

# ESM 与 AIS 的统计关联

王晨熙<sup>1</sup>, 王晓博<sup>1,2</sup>, 朱靖<sup>1</sup>, 王国宏<sup>2</sup>

WANG Chen-xi<sup>1</sup>, WANG Xiao-bo<sup>1,2</sup>, ZHU Jing<sup>1</sup>, WANG Guo-hong<sup>2</sup>

1. 海军装备研究院, 北京 102249

2. 海军航空工程学院, 山东 烟台 264001

1. Navy Armament Academy, Beijing 102249, China

2. NAAU, Yantai, Shandong 264001, China

E-mail: wangchenxi@126.com

WANG Chen-xi, WANG Xiao-bo, ZHU Jing, et al. Statistical correlation of ESM and AIS. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(7): 150-152.

**Abstract:** In order to make full use of the target information from ESM and AIS, the problem of ESM and AIS correlation is discussed in this paper and a statistical correlation algorithm for ESM and AIS is proposed. First, the data from ESM and AIS is preprocessed. Then, the correlation discriminate functions, decision-making rule and decision-making thresholds are given. Finally, the simulation results show that the algorithm has better effect of identification and facilitates engineering application.

**Key words:** Electronic Support Measures(ESM); Automatic Identification System(AIS); correlation

**摘要:** 为了充分利用 ESM 与 AIS 的各种目标信息, 研究了二者的航迹关联问题, 提出了一种统计关联算法。首先, 对 ESM 和 AIS 的数据进行数据预处理; 然后, 结合统计理论将 ESM 与 AIS 的关联问题转化为假设检验问题, 给出了关联判别函数、决策规则及决策门限; 最后, 通过仿真表明所提出的算法关联效果较好, 便于工程实现。

**关键词:** 电子支援措施; 船舶自动识别系统; 关联

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.07.045 文章编号: 1002-8331(2009)07-0150-03 文献标识码: A 中图分类号: TN95

## 1 引言

电子支援措施(Electronic Support Measures, ESM)对目标平台装备的雷达辐射特性(载频、脉宽、重频和脉幅等)及其方位进行被动测量, 加上有关雷达参数与雷达类型之间关系的知识可推断出目标平台的雷达装备情况, 再利用有关雷达装备与平台类型之间关系的知识又可推断出目标平台类型<sup>[1-2]</sup>。船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS), 工作在 VHF 频段上, 采用 TDMA(时分多址)通信方式, 按一定的时间间隔与工作模式, 向周围的船舶或岸台, 自动播发船舶的船名、识别码、呼号等静态信息; 船位、航向、航速、船首向等动态信息; 船舶吃水、货物种类、到达目的港及时间等航行信息; 以及安全相关的信息。同时能自动接收其它船舶及其岸台播发的相关信息<sup>[3]</sup>。对于这两类传感器的信息融合, 目前研究较多的是二者分别与雷达的融合<sup>[3-13]</sup>, 而关于二者异类传感器信息融合的研究, 目前在公开文献中尚未见到。借鉴文献[6-9]中研究雷达与 ESM 关联的方法对 ESM 与 AIS 的航迹关联问题进行了研究, 提出了一种 ESM 与 AIS 的统计关联算法。通过二者关

联, 一方面可以充分利用 ESM 与 AIS 关于目标的位置和属性信息, 以实现对目标特性更透彻的了解; 另一方面, 可以确认 ESM 目标中的一部分民用目标, 更有利于 ESM 进行辐射源识别。

## 2 ESM 与 AIS 数据预处理

为了便于进行 ESM 与 AIS 关联, 必须对它们的数据进行坐标变换和时间对准。

### 2.1 坐标变换

这里的坐标变换主要指将 AIS 接收到的目标的地理坐标信息 $(\lambda_a, \phi_a)$ ( $\lambda_a$  表示经度,  $\phi_a$  表示纬度)转换到 ESM 所在平台的 NED 坐标系中, 变换过程主要分为两步。

第一步: 将 AIS 得到的目标在 WGS-84 坐标系中的地理坐标变换到地球固定坐标系中, 公式如下<sup>[15]</sup>:

$$P(\phi_a, \lambda_a) = \begin{bmatrix} N_a \cos \phi_a \cos \lambda_a \\ N_a \cos \phi_a \sin \lambda_a \\ N_a(1-e^2) \sin \phi_a \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中:  $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$  为第一偏心率,  $a = 6\,378\,137$  m 为长半轴,  $b =$

**基金项目:** 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60541001); 全国优秀博士学位论文作者专项基金(No.200443); “泰山学者”建设工程专项经费资助项目。

