

被动声呐监测系统中目标跟踪算法的研究

纳杰斯

(昆明船舶设备研究试验中心 昆明 650051)

摘要: 被动声呐技术是监测水中目标的重要手段,由于水声信号在水中传播干扰较大,信噪比相对较低,所以水声信号的数据处理方法显得尤为重要。提出了一套被动声呐监测系统中的数据处理软件处理离散目标点的算法,算法以离散目标点之间距离与噪声谱的相关性为计算依据,将离散的目标点处理显示为连续的跟踪轨迹。该算法具有运算简单、数据处理量小的优点,目标数据经过处理后,原始数据中的噪点得到大幅抑制,同时增加了目标跟踪的连续性,最终得以从软件算法层面上改善被动声呐监测系统的性能。

关键词: 被动声呐;下安防;目标跟踪

中图分类号: TB566 **文献标识码:** B **国家标准学科分类代码:** 140.2060

Research of continuous target tracking algorithm in passive sonar monitoring system

Na Jiesi

(Kunming Shipborne Equipment Research and Test Center, Kunming 650051, China)

Abstract: Passive sonar technology is an important tool for monitoring the water targets. As the serious propagation interferences of underwater acoustic signal, the SNR (signal to noise ratio) of original signal is low, so the signal processing method is particularly important. This paper presents an algorithm for data processing software in passive sonar monitoring system. The algorithm based on the correlation of distance and noise spectrum between different discrete target points, deal with the original discrete target data. After processing, the discrete target data transform to continuous trajectory tracking. While the original underwater acoustic signal has been treated with the algorithm, the noise of original signal was suppressed significantly, and the algorithm has the advantages of a small amount of data processing. Ultimately the performance of the system is improved from the software algorithms levels.

Keywords: passive Sonar; underwater security; target tracking

1 引言

声波是水下探测的重要手段,相比其他探测手段,声波在水中传播的衰减小得多,在水中进行测量和观察,至今还没有发现比声波更有效的手段^[1]。在现代人们对海洋资源需求日益增加以及海洋冲突愈发频繁的背景下,声呐技术在国内外都备受重视。

声呐系统的重要的任务之一是测定目标方位,相比主动声呐系统,被动声呐本身不发射信号,利用接收换能器基阵接收目标发出的噪声或信号来探测目标^[2]。在军事用途上,由于被动声呐本身不发射信号,所以目标不会觉察声呐的存在以及意图,有极强的隐蔽性。在海底管路、

设备安全防护用途上,被动声呐比传统的雷达、AIS以及光测设备等常规监测手段相比,具有可观察水下目标以及不间断工作的优势,是海洋立体安全防御系统的重要组成部分。

国外对水下目标探测和识别研究十分重视,着手也比较早,我国与美国和西欧等发达国家相比,在这一领域一直处于落后地位^[3]。近年来,信号处理与数据融合的发展几乎解决了水下目标识别这一国际性难题,而这些方法大多比较复杂^[4],需要较大的运算量及大量的样本数据,对于实时性要求较高的声呐监测系统,配备高性能的数据处理机将是工程项目不小的经费开支。

收稿日期:2014-10

从实际应用出发,在满足工程应用需求的同时,避开严格区分目标类型的难题,用简单的噪声功率谱特征分析方法结合目标运动的连续性,将不同目标的运动轨迹区分开,具有算法简单、运算量小、对处理机性能要求较低的优点。

2 目标跟踪算法的必要性

被动声呐系统以测定目标方位为目的,在实际应用中,被动声呐系统同时监测多个目标并以数秒为周期更新目标位置,使用人员很难从没经过处理的繁多离散目标点中提取出有用信息,更无法直观的观察目标的运动轨迹。

图1为未采用任何数据处理的目标轨迹,该图为某海洋安防系统实际应用中的一段数据,图中的噪点非常多,几乎淹没了真实的目标^[5],影响观测人员对真实目标运动轨迹的判断。



图1 未采用任何处理的目标轨迹

3 目标跟踪算法的研究

为了使被动声呐监测系统实现目标的连续跟踪,使其能直观、清楚的显示目标的运动轨迹,需要对离散的目标点进行目标连续跟踪算法处理,提及的算法包括距离相关法与噪声谱相关法。

