

学术论文

新型潜艇作战系统 TMA 功能设计

任克明, 潘悦, 王岩

(中国船舶工业集团公司船舶系统工程部, 北京 100036)

[摘要] 文章在新型潜艇全综合、分布式作战系统的体系结构下, 以声纳信息作为主要信息源, 综述了纯方位 TMA、多信息融合 TMA、方位-多普勒 TMA、噪声能量-方位联合估距、与匹配场声源定位相结合等几种实现 TMA 的方法, 在此基础上对 TMA 功能提出了新设想, 初步提出了一种 TMA 的功能设计。该功能设计从作战系统的角度出发开发 TMA 功能, 充分利用了多传感器获得的信息, 以及人的主观判断, 增强了 TMA 的能力, 使它能够更好地为指挥员战术决策服务, 为武器的发射控制提供更加精确的目标运动要素解算结果。与通常的 TMA 设计相比, 该项设计能够识别目标机动, 增加了人机交互功能, 并设计了便于观看 TMA 结果、监视目标机动和执行交互式跟踪改进的 TMA 显示画面。

[关键词] 运动目标分析; 潜艇; 作战系统; 显示

1 引言

目标运动分析 (TMA) 是估计目标距离和运动参数的程序, 是每个作战系统的核心内容, 它将所有可利用的传感器的测量结果利用起来, 由它建立起一幅潜艇周围环境的作战态势图。TMA 的收敛时间, 也就是 TMA 得到稳定结果所历经的时间, 是潜艇整个武器系统反应时间的关键要素。此外, TMA 在目标的检测、跟踪、定位和识别上有着重要意义: TMA 解算出目标的距离, 实现目标的解算定位; 其提供的目标速度值是目标识别判断的重要信息; 在发射鱼雷后, 在目标已捕获的情况下应用 TMA 可以改善目标跟踪; 一种基于频率-方位动态谱图的 TMA, 由于积分时间长, 可增强检测能力。由于 TMA 的重要作用, 各国海军都很重视 TMA 技术的研究应用。

潜艇, 尤其是核潜艇具有水下长期潜航的特点, 因此声纳是潜望状态以下唯一可利用的获取目标信息的传感器, TMA 处理主要就是对声纳信息的处理。在指控领域中开展的 TMA 技术研究, 也

称为目标运动要素解算。由于以前声纳系统和指控系统是两个独立的分系统, 因此 TMA 只能利用由声纳系统传递给指控系统的少量测量数据, 而大量的水下基阵可利用的测量信息未得到充分利用。同时, 由于指控台和声纳听音员处于不同的舱室仓位, 只在指控台上进行操作和运算, 也就丢失了利用人耳听测信息参与 TMA 操作的机会, 限制了 TMA 的能力和作用。

随着电子技术和计算机技术的飞速发展, 成熟的商业技术广泛地应用于军事领域, 使得作战系统的综合信息处理和显示控制能力大大改进, 自动化程度显著提高, 全综合、分布式的潜艇作战系统是必然的发展趋势。全综合、分布式的潜艇作战系统以高速局域网络为信息传输通道, 以多功能显控台为信息综合处理和显控中心, 已没有了严格分系统的概念, 只有以发挥作战效能为目的的统一信息处理和显控的整体概念。因此在声纳、战术和火控多功能显控台上都应有 TMA 功能模块, 且应是同样的 TMA 程序。我们检索的国外的有关技术资料也证实了这一点。TMA 的信息处理以声纳信息处理

[收稿日期] 1999-07-06

[作者简介] 任克明 (1939-), 男, 山西阳高县人, 中国船舶工业集团公司船舶系统工程部研究员, 博士生导师

为主,在多个台子上都可以进行 TMA 操作。

2 TMA 方法综述

目前国内外的指控和声纳专家们一直对 TMA 方法进行研究,以下是几种典型的 TMA 方法。

1) 纯方位 TMA 纯方位 TMA 方法是潜艇广泛应用的目标运动分析方法。这种方法只有本艇有利机动才能得出目标参数,需要至少两段不同的方位连续变化的航程。该方法最早采用的是最小二乘算法,此后国内外都先后进行了卡尔曼滤波、维纳滤波算法研究,但目前最小二乘算法仍是最有效的。

