

船用 ARPA 雷达与 AIS 信息融合的实现

邓术章¹, 李光正¹, 鲁慧民², 周兆欣¹

(1. 山东交通学院 海运学院, 威海 264200;

2. 西安交通大学 电子与信息工程学院, 西安 710049)

摘 要:将 AIS 信息融入到 ARPA 雷达系统中, 为船舶导航和避碰系统提供更精确可靠、更实用的数据。归纳出 ARPA 雷达与 AIS 信息融合的系统框架, 针对基于模糊数学和统计加权方法进行航迹关联的不足, 提出基于灰色理论的航迹关联算法。模拟实验的分析结果表明, 目标船在 40 艘左右的情况下, 识别准确率为 98%~99%, 具有较高的航迹关联匹配率。

关键词: AIS; ARPA 雷达; 船舶导航; 信息融合

中图分类号: U675.79

文献标志码: A

文章编号: 1671-7953(2009)06-0145-04

自动雷达标绘仪 (automatic radar plotting aid, ARPA) 是目前船舶导航的首选工具, 但是 ARPA 还存在着很多局限性, 例如信息量少, 不能识别目标属性、测物标精度受限、存在盲区、容易受到干扰、信息处理复杂耗时, 等等。

船舶自动识别系统 (automatic identification system, AIS)^[1] 是一种新型的集网络技术、现代通信技术、计算机技术、电子信息显示技术为一体的数字助航系统和设备。AIS 提供的信息存在很多优点, 它的信息量大, 目标位置数据精度高, 信息的提供不容易受地形 (可以曲线传播)、天气和海况的影响, 因此在很多方面, AIS 提供的功能正好弥补了雷达在船舶导航、避碰等方面存在的缺陷。AIS 不能像雷达那样提供直观的模拟图像, 雷达得到的信息是水上所有的一定大小的目标, 包括船舶、岛屿、礁石、障碍物等, 而 AIS 的信息仅限于安装了 AIS 的船舶, 不利于避碰; AIS 的船位由 GPS 提供, 但在高噪声条件下容易导致 GPS 接收机对导航卫星的失锁而丧失功能; 此外, 它还存在电离层延时、多径干扰等问题; 而且不是所有的船舶都安装了 AIS 设备。

鉴于 ARPA 雷达信息与 AIS 信息的互补性, 将 AIS 信息融入到 ARPA 雷达系统中, 可以为船

舶导航和避碰系统提供更精确、可靠、实用的数据。因此, AIS 与雷达及船上其他的已有设备的结合以及信息的融合使用^[2,3], 将是今后船舶航行安全技术的一个重要的研究方向。

1 ARPA 与 AIS 融合的系统框架

ARPA 雷达与 AIS 信息的融合主要包括信息采集、数据预处理、数据融合、数据输出 4 个步骤, 框架见图 1。

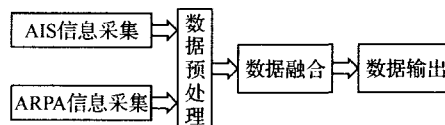


图 1 ARPA 雷达与 AIS 信息的融合系统框架

从 AIS 和 ARPA 雷达采集到的信息首先经过数据预处理, 主要是实现数据转换, 数据转换模块需要解析 AIS 系统和 ARPA 雷达的输出数据格式并将其转换成统一的中间格式, 方便融合算法的处理; 数据融合模块完成核心的融合算法, 并生成融合后的数据; 数据输出模块负责维护生成后的数据。

2 ARPA 与 AIS 融合航迹关联算法

ARPA 雷达与 AIS 信息融合的关键是航迹关联, 就是将雷达探测到的船舶和 AIS 中的船舶关联, 从而将雷达探测到的信息和 AIS 提供的信息融合。目前的航迹关联算法主要有基于模糊数学和统计的方法, 模糊方法^[4]主要是模糊决策, 这种方法处理灵活方便, 易于扩展, 计算量也相对较

收稿日期: 2009-01-09

修回日期: 2009-03-05

作者简介: 邓术章 (1963-), 男, 学士, 副教授。

研究方向: 通信导航, 信息管理。

E-mail: dengshuzhang@163.com

小,但和决策的经验有很大关系,因此提高精度比较困难。基于统计的方法有加权法^[5]、邻近法等,统计的方法在处理之前需要对数据进行滤波,因为很难知道数据中噪声的统计特性,滤波本身有可能带来较大误差。

基于灰色理论进行航迹关联^[6-7],该理论的基本思想是将随机变量看成是在一定范围内变化的灰量,并且客观实际问题中得到的统计量也有一定的误差,采用灰色理论方法对处理的数据没有特殊的要求和限制。

