

一种多目标自动跟踪的逻辑关联方法

李 涛¹, 陈 磊², 周胜增¹, 蒋小勇¹, 翟昌宇¹

(1. 上海船舶电子设备研究所, 上海 201108; 2. 海军装备研究院, 北京 100161)

摘要: 目标跟踪是被动声纳系统的主要功能之一, 跟踪器为目标运动分析和目标识别等后置处理提供输入数据。声纳操作员利用人脑独特的认知模式、先验知识和视觉的迹迹相关效应, 能够很好地在声纳显示方位历程图上发现目标并录取跟踪。但实际应用中由于低信噪比、航迹交叉和转向等复杂多目标情形, 声纳系统实现多目标自动跟踪十分困难。给出一种多目标自动跟踪的逻辑关联方法, 利用被动声纳宽带波束输出数据, 通过点迹与航迹关联、航迹评价管理和交叉处理等过程, 可以较好实现多目标自动跟踪。试验数据的处理结果验证了所提方法的有效性, 能够在声纳装备中得到工程应用。

关键词: 被动声纳; 自动跟踪; 数据关联

中图分类号: TB556

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2013)-06-0469-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2013.06.005

A logical association method in multi-target automatic tracking

LI Tao¹, CHEN Lei², ZHOU Sheng-zeng¹, JIANG Xiao-yong¹, ZHAI Chang-yu¹

(1. Shanghai Marine Electronic Equipment Research Institute, Shanghai 201108, China; 2. Naval Academy of Armament, Beijing 100161, China)

Abstract: Target tracking is one of the most important functions in passive sonar systems. The tracked data are provided for the post-processing of target motion analysis and target recognition. Sonar operators can easily find and track the target from the bearing-time recording, by the use of the advanced cognitive model of human brain, the prior knowledge and visual trace-to-trace correlation. However, automatic multi-target tracking is very difficult to achieve in practical sonar systems, due to the complex multi-target conditions such as low signal-to-noise ratio, track cross and course varying. An automatic multi-target tracking method was proposed based on the logical association method. Broadband beam was used for data output from passive sonar. Automatic multi-target tracking could be well implemented by the use of the track association with point tracks, track evaluation management and track cross-processing. Experimental results demonstrated the effectiveness of the proposed method.

Key words: passive sonar; automatic tracking; data association

0 引 言

被动多目标跟踪^[1]是被动声纳的主要功能之一。跟踪器输出的连续方位信息被用于目标运动分析(Target Motion Analysis, TMA)和目标识别, 并对目标距离和速度进行估计, 因此目标跟踪质量直接影响声纳后置处理的性能。被动声纳通常采用宽带能量检测的方法得到方位谱数据, 以时间方位历程图(Bearing-Time Recording, BTR)形式进行显示。目标跟踪一般分为人工干预模式和全自动模式^[2], 这两种模式都是利用 BTR 进行跟踪。人工干预模式是手动录取目标的航迹头, 然后由计算机维护对航迹头的跟踪, 撤销目标也由人工完成; 而全自动模

式是以上过程全部由计算机完成。人工干预的优点在于利用人脑独特的认知模式、先验知识和视觉迹迹相关^[3]效应, 能很好地对关注目标及时进行录取和撤销操作。但人工模式也存在主观性强, 操作人员需全程值守等缺点。声纳系统的自动化、智能化需求, 对全自动模式提出了更高的性能要求。Kevin Brinkmann 提出一种基于隐马尔可夫(HMM)的多目标自动跟踪方法^[4], 实现对包括弱目标在内的所有目标的跟踪, 同时将虚假航迹数量最小化, 并给出了仿真数据的处理结果。李启虎^[5]利用 BTR 数据的时空特性, 提出一种基于人脑识别和图像处理手段的实时自动跟踪方法, 并给出了仿真数据处理结果。但该方法对在交叉点处转向呈“X”形的等强度双目标误认为是交叉目标处理。

各种全自动跟踪方法在分析仿真数据时通常可获得较好效果, 主要原因是对多目标交叉、轨迹

收稿日期: 2012-08-10; 修回日期: 2012-10-09

作者简介: 李涛(1986—), 男, 湖北黄冈人, 工程师, 研究方向为声纳图像处理。

通讯作者: 李涛, E-mail: litao217@163.com

中断等情形做了特定假设。本文给出的一种多目标自动跟踪方法，利用 BTR，通过点迹与航迹关联^[6]、航迹评价管理和交叉处理等过程，可以较好地实现多目标自动跟踪。海试数据的处理结果验证了所提方法的有效性，能在声纳装备中得到工程实用。