2) 以方位信息为主,通过信息融合有效利用多传感器(声纳、雷达、ESM、潜望镜等)获得的其它信息(距离、航迹向、速度、机动等),以及人的听测信息和主观判断来实现 TMA。由于非递归结构有较好的鲁棒性,因此该方法一般采用非递归滤波器。

3) 方位-多普勒 TMA^[1] 方位-多普勒 TMA 将频率谱线跟踪获得的多普勒测量值用于 TMA,采用无偏的速度限制条件改进 TMA 收敛时间。由于多普勒信息的使用,可以较快速地估计出目标位置,避免了纯方位 TMA 条件下本艇作复杂的机动。

4) 噪声能量-方位联合估距方法 这种方法利用中远区声传播衰减与距离的关系具有较理想的线性性质,通过声纳信噪比测量即可得到距变量,与方位信息一起联合估计距离,为了提高精度和缩短收敛时间,采用卡尔曼滤波和最小二乘方法对方位和距变量进行预处理。该方法不需要本艇机动,但精度低于纯方位法。

5) 与匹配场声源定位相结合的方法^[2] 匹配场处理(MFP)是利用海洋环境对声压场的影响,估计声源位置。可是对于舷侧阵和拖曳阵匹配场处理并不是目标在任何位置都能得出同样的结果,特别是当目标在旁射附近时,由舷侧阵或拖曳阵所采样的声压场的变化最小。另一方面,当目标在端射附近,利用匹配场处理能得到更好的定位信息。而 TMA 在端射方向因为角度分辨力减小,因而不可能有好的结果出现,但在旁射方向上一个小的方位变化率,就能得到比较好的角度分辨力。可见 MFP 和 TMA 在舷侧阵和拖曳阵的定位能力上相互补充。

以上方法有的在工程上已经得到应用,有的还处于研究阶段,因此在装备上应用哪种方法更现实有效,还有待进一步研究。

3 一种新型潜艇作战系统 TMA 的功能设计

我们从作战系统的角度出发开发 TMA 功能,充分利用了多传感器获得的信息,以及人的听测信息和主观判断,增强了 TMA 的能力,使它能够更好地为指挥员战术决策服务,为武器的发射控制提供更加精确的目标运动要素解算结果。这种 TMA 具有的功能有:估计目标参数、本艇机动航迹建议、识别目标机动、自动和交互式 TMA 和 TMA 图形显示。下面详述这些功能。

3.1 估计目标参数

通过所有可用传感器信息的融合,TMA 计算每个系统目标可能有的最多的目标参数值:方位、距离、航迹向/平均前进航线、航速/平均航速,及目标距离的置信区间。

如果目标采取防御性的“Z”形机动,TMA 则计算平均航线和前进速度。在发射鱼雷后,在已捕获目标的情况下,TMA 将作为重要的传感器来改善目标战术数据。TMA 计算的目标置信区间是一个距离估计的 2σ 值,通过计算 TMA 误差协方差矩阵得出,与 TMA 滤波器所用的输入数据和它们的权值有关。其数值小,则说明 TMA 计算得出了稳定、确切的解。置信区间在战术态势显示上标出,给操作员一个直观的印象。

3.2 提供选定目标的最佳本艇机动航迹建议

通过考虑参与跟踪的传感器的检测部分,TMA 连续、自动地计算出每个目标建议的最优航迹,供指挥员参考。

在纯方位解算的情况下,只有在本艇有利机动之后才有目标参数的有理解。即使使用了其它额外信息(尤其是如果有大量错误的话),正确的本艇机动仍然对加速收敛起重要作用。本艇机动的选择决定了在一定误差容许范围内 TMA 算法估计出目标参数的快慢。有一种情况例外,即如果目标在本艇跟踪的边界范围上,这时虽然机动是有效的,机动以后和没有机动时获得的方位没什么不同。

