

# Radar-Assisted AIS Missing Trajectory Completion Method Research—Application in Maritime Tobacco Anti-Smuggling Scenarios

Wei Lin<sup>1</sup> Zhiyong Lin<sup>2</sup> Jie Lu<sup>2</sup> Shaozhou Lin<sup>2</sup> Yuxuan Ouyang<sup>2</sup>

1. Zhangzhou Tobacco Monopoly Bureau, Fujian Province, Zhangzhou, Fujian, 363005, China

2. Inspection Detachment of Zhangzhou Tobacco Monopoly Bureau, Fujian Province, Zhangzhou, Fujian, 363005, China

## Abstract

With the development of internet and big data technologies, trajectory information from the Automatic Identification System (AIS) can be used to conduct precise strikes against smuggling vessels in maritime tobacco anti-smuggling operations. However, when lawbreakers turn off their AIS devices, it becomes impossible to identify and track illegal activities through AIS. Taking a partial sea area as an example, this paper studies a method for using radar data to continue AIS trajectories, enabling continuous tracking of vessels when AIS signals are interrupted. The paper describes the data required for radar-assisted AIS trajectory continuation, proposes a method for integrating radar data with AIS data, and finally presents a case analysis using actual vessel data.

## Keywords

Anti-Counterfeiting and Anti-Smuggling; AIS; Radar; Tobacco

# 雷达辅助 AIS 缺失轨迹补全方法研究——海上烟草打假打私场景应用

林炜<sup>1</sup> 林志勇<sup>2</sup> 卢杰<sup>2</sup> 林绍舟<sup>2</sup> 欧阳宇轩<sup>2</sup>

1. 福建省漳州市烟草专卖局, 中国·福建 漳州 363005

2. 福建省漳州市烟草专卖局稽查支队, 中国·福建 漳州 363005

## 摘要

随着互联网和大数据技术的发展,在烟草海上打假打私过程中,可利用船舶自动识别系统(AIS)的轨迹信息可以对判定为走私的船舶实施精准打击。但是,不法分子关闭AIS设备时,就无法通过AIS判定和追踪违法行为。本文以部分海域为例,研究了一种使用雷达数据对AIS进行轨迹接续的方法,从而可以在AIS信号中断时持续追踪船只。本文描述了使用雷达数据对AIS进行轨迹接续需要的数据,给出了一个使用雷达接续AIS数据的方法,最后使用船只的数据进行示例分析。

## 关键词

打假打私; AIS; 雷达; 烟草

## 1 引言

烟草打假打私对维护国家和消费者利益至关重要。当前海上烟草走私手段多样,不法分子借助高速摩托艇、大型货船等通过海路走私,经隐蔽藏货点和复杂物流网络分销。监管面临多重挑战:沿海大量偏僻滩涂难以人力逐一排查,存在视野盲区和监管效率低下问题;数据分析依赖历史案件经验,缺乏智能预警和实时信息处理手段,突发案件处置滞后,精准打击能力不足,目前仍较依赖群众举报线索。

随着互联网与大数据技术发展,跨部门信息化平台和

智能分析工具为监管创新提供可能。例如公安部门通过传感器网络收集边境走私数据,运用犯罪学方法如人物关系图示法、心理画像法、地图绘图研判法、网上串并案法进行情报研判等等<sup>[1]</sup>开展情报研判,提升了走私活动识别效率。烟草领域可借鉴相关技术路径,整合海上与岸上多元数据,构建智能分析模型,改变传统人工排查和单一依赖举报的被动局面。

然而,不法分子在走私过程中常关闭船舶自动识别系统(AIS)逃避监管,导致监管部门失去关键追踪信号。如何利用雷达数据接续AIS中断后的船舶轨迹,成为实现持续精准监管的技术难点。本研究以特定海域为对象,探索雷达数据与AIS轨迹的融合方法,旨在解决AIS信号缺失时的船舶追踪问题。研究将明确雷达辅助轨迹接续所需数据类