**作者简介:** 王晨熙(1966-), 男, 高工, 主要研究领域为: 软件工程、信息融合; 王晓博(1983-), 男, 硕士, 主要研究领域为: 信息融合; 朱靖(1974-), 男, 高工, 主要研究领域为: 系统工程与信息融合; 王国宏(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 泰山学者特聘教授, 主要研究领域为: 多传感器信息融合、多目标跟踪、目标识别等。

收稿日期: 2008-10-30 修回日期: 2008-12-29

6356 752 m 为短半轴,  $N_e = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi_e}}$ 。

第二步: 从地球固定坐标系中变换到 ESM 所在平台( $\lambda_e, \phi_e$ )的 NED 坐标系中, 公式如下:

$$\begin{bmatrix} x_N \\ x_E \\ x_D \end{bmatrix} = \underline{D}(\phi_e, \lambda_e)(P(\phi_a, \lambda_a) - P(\phi_e, \lambda_e)) \quad (2)$$

其中:

$$\underline{D}(\phi_e, \lambda_e) = \begin{bmatrix} -\sin \phi_e \cos \lambda_e & -\sin \phi_e \sin \lambda_e & \cos \phi_e \\ -\sin \lambda_e & \cos \lambda_e & 0 \\ -\cos \phi_e \cos \lambda_e & -\cos \phi_e \sin \lambda_e & -\sin \phi_e \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$P(\phi_e, \lambda_e) = \begin{bmatrix} N_e \cos \phi_e \cos \lambda_e \\ N_e \cos \phi_e \sin \lambda_e \\ N_e (1-e^2) \sin \phi_e \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$N_e = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi_e}} \quad (5)$$

## 2.2 时间对准

由于 AIS 目标信息来自 GPS, 比 ESM 目标信息精度要高, 因而时间对准时, 在 ESM 所在平台的 NED 坐标系中, 将 AIS 位置信息内插或外推至 ESM 观测点处。时间对准采用线性插值, 公式如下:

$$\begin{bmatrix} x_{N'} \\ x_{E'} \end{bmatrix} = \frac{T_2 - T}{T_2 - T_1} \cdot \begin{bmatrix} x_{N1} \\ x_{E1} \end{bmatrix} + \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} \cdot \begin{bmatrix} x_{N2} \\ x_{E2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中,  $\begin{bmatrix} x_{N1} \\ x_{E1} \end{bmatrix}$  和  $\begin{bmatrix} x_{N2} \\ x_{E2} \end{bmatrix}$  分别为 AIS 在  $T_1$  和  $T_2$  时刻的坐标,  $T(T_1 < T < T_2)$  为 ESM 的采样时刻。

时间对准后, AIS 得到的目标方位角为:

$$\theta_e = \arctan \frac{x_{E'}}{x_{N'}} \quad (7)$$

## 3 ESM 与 AIS 数据关联

由于一个 AIS 目标航迹对应一个目标, 一个 ESM 航迹对应一个辐射源, 且一个目标可以载有多个辐射源, 因而一个 AIS 目标航迹可以和多个 ESM 航迹关联, 而一个 ESM 航迹至多可以和一个 AIS 目标航迹关联。这样, 一个 ESM 航迹和多个 AIS 目标航迹的关联问题就化为如下的多假设检验问题:  $H_0$  为 ESM 航迹和所有 AIS 目标航迹无关联;  $H_j$  为 ESM 航迹和第  $j$  个 AIS 目标航迹关联,  $j \neq 0$ 。

对于多个 ESM 航迹和多个 AIS 目标航迹的关联, 可以转化为多个上述多假设检验问题, 因而以下只讨论一个 ESM 航迹和多个 AIS 目标航迹的关联问题。

### 3.1 关联判别函数

设第  $j$  个 AIS 航迹可用于和 ESM 航迹关联的方位状态有  $n_j$  个,  $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ , 令:

$$d_j = \sum_{i=1}^{n_j} \left[ \frac{\theta_e(t_i) - \theta_j(t_i)}{\sigma_e} \right]^2 \quad (8)$$

其中,  $\theta_e(t_i)$  为 ESM 航迹在  $t_i$  时刻测得的辐射源的方位角,  $\theta_j(t_i)$  为第  $j$  个 AIS 航迹在  $t_i$  时刻的方位角, 假定 ESM 方位测量误差服从独立、零均值和恒定方差的高斯分布,  $\sigma_e$  为 ESM 方位测量误差标准差。