3.1 距离相关性处理

根据实际应用中船舶运动的连续性,船舶运动的距离相关性是判断离散的目标位置点是否为同一目标最直观的方法。

被动声呐监测系统以 t 为周期更新目标位置信息,监测海域内船舶最大航速 v ,设定距离判定限为 $S=vt$,若前后时刻 2 个点位置为 S_1, S_2 ,若 $S_2 - S_1 < S$,则认定为前后 2 个时刻目标点连续为同一目标。

图2为采用前后相邻时刻距离相关性处理后的目标轨迹,与图1相比,几乎抑制了所有的噪点,但是真实目标本身的轨迹也出现明显的间断性,目标点丢失较为严重。



图2 采用距离相关性判定后的目标轨迹

3.2 多历史时刻距离相关性处理

使用前后 2 个时刻的距离相关性判定目标连续时,效果并不是特别理想,在抑制噪点的同时,目标轨迹也出现了明显的间断性,丢失了大量的目标跟踪信息。

因为水声信号在传输过程中干扰较多,海面波浪、海底不平整、海水浓度梯度、海水温度梯度等可变因素导致了声信号在水中传播的混响、噪声、散射、起伏等干扰^[6],其信号的稳定性比在空气中传播的电磁信号要差得多,具体在被动声呐监测系统中,监测得到的目标点位置是断断续续的,很难连续地监测每一时刻的目标位置信息。

为了弥补简单的前后时刻距离相关性判定的缺陷,可以采用多历史时刻距离相关性判定。与前者相比,数据处理程序缓存多个历史时刻的目标位置信息,当前时刻目标位置信息不只是与前一时刻位置信息对比,还与多个缓存的历史时刻目标位置信息对比,2 个目标距离差在一定的判定距离内,认为当前时刻与多时刻前的历史点连续,为同一连续目标。

图3为加入多历史时刻距离相关性处理的目标轨迹,与图2相比,大幅优化了目标轨迹的连续性。

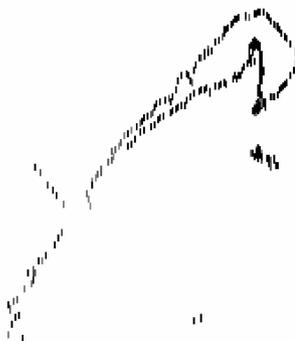


图3 加入多历史时刻距离相关性处理的目标轨迹

3.3 噪声谱相关性处理

除了距离相关性处理外,还可以通过噪声谱相关性处理增强被动声纳跟踪系统的性能^[7]。目标原始噪声信号的时域波形结构中含有丰富的目标类别信息,通过时域信号获得的功率谱是获取随机信号二阶统计特征的基本手段^[8]。通过时域到频域的变换,可使时间域上的复杂波形转换成频域上比较简单的各频率分量的分布,功率谱中的低频线谱特征及宽频带谱形特征等是水声目标识别分类的主要根据之一^[9]。

噪声谱相关性处理即是通过目标噪声功率谱的分析实现目标的识别分类,计算不同时刻目标辐射噪声的谱特性,在一定距离差范围内,对于前后时刻辐射噪声谱特性吻合的目标即认定为同一目标。

跟踪系统将不同的目标用不同颜色的点表示,理论上某个连续目标的跟踪轨迹应为同一颜色。图3中看似连续的轨迹由繁多的颜色拼接而成,说明跟踪系统并未能较好地实现连续跟踪,图4为加入噪声谱相关性处理后的目标轨迹,与图3相比,目标轨迹所用的拼接颜色种类有所减少,说明噪声谱相关性处理有助于改善目标连续跟踪的性能。

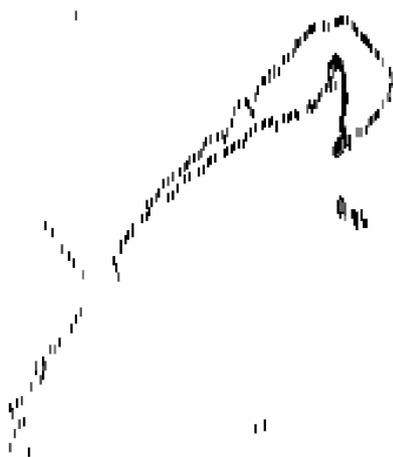


图4 加入噪声谱相关性处理后的目标轨迹

3.4 目标跟踪轨迹的平滑处理

由于水中声信号传播的众多干扰因素,水声信号精确度很达到很高,被动声纳监测系统采集水声信号并对其处理,得到的目标点位置并不一定能非常准确地反映目标的真实位置,目标的跟踪轨迹必然会显得参差不齐。在实际应用中,对于那些被认定为属于同一目标的多个离散位置点,对其使用卡尔曼滤波平滑处理^[10],使目标的跟踪轨迹更加平滑、美观,也更符合真实情况。