【作者简介】林炜(1972-),男,中国福建莆田人,本科,从事组织管理研究。

型,构建数据融合算法模型,并通过实际船舶数据案例验证方法的有效性,为提升海上烟草打假打私的智能化监管能力提供技术支撑。

## 2 接续数据准备

为了有效地利用雷达数据对船舶自动识别系统(AIS)信号实施连续、准确的追踪,以服务于烟草打假打私工作中对可疑船只的监测和追踪,我们需要以下数据。

### 2.1 全球 AIS 数据

AIS,船舶自动识别系统,是一种用于岸与船,船与船之间通信的新型助航系统。AIS由岸基设施和船载设备共同组成,能将本船的动态信息如经纬度、航速、航向等和静态信息如海上移动业务标识MMSI(Maritime Mobile Service Identity)码、船名、呼号等,经信息处理器处理后在VHF信道向外播发,本船周围船舶只要安装了AIS设备就可以自动接收这些船舶信息并显示<sup>[2]</sup>。通过海上船舶AIS轨迹信号与雷达信号中产生的轨迹信息,可以分析船舶轨迹行为特征。

打击烟草走私需接入全球船舶AIS数据,其提供的实时船只动态信息可洞察海域内船只行为,将监测范围扩展至跨境更广区域,有效提升对跨国走私的预警与打击能力,对维护国家烟草专卖制度、保障税收及遏制跨国犯罪具有重要意义。

### 2.2 近岸雷达数据

研究海域近岸布设雷达基站,覆盖岸线外30海里范围,雷达数据每5秒更新一次。雷达与AIS已进行初步融合,其数据包含静态信息及部分AIS数据,可准确定位船舶但与AIS重合度较高;此外还存在无目标信息的雷达轨迹,但多为单点数据,质量较差,难以持续追踪。

当船舶进入雷达覆盖海域时,即使关闭AIS,仍可通过雷达数据实现暂时追踪并推测其行驶路径,为打假打私提供补充。

### 2.3 全球 AIS+ 近岸雷达融合数据

通过长期积累全球AIS与近岸雷达监测数据,融合分析两类轨迹,可梳理海域内船只活动情况,建立包含合法在册、临时入境及外来船舶的频繁往来数据集。该数据集突破传统在册管理局限,能有效识别外来船舶,其可能存在走私风险。依托大数据分析,可精准预测防范走私活动,显著提升打击效率。

### 2.4 近岸视频监控

目前,接入系统的部分海域的岸线摄像头共四百余路,全面覆盖近二百个渔港、码头和自然停泊点。当关注船只进入到近岸视频监控的覆盖范围,系统能够调用附近的视频监控,锁定船只,抓拍船只图片,包括但不限于船只外观、载货状态以及其他可能与违法活动相关的细节场景,作为执法证据留存。

## 3 接续模型构建

在烟草打假打私过程中,对应关注的船舶,要使用雷达数据对AIS轨迹进行接续,我们需要获取当前轨迹及掉线时刻附近的雷达数据。在向后溯源时要求雷达数据在掉线点后能提供至少两个点进行判断,且雷达提供掉线点前至少一个小时历史数据辅助判断。在向前溯源时要求雷达数据在掉线点前能提供至少两个点进行判断,且雷达提供掉线点后至少一个小时历史数据辅助判断。不能满足条件的雷达数据被直接丢弃。

### 3.1 相似雷达轨迹判断

如果当前轨迹与雷达不是同源的数据,可以先利用雷达与轨迹共同的时间段匹配相似度,高度相似的非同源轨迹可以绑定关联,当其中一种设备离线,可以用另一种设备补上,这种方式匹配结果可信度较高。相似度的判定方法如下。

对每一条未知目标的雷达数据,排除过短的轨迹数据后,与待匹配的轨迹,将两者中时间较短者的起始点所在时刻定义为 $t_0$ ,计算对于时刻 $t_0$ ,使用线性内插的方式插值出另一条轨迹的经纬度,计算两个位置的距离记为 $S_0$ 。指定 $\Delta t$ ,对于时刻 $t_n$ ,记时刻 $t_n = t_{n-1} + \Delta t$ ,计算对于时刻 $t_n$ ,使用线性内插的方式插值出另一条轨迹的经纬度,计算两个位置的距离记为 $S_n$ 。求 $\bar{S}$ 作为该轨迹与待匹配的轨迹的相似程度,对 $\bar{S}$ 排序,最小且小于阈值者,作为匹配结果,与现有AIS轨迹关联。