3.3 识别目标机动

所有稳定自动跟踪的目标的 TMA 和所有预测跟踪的目标的 TMA 都能够自动地检测到强的目标

机动，并用字符显示给操作者。由他来确认机动。机动指示在机动确定和自动 TMA 转换完成后消失。为了确认机动，操作员向交互式 TMA 提供一个机动时间值（可通过 TMA 显示图中的光标）或使 TMA 自己找出最优的机动时间。

目标机动识别由 TMA、被动全景声纳（PPS）中的窄带处理器、目标声级估计等一同实现。机动的检测以以下方面为基础：**a.** 方位偏差和它们作为时间函数的变化；**b.** 估计目标航迹向的变化；**c.** 估计目标速度的变化；**d.** 由全景被动声纳的窄带处理器完成的谱分析。

除了自动的机动检测，操作者能够通过 TMA 的图形显示知道目标机动，并且可以人工启动利用最新确定的目标位置进行运算的 TMA。TMA 通过考虑目标参数的最大可能变化，在最新有效位置的基础上，可获得目标数据的快速收敛。

3.4 在提供自动 TMA 的同时提供交互式 TMA

在通常的目标自动 TMA 处理的同时，操作者可以交互地影响 TMA 处理结果。两者结果都显示

给操作者，便于比较两者的距离可信度和方位偏差，可以判断出交互式输入是否是有帮助的。自动计算结果应保存，以免交互式操作造成数据丢失和时间损失。

如果操作者通过交互式操作改进了跟踪效果，他就可以将交互模式的输入用于自动模式，这样最终的目标数据参数在整个战术数据处理部分和武器控制部分就成为有应用价值的了。在火控台、战术台和声纳台上都可以执行交互式 TMA 操作。由于有交互式的 TMA，使人耳的听测信息和人的主观判断得以利用。

操作者可以采取以下可能的措施来改进跟踪：**a.** 隐去方位（数据完整保留，但 TMA 不使用）；**b.** 输入有时间参考的距离数据；**c.** 输入航迹向；**d.** 输入速度；**e.** 输入目标机动时间值；**f.** 激活一次检测机动；**g.** 链接或脱离目标。