2 自动跟踪基本原理

对文中提到的几个名词作如下解释：点迹表示当前方位谱数据提取的局部峰值位置；航迹是由不同周期相关联的点迹组成的目标轨迹；关联是指将同一目标点迹与其对应的航迹配对，保证同一目标点迹与历史数据相关。

目标跟踪的输入为宽带检测的方位谱数据。一般实现过程为：对一次处理给出的点迹与数据库中的所有航迹进行关联，然后进行外推、滤波等处理，以对目标的状态进行估计并形成航迹。针对被动声纳多目标轨迹交叉、中断、机动转向等特点，设计出一套基于逻辑关联的全自动跟踪方法，主要过程包括点迹与航迹关联、航迹评价管理和交叉处理等，系统框架流程如下：

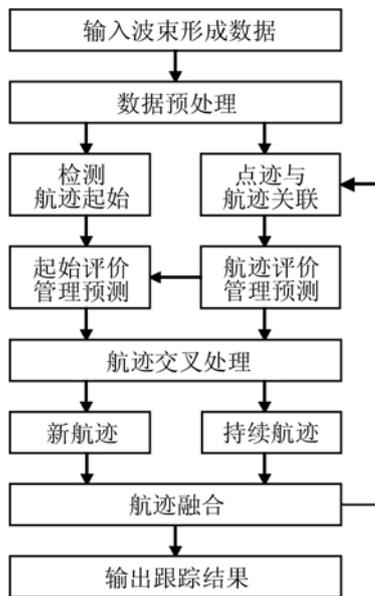


图1 自动跟踪原理框图流程
Fig.1 Flow chart of automatic tracking

2.1 数据预处理

数据预处理模块是在方位谱数据中挑选局部峰值得到一次点迹，然后以局部背景和相对强度过滤掉一些峰值，形成二次点迹。局部背景由式(1)求得：

$$Bg = \frac{1}{2a-b+1} \sum_{i=k-a}^{k+a} x_i \quad (1)$$

式中： k 为当前欲求局部背景的位置； a 为局部背景的半窗宽； b 为在背景窗内存在极值的数目； x_i 为在输入数据存在极值的位置补 0 的数组。

2.2 点迹与航迹关联

点迹与航迹关联是将二次点迹与上周期已跟踪的航迹进行配对，关联过程如下：

关联过程先假设目标不进行大幅度机动，以航迹的预测方位为中心，建立关联门 A，在关联门 A 范围内查找是否存在孤立点迹。若存在，则配对成功，若不存在，再考虑目标可能进行了较大幅度的机动，则以航迹上周期的输出位置为中心，建立关联门 B，再次进行配对。在进行关联时，若在关联门内存在多个孤立点迹，则挑选最强的点迹与主航迹关联，同时以其他孤立点迹作为航迹头，建立分支航迹。

以上关联结束后，做好关联状态的标记。关联门建立时门宽的选择主要以目标的最大方位变化率 $\Delta\theta_{max}$ 为依据，公式如下：

$$\Delta\theta_{max} = V_{max} T / R_{min} \quad (2)$$

式中： V_{max} 为关注目标的最大航速； T 为声纳输出周期； R_{min} 为目标最小距离。关联门 A 门宽取 $\Delta\theta_{max}$ ，关联门 B 门宽取 $2\Delta\theta_{max}$ 。

2.3 航迹评价管理预测

该模块对已存在航迹的质量进行评价，从而决定航迹的撤销或维持。对于持续的航迹，还需预测其下周期位置。航迹质量评价因子 Q_H 由式(3)给出：

$$Q_H = a_1 Q_1 + a_2 Q_2 + a_3 Q_3 + a_4 Q_4 + a_5 Q_5 \quad (3)$$

其中 $a_1 \sim a_5$ 为各因素的权重系数，可根据实际应用进行调整。完成评价后，根据航迹质量评价因子 Q_H 对航迹进行确认或撤销。 $Q_1 \sim Q_5$ 说明如下：

(1) Q_1 为当前周期航迹关联的质量，由关联门的种类、点迹与航迹相似度来衡量。

(2) Q_2 为航迹的平滑度，由下式得到：

$$Q_2 = b_1 S_1 + b_2 S_2 \quad (4)$$

式(4)中 S_1 为航迹的机动性衡量， S_2 为航迹的粗糙度衡量。 S_1 由航迹方位序列 $x(n)$ 的二阶导数 $x''(n)$ 去除最大模值后求均值得到：

$$S_1 = \frac{1}{N-3} \sum_{n=0}^{N-2-1} x_1(n), \quad n \in (0, N-2) \quad (5)$$