图5为加入平滑处理后的目标轨迹,与图4相比,目标运动轨迹更加的平滑、美观,同时也更真实。



图5 加入平滑处理后的目标轨迹

3.5 算法性能分析

为了量化被动声纳监测系统对目标连续跟踪的性能,引入参数——最大目标序号。每当系统判定离散目标位置点与历史目标位置点不连续时,则以递增的方式给予该目标位置点一个新的序号。对于同一段跟踪数据,最大目标序号越大表明系统在跟踪过程中出现的新目标越多,连续跟踪性能越差,反之最大目标序号越小就表明跟踪性能越好,跟踪越连续。文中所用的跟踪数据为1800个跟踪周期,无任何数据处理时,最大目标序号即为1800。

如表1所示,在被动声纳监测系统中,对离散的目标位置点逐步加入文中所述的算法处理后,使得最大目标序号逐步减小,即是系统对目标的跟踪愈发的连续。

表1 目标连续跟踪算法性能

算法	最大目标序号
无	1 800
距离相关	236
多历史相关	120
噪声谱相关	87

4 结 论

在任何软、硬件协同工作的系统中,软件算法对系统性能有着重大的影响,对于被动声纳系统处理水中传播的信噪比较低的信号,数据处理方法更是尤为重要。提出了一套相对简单、运算量较小的目标连续跟踪算法,较小

的运算量使得数据处理软件可以在普通计算机上流畅运行,通过该算法的处理,被动声呐监测系统的噪点得以大幅减少,离散的目标点被处理显示为连续、平滑的跟踪轨迹,从上位机软件设计的层面改善了被动声呐监测系统性能。

当然,相比国内外军事用途中采用高性能计算机网络搭载复杂数据处理算法的高性能水下目标识别跟踪监测系统,所述算法只是满足了基本的民事工程应用需求。

参考文献

- [1] 罗光成,黄建强,张丹,等.吊放声呐扇形搜索效能建模与仿真[J].国外电子测量技术,2012,31(5):56-58.
- [2] 王建平,徐恒,李奇越,等.基于卡尔曼滤波的矿井移动节点定位算法研究[J].电子测量与仪器学报,2013,27(2):120-126.
- [3] 周岗,陈永冰,陈阳,等.一种船舶直线航迹控制算法及控制参数的设计[J].仪器仪表学报,2013,34(5):1043-1048.
- [4] 李思纯.基于矢量水听器的目标特征提取与识别技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2007.
- [5] 李新欣.船舶及鲸类声信号特征提取和分类识别研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2012.
- [6] 李志明.水声目标分类识别的显示及人机交互技术研究[D].南京:东南大学,2008.
- [7] 常文瑾.基于方位走向的目标特征提取算法研究[D].西安:西北工业大学,2006.
- [8] 续元君.水下目标探测关键技术研究[D].大连:大连海事大学,2011.
- [9] 何董航.艇用声呐信息辅助系统软件设计[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2009.
- [10] 王江峰.基于轨迹片段关联的目标跟踪与事件检测方法研究[D].长沙:国防科学技术大学,2011.

作者简介

纳杰斯,1988年出生,工程硕士,助理工程师,主要研究方向为水声信号处理、LabVIEW程序设计等。
E-mail: xingjitoo@gmail.com

(上接第31页)

- [9] 廖俊,于雷,周中良,等.机载相控阵雷达探测参数优化[J].仪器仪表学报,2012,33(11):2487-2494.
- [10] 李昕泽,娄亮,郝继平,等.连续波雷达用于舰炮弹目偏差测量的设计与实践[J].国外电子测量技术,2014,33(2):74-77.
- [11] 刘红海,侯向华,郝秀兰,等.采用随机样本进行运动目标检测的算法研究[J].电子测量与仪器学报,2013,27(12):1155-1161.

作者简介

王颖,1989年出生,工学硕士,主要研究方向为通信与信息系统等。
E-mail: vicdylanwang@126.com

雷斌,1966年出生,副教授,主要从事无线传感器网络、嵌入式系统、地理信息系统等方面的研究。