雷达探测的一段航迹 l ,需要把它关联到 AIS 同时探测到的一段航迹 l^* 上,雷达有固定的探测区域,但 AIS 的探测范围远远超过雷达,因此需要在 AIS 中选取有可能关联到 l 的航迹,并把选出的所有航迹称为航迹 l 的备选集,记为 $S(l)$ 。从实用的角度,根据航迹的起点来计算备选集,雷达在 t 时刻探测到船舶 A 的位置为 P ,速度为 $v(t)$,根据该时刻的速度可以计算出 AIS 的报告周期 Δs ,按最大的可能性估计,所有可能和 l 关联的航迹它们的起点都应该落在以 l 的起点为圆心, R 为半径的圆内, R 定义为:

$$R = v(t)\Delta s + \delta_r + \delta_a \quad (1)$$

式中: δ_r ——雷达的测距误差;

δ_a ——AIS 的测距误差。

所以定义如下:

$$S(l) = \{l^* | d(l(l), l^*(l)) \leq R\} \quad (2)$$

式中: $d(x, y)$ —— x 和 y 之间的距离;

$l(k)$ ——航迹上的 k 点, k 从1开始。

雷达和 AIS 的周期不同,对于一条船舶的行驶轨迹,雷达和 AIS 是在不同的时间点上以不同的周期报告航迹,因此在将一条轨迹和其备选集中的每条轨迹进行比较时,需要进行时间对准,不在同一个时间点上进行轨迹比较没有意义,误差也非常大。

对于雷达探测的航迹 l ,设 l 的长度为 n ,起始时间为 t ,那么结束时间为 $t + (n-1)\Delta t$,对于 $S(l)$ 中的每条航迹 l^* ,截取从时间 t 到 $t + (n-1)\Delta t$ 这段时间内的点迹,然后将 l 和 l^* 进行时间对准。以 l^* 为基准,通过模型将 l 对准到 l^* 相应的时间点上,对准的时间点可变(由不同的 l^* 确定),但只需建立一个模型,求解一次模型的参数,而且时间间隔固定,建模比较方便。而且以 AIS 的序列为基准,当船舶的速度比较大时,会相

应地增加序列中的点数,速度较小时,相应地点数会减少,这样有利于提高处理效率。

上面的讨论中只是假设 l 的长度为 n , n 值的确定和模型相关,因此在讨论完对准模型后再来讨论 n 的大小,在此假设 n 值已经确定且大于4(建模的需要)。这里采用 GM(1,1)模型来进行时间对准,GM(1,1)模型不需要数据的统计分布假设,对噪声不敏感,相对于插值的方法能够获取更准确的点迹^[8]。

假设 l 的所有的点迹序列为:

$$l^0 = x^0(1), x^0(2), \dots, x^0(k), \dots, x^0(n) \quad (3)$$

称下面的序列为 l^0 的一次累加生成(aggregating generation operation, AGO)序列,

$$l^1 = x^1(1), x^1(2), \dots, x^1(k), \dots, x^1(n) \quad (4)$$

$$x^1(k) = \sum_{i=1}^k x^0(i) \quad (5)$$

如果要提高精度高,就要使 AGO 序列 l^1 接近指数变化的规律,为了满足这个条件,对 l^0 序列要求满足如下的可容性覆盖。

$$\delta(k) = \frac{x^0(k-1)}{x^0(k)} \in (e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}}), k=2, \dots, n \quad (6)$$

式中: $\delta(k)$ ——级比。

对于一段航迹 l 的点序列 l^0 ,从方位距离、方位角和速度三个方面去比较处理,分别对应三个序列 $r^0(l)$ 、 $\theta^0(l)$ 和 $v^0(l)$,求同时满足三个序列的可容覆盖条件的最大的 n 值,以此来确定序列的长度。根据 GM(1,1)的要求, n 必须大于4,水面上的船只一般速度都很慢,在 $4\Delta t \approx 12$ s 时间之内状态不会有很大变化,因此 GM(1,1)模型几乎都能适用。对于角度,取值为 $[0, 2\pi]$,不出现负角度。

对于雷达探测的一段航迹 l ,其对应的点序列为 l^0 (可以是方位距离点列、方位角点列和速度大小的点列),对于 $l_i^* \in S(l)$,设其相对应的点序列为 l_i^{*0} ,并且 l^0 和 l_i^{*0} 已经时间对准,则以 l^0 为参考序列, l_i^{*0} 和 l^0 中每个点的灰色点关联度为:

$$\delta(l^0(k), l_i^{*0}(k)) = \frac{\min_k |l^0(k) - l_i^{*0}(k)| + \rho \max_k |l^0(k) - l_i^{*0}(k)|}{|l^0(k) - l_i^{*0}(k)| + \rho \max_k |l^0(k) - l_i^{*0}(k)|} \quad (7)$$