此外，操作员可以对每个系统目标执行下列操作：**a.** 消除操作员的输入（输入的数据消除，并重新使用隐去的方位）；**b.** 再触发 TMA。

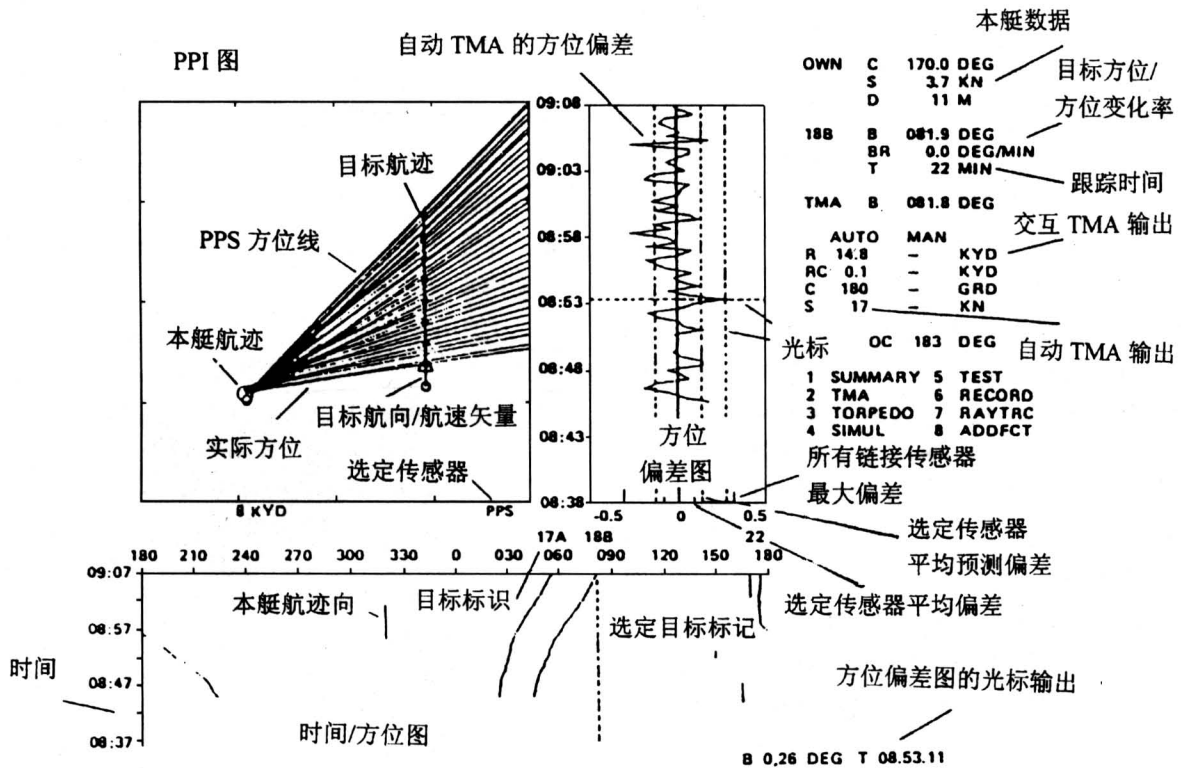


图 1 TMA 显示说明

Fig. 1 TMA display explanation

为支持交互式的操作, 在 TMA 显示上应进行相应的设计。

3.5 TMA 图形显示

为了提供操作者一种 TMA 结果的概况, 使他能够监视目标运动和执行交互式的跟踪改进, 我们借鉴国外相关技术, 设计了三种 TMA 图形显示, 如图 1 所示, 即平面位置指示 (PPI) 图、方位偏差图及时间/方位图。每个目标的 TMA 计算用于 TMA 显示的数据。

时间方位图显示所有被跟踪的目标, 并显示所有选定目标和本艇的 30 分钟方位历史数据, 其作用如下:

1) 指示被跟踪的目标相对于本艇的方位。

2) 使操作者了解一次本艇航向机动对目标方位变化的影响。在本艇机动前/后的方位变化率的显著变化导致特定目标的 TMA 解的快速收敛。

3) 使操作者了解目标机动。目标方位变化率的变化不是同本艇机动一起变化, 就表示目标机动, 目标机动的时间数值可以通过时间方位图或 PPI 及方位偏差图用光标或摸球输入。

PPI 图是本艇和选定目标的最近 30 分钟的相应的战术态势的选录。如果没有激活交互 TMA, 目标参数是自动 TMA 的, 否则是交互 TMA 的。PPI 图显示本艇轨迹和目标艇的估计轨迹, 两者都在实际位置上显示航迹向和航速矢量, 此外还绘制出某一链接传感器的方位线 (操作者可选择传感器)。如果选定的传感器能提供距离信息, 那么距离值在相应的方位线上以点的形式绘制出来。PPI 图使操作者能够: **a.** 知道不正确的方位并清除; **b.** 评价估计的目标轨迹能否较好地与被动测距声纳的距离数值吻合 (如果被动测距声纳被链接的话); **c.** 通过方位线上的变化了解目标机动, 输入目标机动时间值。

此外作为一个最优的 TMA 信息显示, PPI 图还应能自动或人工改变比例尺, 人工选定任意位置作为显示中心, 可删除方位线使显示更清晰等。

方位偏差图反映了一个选定目标的自动 TMA 和并行的交互式 TMA 解的质量。它可以显示链接的传感器的最近 30 分钟的测量方位和估计方位的

差值, 即 TMA 滤波器的误差。方位偏差图使操作者能够: **a.** 当出现不正确的测量结果与估计方位有较大的偏差时, 识别并删除该方位; **b.** 知道目标机动, 即目标机动后, 测量的方位与估计方位是有偏差的, 趋向于相同或相反方向, 目标机动的时间值可以用光标或摸球输入; **c.** 评价一般情况下一种链接传感器相对于另一链接传感器的测量精度; **d.** 评价支持数据的影响, 即比较交互式 TMA 与自动 TMA 的方位偏差, 数值不正确意味着有较大的偏差。