式中 $x_1(n)$ 是将 $|x''(n)|$ 中最大模值置零后得到的序列。

S_2 由航迹 $x(n)$ 与拟合曲线 $P_m(n)$ 的差异程度得到：

$$S_2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |P_m(n) - x(n)|^2, \quad n \in (0, N) \quad (6)$$

式中 $P_m(n)$ 由多项式拟合得到：

$$P_m(n) = \sum_{j=0}^m a_j x(n)^j \quad (7)$$

实际应用中采用一阶和二阶分别进行拟合，选取其中误差最小结果代入式(6)。

(3) Q_3 为航迹行为特征，对具备特定行为航迹给予高评价。假设声纳关注的目标为鱼雷，则对某时刻出现“一分为二”特征的航迹给予高评价，其中主航迹为潜艇，分支航迹为鱼雷。

(4) Q_4 为航迹强度的稳定度，主要由点迹强度均方差和航迹对比度衡量。航迹对比度是通过航迹上的点迹与周围背景强度的比值得到。

(5) Q_5 为航迹的持续时间，航迹的持续时间越长，说明跟踪轨迹越稳定，应给予高评价。

对航迹的预测，通过最小二乘拟合方法由式(7)计算得到 $P_m(n+1)$ 。

2.4 检测航迹起始

该模块主要完成对新出现目标的检测。首先在数据预处理模块输出的点迹中从大到小挑选 M 个迹点(M 为检测起始航迹的数目)，然后利用 5 个周期的点迹数据建立检测单元，以第 3 周期为中心，与相邻两个周期进行关联建立航迹起始，详细过程如图 2 所示。

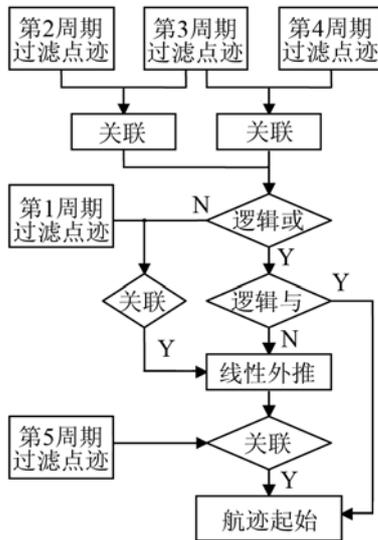


图 2 航迹起始检测框图
Fig.2 Block diagram of track initiation detection

2.5 起始评价管理预测

该模块对建立的航迹起始进行评价，给出置信度高的航迹起始，剔除虚假航迹起始，并对其进行预测。

为了对弱目标进行有效检测，对于航迹起始中出现点迹缺失的周期，通过线性预测，放宽检测条件，利用原始点迹数据进行二次关联并进行评价管

理和预测。

2.6 航迹交叉处理

该模块逻辑过程描述如下：对于两两交叉目标，首先根据目标的强弱进行区别跟踪，对强目标进行正常跟踪；对弱目标经过预测值关联、分支航迹关联、航迹起始匹配等过程的逻辑处理，实现其与强目标的成功分离。弱目标处理过程见 3。

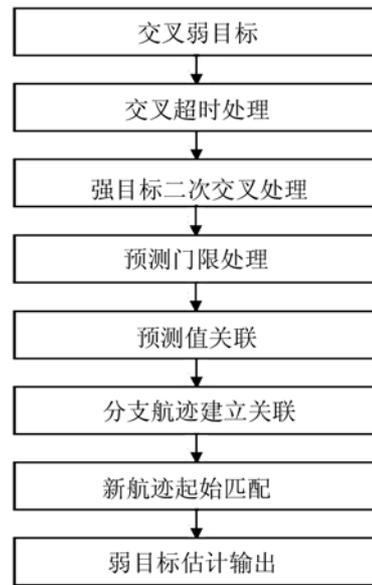


图 3 交叉弱目标处理框图
Fig.3 Block diagram of cross-weak target processing

图 3 中，交叉超时处理模块功能：当交叉状态持续时间大于门限值时，撤销弱目标并撤销交叉状态。强目标二次交叉处理模块：当检测到与之交叉的强目标再次与其他目标发生交叉后，撤销弱目标并撤销交叉状态，重新建立新的交叉信息。预测门限处理模块：当预测的弱目标航迹远离强目标航迹至门限值之前，以弱目标航迹预测值作为输出；超过门限后，以预测值为中心，开始关联孤立点迹。预测值关联模块：在预测方位附近若关联上孤立点迹，通过关联周期积累，达到关联质量门限后，认为弱目标成功分离。分支航迹建立关联模块：在强目标附近关联孤立点迹，建立分支航迹，对于已建立的分支航迹，实现与预测值关联的相同过程。新航迹起始匹配模块：从检测出的航迹起始中，在强目标附近一定门限内存在远离的新航迹，则认为其为弱目标航迹。