式中: ρ ——分辨系数。

则 l^0 和 l_i^{*0} 的灰色关联度为:

$$\delta(l^0, l_i^{*0}) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \delta[l^0(k), l_i^{*0}(k)] \quad (8)$$

从航迹上点的方位距离、方位角和速度大小三个方面进行比较处理,得到方位距离关联度、方位角关联度和速度关联度三个不同的关联度,分别记为 δ_r 、 δ_θ 和 δ_v 。根据这三个关联度计算 l 和 l_i^* 之间的距离 $d(l, l_i^*)$, 其为 $\delta_r(l^0, l_i^{*0})$ 、 $\delta_\theta(l^0, l_i^{*0})$ 和 $\delta_v(l^0, l_i^{*0})$ 的函数, 因此有:

$$d(l, l_i^*) = \frac{1}{\delta_r(l^0, l_i^{*0}) + \delta_\theta(l^0, l_i^{*0}) + \delta_v(l^0, l_i^{*0})} \quad (9)$$

根据上式,定义:

$$\delta(l^0, l_i^{*0}) = \delta_r(l^0, l_i^{*0}) + \delta_\theta(l^0, l_i^{*0}) + \delta_v(l^0, l_i^{*0})$$

对于一段航迹 l , 将其与 l_j^* 关联, 仅当:

$$\delta(l^0, l_j^{*0}) = \max_i \{ \delta(l^0, l_i^{*0}) \} \quad (10)$$

对于整条航迹 L 的关联需要根据分段关联的结果做出最后的决策, 对于雷达探测的一条航迹 L , 将其与 AIS 探测的航迹 L_i^* 的关联度定义为:

$$\delta(L, L_i^*) = \sum_{l \in L} \sum_{l_i^* \in L_i^*} \frac{L(l)}{L(L)} \delta(l^0, l_i^{*0}) \quad (11)$$

式中: $l_i^* \in S(l)$

将 L 和 L_j^* 关联, 当且仅当:

$$\delta(L, L_j^*) = \max \{ \delta(L, L_i^*) \} \quad (12)$$

3 模拟实验分析

3.1 模拟系统 AARFS

建立模拟系统 AARFS(AIS ARPA radar fusion system)实现了 AIS 数据和 ARPA 雷达数据融合的一个原型方案, 主要在于检测航迹匹配算法的有效性。原型采用 MVC 模式来实现, 见图 2。

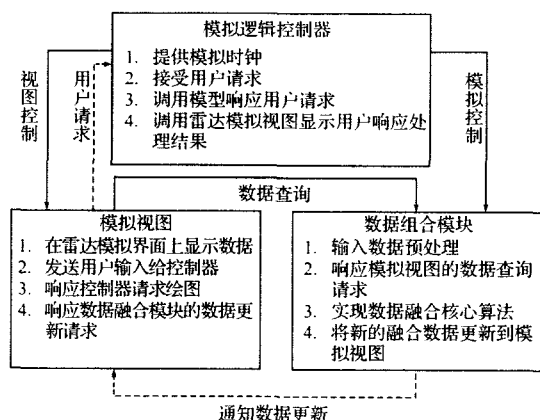


图2 AARFS的MVC结构

AARFS 能够根据用户的输入产生并实时维护更新一个水域中所有船只的运行场景, 按照随机游动模型定时计算每个船只的运行参数并修改状态, 实时地模拟真实海域中船只的运行状况。AARFS 中实现了 ARPA 雷达的数据和 AIS 的数据的采样模块, 采样模块按照自己各自预先定义的周期对实时维护的场景进行采样从而获取数据, 其中雷达采样的数据以雷达的界面呈现给用户。AARFS 能够将雷达和 AIS 分别采样的数据相互匹配, 并将匹配得到的 AIS 数据显示在雷达界面上, 实现了 AIS 和 ARPA 雷达的模拟信息融合。

