-自适应滤波关联算法，结果验证方面进行介绍。

设置相应的数据关联波门如下：径向速度：0.5km/h，径向距离：0.5km，角度：0.4°。航迹更新的最大帧间隔为 4min，设置默认的航迹长为 5min 的长度，如果航迹的长度小于 5min 的航迹长度，那么将其执行删除操作；如果航迹的长度大于

第七届中国信息融合大会

5min，那么将此航迹进行滤波更新的处理操作。其中，点迹信息是用红色标识的，红色线连接的航迹是通过滤波算法由实测的高频地波雷达点迹信息生成的航迹，绿色的连线是 AIS 的航迹信息，如图 4 所示，利用滤波算法生成相应航迹的局部放大图如图 5 所示：

通过生成航迹的示意图能够看到，利用该方法可以比较好的实现对于有 AIS 数据信息的高频地波雷达航迹的跟踪生成，同时在部分没有 AIS 信息的区域依旧检测到了船只信息，这些信息对于没有装备 AIS 设备的非合作船只目标意义重大。

由于装有 AIS 设备的船只在启动 AIS 之后，便会一直有信息返回，而高频地波雷达对数据的采集具有实时性，所以图中的部分区域内有 AIS 信息，但却没有根据高频地波雷达点迹生成的航迹。在较远的区域有一些虽然有 AIS 的信息但是却没有航迹生成，这是由于这些船只目标所处的位置已经超出了高频地波雷达所能探测到的区域范围。

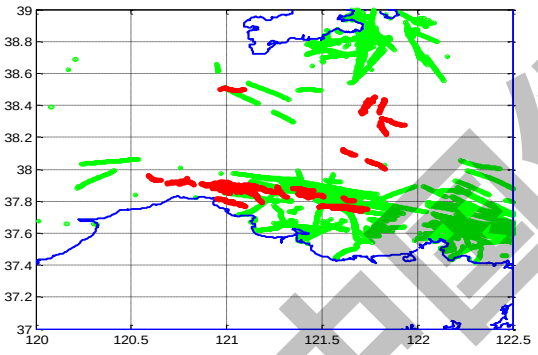

图 4 自适应滤波算法航迹生成示意图

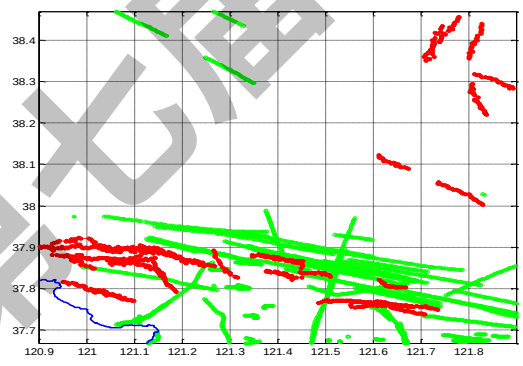

图 5 航迹生成局部放大曲线图

为了能够更好的对于所使用的算法生成的航迹进行结果验证，将生成的航迹信息分别与同步的 AIS 信息进行关联对比。把生成的航迹信息与 AIS 航迹信息同时显示，运用关联算法将点迹数据所生成的航迹信息作相应的关联操作，具体的关联情况如下图 6 所示，其中，红色的连线代表的是运用算法生成的航迹信息，绿色的连线代表的是同步的 AIS 信息，在进行关联的过程中使用的方法是对于航迹的首尾分别对应连接，这样做的目的是更为精准的对于航迹信息进行确认。

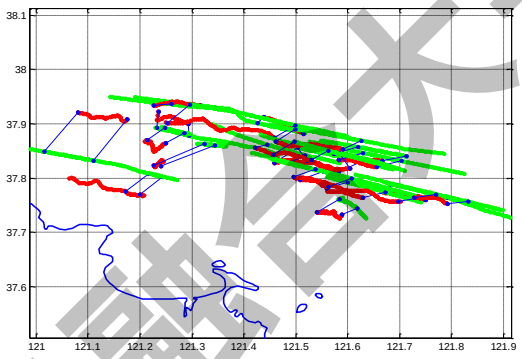

图 6 AIS 航迹关联图

由上述结果图表示，显然能够看出由该算法生成的航迹与实际的 AIS 信息也更为接近，在部分没有 AIS 信息的区域内也出现了生成的航迹信息，这对非合作船只目标的探测而言更具有意义。

3 结论

本文对 AIS 与 HFSWR 目标探测信息进行了处理，给出了一种最近邻原则-自适应滤波航迹关联方法。通过实测数据仿真验证了此关联方法是正确有效的，且易于工程实现。值得注意的是，当目标比较集中时，应用该算法，正确关联率会有所下降。如何提高，是后续研究的重点。

目前，尽管目标数据关联技术的研究取得了一系列的进展，但仍存在一些问题。比如由于复杂的外界环境和传感器本身的局限性，信息处理过程中面临着多种不确定性，主要包括目标运动状态和量测来源的不确定性；密集目标关联中，关联正确率下降的问题；在关联质量和效率的评价方面，也没有一个统一的标准；

针对上述存在的问题，可以发现目标数据关联技术的进一步研究方向。比如，在多目标跟踪中，研究运算量适中的快速数据关联算法、提高数据关联算法的正确率；在航迹关联的研究中，如何更有效地解决高度机动目标的航迹关联问题，如何在尽量保证关联性能的基础上，解决关联耗时的问题，这些都是值得深入研究的课题。

第七届中国信息融合大会

参考文献

[1] 朱玉川,等.带积分项的火箭炮最优滑模伺服控制[J].*兵工学报*，2007，28(10) : 1272－1275.

[2] 杨帆,等. 防空火箭炮递阶控制策略设计[J]. *兵工学报*，2012，33(6) : 41－746.

[3] 刘熹,尹浩,刘海燕,吴泽民.基于离散小波变换的航迹—航迹关联算法[J].*军事运筹与系统工程*，2010，24(4)：46-51.

[4] 乔向东,李涛.多传感航迹融合综述[J]. *系统工程与电子技术*，2009，31(2)：245-250.

[5] 何友, 王国红等. *多传感器信息融合及应*用[M]. 北京：电子工业出版社，2007.

[6] J. F. Vesecky, K. E. Laws, J. D. Paduan. A system trade model for the monitoring of coastal vessels using HF surface wave radar and ship automatic identification systems (AIS)[C]. *IEEE International*，2010, pp.3414-3417.

[7] Mahler, P. S. Ronald. Advanced Technology Group, Lockheed Martin MS2 Tactical Systems[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*，2012，48 (1): 707-728.

[8] A. Ienkaran, H. Simon. Cubature kalman filters[J]. *IEEE Trans. on Automatic Control*. 2009，54 (6)：1254-1269.

作者简介：

郑志强（1982-），男，内蒙古呼和浩特市，副教授，研究方向为数据融合。

E-mail: zhengzhiqiang1235@126.com

基金项目：

国家自然科学基金资助项目（61362002），内蒙古自治区高等学校科学研究项目（NJZY14014）

第七届中国信息融合大会