对轨迹的相似判断,还可以使用Fréchet距离判断。设 $f$ 和 $g$ 分别是两个参数化曲线,那么Fréchet距离定义为:

$$\delta_F(f, g) = \inf_{\alpha, \beta} \max_{t \in [a, b]} d(f(\alpha(t)), g(\beta(t)))$$

其中 $\alpha$ 和 $\beta$ 是定义在它们各自区间上的严格增函数, $d(p, q)$ 表示空间中两点 $p$ 和 $q$ 之间的距离(通常是欧几里得距离),寻找的 $\alpha$ 和 $\beta$ 就是为了使得所有对应的点对应的最大距离达到最小。

此外,也可借用余弦相似度、动态时间规整等方法进行几何相似判断。经过测试,在一定范围内,效果也挺好。

除此之外,在系统中,以定时任务的方式,已经收集有一段时间内雷达与已知AIS的对应关系表,匹配的方式与前述内容相似。其结果可以直接使用,用于判断离线AIS设备可能对应的雷达信号ID。因为雷达ID容易发生变化,这一部分数据使用价值不高。

### 3.2 使用属性筛选雷达信号

雷达能返回的信息不仅包括位置,还包括长度等属性信息,可以使用该属性信息判断。长度属性差别较大者,可以认为不是同一个物体,直接排除,不认为可能接续。

### 3.3 寻找断线点附近的雷达信号

针对雷达轨迹,在AIS轨迹断线点时刻 $t$ ,寻找雷达轨迹之前或之后的头两个点,计算该两点与断线点的距离是否小于阈值。若距离小于阈值,计入疑似雷达目标列表。

再根据时刻  $t$  附近的时刻点，雷达信号所处的位置，与掉线点求对应位置。可以计算出，在假设该雷达信号就是接续信号的情形，船舶在掉线期间，从已知点移动到未知点的移动平均速度。可以理解的是，船舶在掉线期间，速度不可能过于迅速。考虑到设备误差，该速度阈值应随着时间差的变大而缩小。若速度亦小于阈值，更新疑似雷达目标列表。

### 3.4 根据历史数据筛选疑似雷达目标列表

对于雷达数据，不仅依据断线点附近的雷达数据参与判断，还使用雷达的历史数据辅助判断。

使用疑似雷达目标列表中的雷达，寻找与目标轨迹时间段相同的段落，判断固定时刻的平均测地距离或者判断 Fréchet 距离，若距离较大可以认为两目标仅仅只是相遇，不能用于接续，排除出疑似雷达目标列表。具体的计算方法同上。

### 3.5 对结果数据进行排序

根据最终的疑似雷达目标列表，拼起新的轨迹，计算新轨迹在掉线点附近的加速度，根据加速度排序疑似雷达目标列表，按加速度较小者提供作为结果。

## 4 打假打私模拟分析应用

合法船舶遵循国际海事组织（IMO）或者相关主管部门的规定，通常需要在航行期间开启自动识别系统（AIS），可以提高海上生产安全，也便于船舶交通管理和监控。走私船舶为了逃避执法机构的监控，可能故意关闭 AIS 以隐藏其真实位置和动态，或使用假冒的 AIS 信息来混淆视听，使得追踪工作更为复杂。我们以一个案例作为模拟，某编号船只在 2023-01-16 02:14:36 靠近岸边时丢失 AIS 信号，我们假设这艘船是涉私船舶，故意关闭 AIS 以隐藏其真实位置和动态，我们模拟演练上节提出的方法，试图跟踪其动向，以验证我们提出的方法的可行性。