令:

$$P_j = 1 - F_j(d_j), X_j \sim \chi^2(n_j), j \neq 0 \quad (9)$$

其中,  $F_j(d_j) = \Pr\{X_j \leq d_j\}$ 。则  $P_j$  是在  $[0, 1]$  区间均匀分布的, 它与自由度  $n_j$  无关。  $P_j$  是 AIS 航迹状态向量和 ESM 方位测量轨迹状态向量之间的相似性测度, 可以作为 AIS 和 ESM 航迹关联的判别函数。

### 3.2 关联判决规则

按式(9)求得所有 AIS 航迹与 EAM 航迹的相似性测度  $P_j$  后, 找出最大  $P_j$  记为  $P_s$ , 即令:

$$P_s = \max\{P_j | j=1, 2, \dots, m\} \quad (10)$$

则采用硬决策规则进行判决。

首先设置门限  $T_L$ , 则 AIS 和 ESM 航迹硬关联决策规则为:

(1) 若  $P_s \geq T_L$ , 则接受  $H_s$ , 即判决 ESM 航迹与 AIS 航迹  $s$  关联;

(2) 否则, 若  $P_s < T_L$ , 则接受假设  $H_0$ , 即判决 ESM 航迹与所有 AIS 航迹无关联。

### 3.3 关联门限确定

门限  $T_L$  确定的原则是使错误拒绝本来与 ESM 航迹关联的 AIS 航迹的概率要小于预先给定的漏关联概率  $\beta$ 。由于在这种情况下, 假设  $H_s$  是正确的, 故  $d_s$  是从服从自由度为  $n_s$  的  $\chi^2$  分布的母体中抽取的子样, 且  $P_s$  是在  $[0, 1]$  区间均匀分布的。若选择  $T_L = \beta$ , 则可保证确定漏关联的概率小于  $\beta$ , 故选择低门限为  $T_L = \beta$ 。

## 4 仿真实验

### 4.1 仿真条件

假定平台探测到两个目标, 目标 1 为民用目标, 安装了 AIS, 目标 2 为不明目标, 未安装 AIS, 分别在三种情况下进行了仿真, 见表 1。需要说明的是: 情况 2、3 是在样本容量为 1 时的仿真结果, 情况 2 时两目标方位间距较小, 情况 3 时两目标方位间距较大。 ESM 的测角误差标准差  $\sigma_e = 1^\circ$ 。为简化仿真, 假定 ESM 的采样周期和 AIS 的信息报告间隔都为 5 s。预先给定的漏关联概率  $\beta = 0.01$ , Monte Carlo 仿真进行 1 000 次。

表 1 平台和目标运动的三种情况

情况	平台及目标	初始地理坐标		航速/kn	航向/(°)
		纬度/(°)	经度/(°)		
1	平台	21.000 0	128.000 0	0	0
	目标 1	21.271 0	128.003 9	0	0
	目标 2	21.271 0	127.996 1	0	0
2	平台	21.000 0	128.000 0	10	90
	目标 1	21.270 9	128.003 9	12	270
	目标 2	21.270 9	127.996 1	12	270
3	平台	21.000 0	128.000 0	10	90
	目标 1	21.270 9	128.009 6	12	270
	目标 2	21.270 9	127.990 4	12	270

### 4.2 仿真结果与分析

三种情况下的仿真结果如图 1~图 3 所示。

由仿真结果可以得到如下结论:

(1) 由图 1 可见, 在目标及平台不动时, 随着样本容量的增加, 正确关联概率增加, 这是由于样本容量越大, 有效信息越多。因此, 若采用本文的硬判决准则, 应在保证一定实时性的前