3.2 测试分析

1) 功能测试。AARFS 各项功能测试结果正常, 能够稳定地运行, 测试结果正确, 匹配准确率高。系统运行界面见图 3。

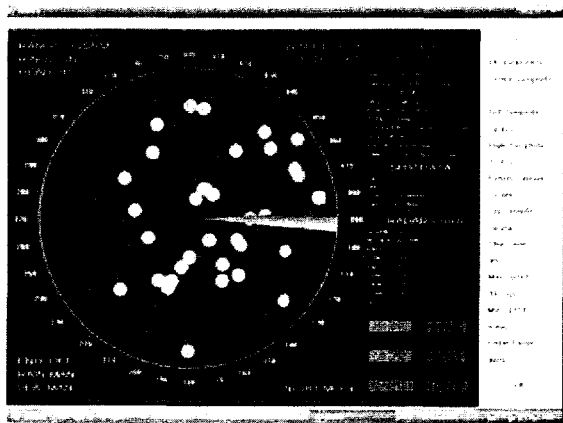


图3 系统运行界面图

2) 性能测试。20 艘船舶时间对准插值的相对误差曲线见图 4。

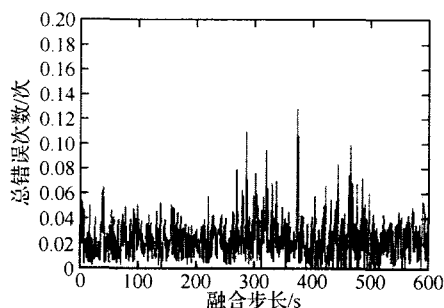


图4 20艘船舶时间对准插值的相对误差曲线

不同数目船舶固定融合步长的总出错次数曲线见图 5。

从实验数据看, 船舶数目 20~40 艘的出错率

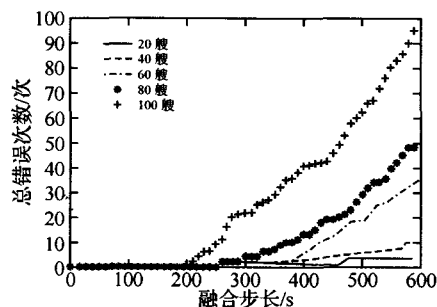


图5 不同数目船只固定融合步长的
总出错次数曲线

较少,识别准确率在98%~99%,随着目标船数、目的增加信息融合的出错率增加,识别准确率在下降,但是在船舶航行期间,ARPA雷达周围目标船的数量不会太多,所以该融合方案匹配较准确。

4 结束语

利用AIS精确可靠的目标船舶位置与动态跟踪,将自身的信息连同目标的信息同ARPA雷达的信息进行融合优化,显示在ARPA雷达上,弥补雷达盲区、海浪杂波干扰、无法直接标识目标的缺陷,ARPA雷达与AIS整合以后在识别目标和协助船舶避让方面有质的提高,对减少碰撞事故可起到显著的作用。

参考文献

- [1] 邓洪章. 船舶自动识别系统(AIS) [J]. 天津航海, 2002(4):31-35.
- [2] DANIEL Danu, ABHIJIT Sinha, THIAGALINGAM Kirubarajan, et al. Fusion of over-the-horizon radar and automatic identification systems for overall maritime picture. 2007 10th International Conference on Information Fusion, [C]. Jul 9-12, 2001. Candan, 2007.
- [3] 王当利,黄应文. 基于AIS信息的船舶自动避碰模型及其算法与仿真[J]. 船海工程, 2007(2):129-132.
- [4] 林长川. 基于多因素模糊综合决策的AIS与雷达航迹关联算法与仿真[J]. 大连海事大学学报, 2003, 29(1):43-46.
- [5] 林长川. AIS与雷达目标位置信息融合方法的研究[J]. 中国航海, 2002(1):22-25.
- [6] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 2005.
- [7] 唐万梅. 几个预测方法及模型的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学, 2006.
- [8] WEN Yuh-horng, LEE Tsu-tian, CHO Hsun-jung. Hybrid Models toward Traffic Detector Data Treatment and Data Fusion: 2005 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control [C]. Arizona: Tucson, 2005.

Research and Implementation of Marine ARPA Radar and AIS Information Fusion

DENG Shu-zhang¹, LI Guang-zheng¹, LU Hui-min², ZHOU Zhao-xin¹

(1 School of Nautical Engineering, Shandong Transportation University, Weihai Shandong 264200, China;

2 School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: In view of the complementarities of the information between ARPA radar and AIS, AIS information was fused into ARPA radar to provide more accurate and reliable data for navigation and the collision avoidance system. The information fusion framework based on ARPA radar and AIS was presented. Owing to the lack of tracks association based on fuzzy mathematics and statistics, a novel tracks association algorithm based on grey theory was proposed. Simulation results demonstrated that the identification accuracy rate is 98% — 99% in the circumstances of about 40 target ships. It has a high matching rate of tracks association.

Key words: AIS; ARPA radar; navigation; information fusion