### 4.1 问题分析

例如某船只 AIS 信号丢失时刻为 2023-01-16 02:14:36，AIS 信号恢复时刻为 2023-01-16 06:01:16，AIS 信号丢失时间为 3 小时 46 分钟 40 秒，距离约 19km。我们无法判断这艘船舶在 AIS 信号丢失期间的动向，为了更好的判断信号丢失期间我们关注的船舶的动向，我们寻找 AIS 信号丢失点附近的雷达信号，雷达信号分布如图 1。

### 4.2 对轨迹进行匹配

对未知的雷达数据进行匹配，匹配的方法如上节所述，判断关注的船舶在掉线点前的轨迹与现有雷达轨迹的相似性，寻找相似的雷达轨迹信号。得到结果为雷达信号 3423551691868913698，这条雷达信号可信度高，可用于对 AIS 信号的补充。图 2 绿色轨迹即为雷达信号 3423551691868913698。图 2 中的红色轨迹为我们关注的船舶，可以看到，其在掉线点前的轨迹与绿色轨迹确实是相仿的。图 2 中的蓝色轨迹下面会描述。



图 1 断线时刻附近的雷达及 AIS 信号<sup>①</sup>



图 2 相似度分析<sup>②</sup>

根据断线点时刻  $t$  周围的雷达信号判断，可以得到的雷达信号 3423551691868913698 在断线时刻 2023-01-16 02:14:36 的内插位置，距离断线点距离为 71.02m。可以认为接近。为图 3 红色轨迹。图 3 的其余两个轨迹在掉线点前与我们关注的船舶不重合，可认为只是正巧落在了掉线点周围，可予以排除。



图 3 断线点附近雷达信号<sup>③</sup>

### 4.3 根据新结束点递归判断

我们认定雷达信号 3423551691868913698 可信度高。以该信号的丢失时刻 2023-01-16 02:24:54 作为新的掉线点，重复进行判断，得到图 2 蓝色轨迹雷达信号

① 审图号：GS（2024）0568 号 - 甲测资字 1100471

② 审图号：GS（2024）0568 号 - 甲测资字 1100471

③ 审图号：GS（2024）0568 号 - 甲测资字 1100471

3423707874059665437。

使用上述方法后,将雷达信号 3423551691868913698 与雷达信号 3423707874059665437 补全到我们关注船舶的轨迹中,得到新的融合轨迹,如图 4。这样,我们在掉线点后还找到了该船舶 AIS 掉线后一个小时的轨迹数据。



图 4 补全结果<sup>①</sup>

## 5 总结

在烟草打假打私中,利用雷达数据接续船舶 AIS 信号缺失轨迹具有重要价值。雷达与 AIS 融合可提供高精度的船舶实时位置、速度、航向等动态数据,实现全天候、低能

见度环境下的沿海运输监控,通过分析可疑船只行为模式、航线异常及规则违反情况,助力识别非法走私活动。

本研究针对 AIS 信号中断导致的追踪难题,提出一种适用于烟草打假打私场景的雷达辅助轨迹接续方法,旨在提升船舶可疑行为判断的准确性与监管效率。研究首先明确了轨迹接续所需数据,包括雷达回波信号、船舶基础信息及 AIS 历史轨迹;继而构建数据融合方法,通过时空校准、目标关联和轨迹拟合,实现 AIS 信号中断后的轨迹延续;最后基于实际船只数据进行案例分析,验证了方法的可行性。

尽管雷达具备实时性强、环境适应性好的优势,但其在精确位置判断和持续追踪中仍存在固有局限,如测距误差、目标识别能力不足等。未来需进一步优化融合算法,结合红外、光电等多源传感器数据,提升轨迹补全精度,为海上烟草打假打私提供更可靠的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 邱瑞,朱振华.知识图谱在公共安全方面的应用[J].电脑知识与技术,2018,14(35):196-199.
- [2] 刘畅.船舶自动识别系统(AIS)关键技术研究[D].大连海事大学,2013.
- [3] 张景鹏.雷达与AIS信息融合关键技术研究[D].大连海事大学,2016.

<sup>①</sup> 审图号:GS(2024)0568号-甲测资字1100471