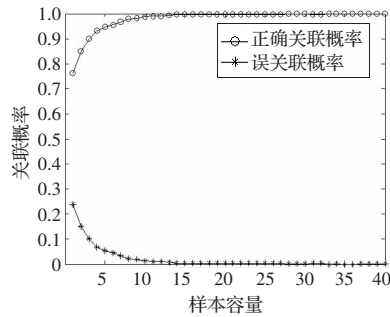


图1 情况1时的仿真结果

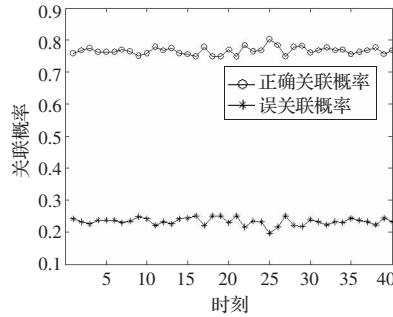


图2 情况2时的仿真结果

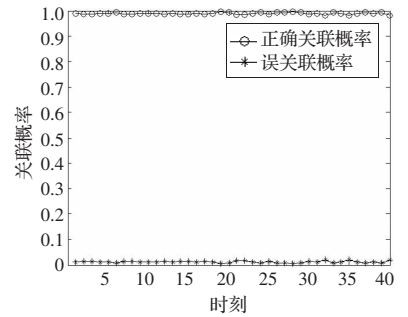


图3 情况3时的仿真结果

前提下,尽可能较多地利用样本。

(2)由图2、图3可见,在样本容量相同的条件下,随着目标方位间隔的增大,正确关联概率增加,这主要是由于目标方位间隔越大,ESM的测角误差对关联的影响越小。

## 5 结束语

ESM和AIS关联是二者信息融合的前提和关键,通过关联可以更充分地利用二者的信息。基于统计理论,提出了一种ESM与AIS的统计关联算法,并对其性能进行了仿真验证。仿真结果表明,随着样本容量和目标方位间隔的增加,正确关联概率增加。为进一步提高正确关联概率,在进行关联决策时,可以考虑采用多门限的判决方法。

## 参考文献:

- [1] 刘同明,夏祖勋,解洪成.数据融合技术及其应用[M].北京:国防工业出版社,1998.
- [2] 李爱军,吴小俊.一种模糊算法及其在多假设多目标跟踪中的应用[J].计算机工程与应用,2008,44(10):224-226.
- [3] 林长川,孙腾达,洪爱助,等.雷达与AIS目标航迹模糊关联算法与仿真[J].系统仿真学报,2006,18:903-908.
- [4] Li W, Leung H, Zhou Y. Space-time registration of radar and ESM using unscented kalman filter[J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 2004, 40(3): 824-836.
- [5] Challa S, Pulford G W. Joint target tracking and classification using radar and ESM sensors[J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic

Systems, 2001, 37(3): 1039-1055.

- [6] 王国宏,何友.基于模糊综合和统计假设检验的雷达与ESM相关[J].系统工程与电子技术,1997,4:13-16.
- [7] Wang G H, Mao S Y, He Y, et al. Triple-threshold radar-to-ESM correlation algorithm when each radar track is specified by different number of measurements[J]. IEE Proc Radar, Sonar Navig, 2000, 147(4): 177-181.
- [8] 何友,王国宏,陆大,等.多传感器信息融合及应用[M].2版.北京:电子工业出版社,2007.
- [9] 王国宏.分布式检测、跟踪及异类传感器数据关联与引导研究[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [10] 李维远.VTS中雷达和AIS信息融合算法研究[D].大连:大连海事大学,2007.
- [11] Danu D, Sinha A, Kirubarajan T, et al. Fusion of over-the-horizon radar and automatic identification systems for overall maritime picture[C]//10th International Conference on Information Fusion, 2007: 1-8.
- [12] Suo Ji-dong, Liu Xiao-ming. Fusion of radar and AIS data[C]//7th International Conference on Signal Processing, 2004: 2604-2607.
- [13] 罗素云. AIS与雷达目标位置数据融合方法的研究[D].武汉:武汉理工大学,2003.
- [14] 郑佳春,陈宗恒.基于模糊神经网络的AIS与雷达目标数据融合[J].集美大学学报:自然科学版,2005,10(3):216-220.
- [15] 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.

(上接88页)

Verilog硬件描述语言进行寄存器传输级模型的设计,可以得到该引擎的可综合IP软核,为该GPU的实际应用奠定良好的基础。

## 参考文献:

- [1] 裴初,费广正,石民勇.可编程图形硬件综述[J].北京广播学院学报:自然科学版,2004,11(3):13-19.
- [2] Fernando R. GPU精粹[M].北京:人民邮电出版社,2006.
- [3] Wright R S, Lipchak J B. OpenGL超级宝典[M].徐波,译.3版.北京:

人民邮电出版社,2005.

- [4] Shreiner D, Woo M, Neider J, et al. OpenGL编程指南[M].邓郑祥,译.4版.北京:人民邮电出版社,2005.
- [5] Akenine-Moller T, Haines E. 实时计算机图形学[M].普建涛,译.2版.北京:北京大学出版社,2004.
- [6] Ederly D H. 3D game engine design: a practical approach to real-time computer graphics[M]. [S.l.]: Prentice Hall Publishing, 2000.
- [7] Lengyel E. Mathematics for 3D game programming and computer graphics[M]. Massachusetts: Charles River Media, Inc, 2004.
- [8] 陈曦,徐宁仪. SystemC片上系统设计[M].北京:科学出版社,2004.