此外, 在声纳、战术和火控多功能显控台上都应有 TMA 显示, 这样交互 TMA 的操作可以同时三个目标进行, 如果同一目标被多个显控台选定, 则只允许第一个选定的人进入输入操作, 对其他操作者, 这个特定的目标的操作被屏蔽, 他们只能进行显示操作。通过链接几个目标, 操作者可以启动多个 TMA, 同时进行多目标的自动 TMA 和交互式 TMA。

4 结束语

本文在新型潜艇全综合、分布式作战系统的体系结构下, 提出了一种 TMA 的功能设计, 力求充分利用多基阵测量信息及人的主观判断, 同时通过 TMA 的显示设计, 使操作者能够得到更多的信息, 如确认目标机动, 了解 TMA 结果的正确性等, 并通过交互式操作提高 TMA 的能力。该设计具有较高的应用价值。

参考文献

- [1] Blanc-Benon P. TMA with/without Doppler measurement: shallow water experiments [R]. UDT 962 - 4 July 1996. Wembley Conference and Exhibition Center. London. UK.
- [2] wilmot M J. 一种有效的匹配场处理目标跟踪算法 [A]. 见: 《声学及电子工程》编辑部. 水声匹配场处理译文集 [C]. 杭州富阳: 中国船舶工业总公司第七一五研究所, 1995. 128~134

(下转第 40 页)

Fatigue Life Prediction of Fiber Reinforced Metal Laminates Under Variable Amplitude Loading

Wu Xueren, Guo Yajun

(*Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China*)

[**Abstract**] Fiber reinforced metal laminates (FRMLs), a new type of hybrid composites, are finding wide applications in the aerospace industry. The material is featured by its excellent fatigue performance and damage tolerance. Reliable life prediction methods are required for the successful application of this material. For this purpose, a mechanism-based fatigue model was developed for the prediction of the fatigue lives of FRMLs under constant amplitude loading. The model was based on an analytical approach for the determination of the bridging stress over the crack faces by intact fibers.

The fatigue behaviors of glass fiber reinforced laminates (GLARE), including crack growth and delamination, under constant amplitude loading following a single overload were investigated experimentally, and the mechanism of the effect of an overload on the crack growth rates was identified. An equivalent crack closure model for predicting crack growth in FRMLs under variable amplitude loading was presented. All the models in this paper were verified by applying to GLARE under constant amplitude loading and Mini-TWIST load sequence. Good agreement was achieved.

[**Key words**] fiber reinforced metal laminates; fatigue; bridging stress; delamination; life prediction

(cont. from p. 34)

A Design of TMA Functions for New Submarine Combat System

Ren Keming, Pan Yue, Wang Yan

(*Marine Systems Engineering Research Institute, CSSC, Beijing 100036, China*)

[**Abstract**] This paper overviews a few methods of TMA (target motion analysis), such as only bearing TMA, multiple information fusion TMA, bearing-Doppler TMA, distance estimation with bearing and noise energy, matched-field location combined with TMA etc. We herein provide a new idea for the design of TMA functions in fully integrated and distributed submarine combat system.

We enhance the TMA functions from the point of view of submarine combat system, fully applying the information of multi-sensors and the operator's subjective decisions in automatic and in manual modes. It will serve better in tactical decision making and provide more accurate results of target motion parameters. Compared with the normal design of TMA, this design has developed a function of target manoeuvre recognition, added the manual TMA function, and designed a display on which the operator can easily observe TMA output, target motion and therefor improving track of targets.

[**Key words**] target motion analysis (TMA); submarine; combat system; display