对于超过两个目标发生交叉的情况，基本处理思想为：弱目标不发生机动航行，以各个弱目标的预测值作为跟踪输出值，当各个弱目标的预测值分离到可分辨角度后，分别与孤立点迹进行关联，若关联成功，则撤销其交叉状态，进行正常跟踪，否

则撤销弱目标。

3 多目标数据处理

图4给出了一组典型多目标数据的时间方位历程图,该数据包含了低信噪比目标、航迹交叉和转向等复杂情形。图中在(85°, 300s)处出现新目标,在96°与弱目标发生交叉,在143°再次与强目标发生交叉并V型反转,在124°发生机动性较大的交叉,在115°与强目标一起航行大约150s。

图5给出了多目标数据的自动跟踪结果。由图可见,自动跟踪算法及时检测到新目标的航迹起始

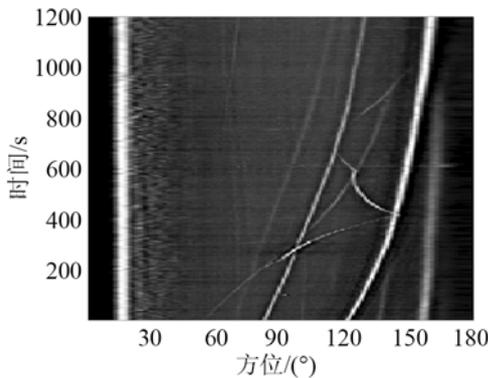


图4 多目标数据时间方位历程图
Fig.4 Bearing time history of multi-target data

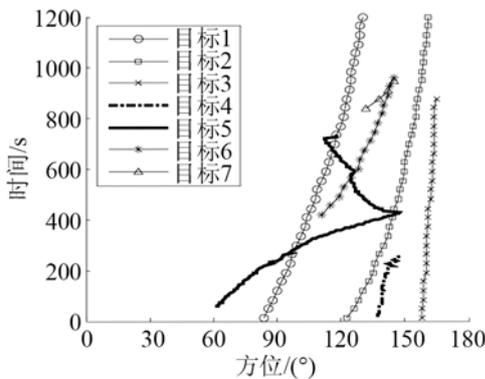


图5 多目标数据自动跟踪结果
Fig.5 Automatic tracking results of multi-target data

并稳定跟踪,对交叉多目标进行了成功分离并稳定跟踪,对丢失目标完成了自动撤销。

4 结论

本文给出了一种被动声纳多目标自动跟踪的逻辑关联方法,通过点迹与航迹关联,对多目标轨迹强度、平滑度、行为特征和稳定度等因素进行评价管理,并对多目标交叉进行处理,较好地实现了多目标自动跟踪。该方法对典型多目标数据进行了处理,有效地完成了新目标航迹起始检测、跟踪、丢失目标自动撤销等过程,同时较好地解决了交叉多目标的跟踪。该方法能够在声纳装备中得到工程应用。

参考文献

- [1] 蔡志明. 软件声纳的概念与趋势[J]. 声学技术, 2007, 26(5): 968-971.
CAI Zhiming. Concept and development of the software-defined sonar[J]. Technical Acoustics, 2007, 26(5): 968-971.
- [2] 陆文广. 快速目标自动识别与跟踪方法及实现研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2005.
LU Wenguang. Study on methods and implementation of fast object automatic detection and tracking[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2005.
- [3] 杨晨辉. 被动声纳宽带信号检测与显示方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2002.
YANG Chenhui. Research of passive sonar detection and display method[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2002.
- [4] Kevin Brinkmann and Jorg Hurka. A multi-target tracking approach for broadband passive sonar[C]// Proceedings of UDT Europe 2009.
- [5] Yuan ZHENG, Qihu LI. A real time targets tracking method[C]// Proceeding of UDT Europe 2003.
- [6] 杨万海. 多传感器数据融合及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
YANG Wanghai. Multi-sensor data fusion and its application[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2004.