

船载式水声定位系统信号处理改进算法研究

张庆国, 王健培, 龚浩亮, 马小勤

(昆明船舶设备研究试验中心, 云南昆明 650051)

摘要: 针对船载式水声定位系统的特点, 在座底式等常规水声定位系统信号处理算法的基础上, 对船载式系统可能出现的声脉冲叠加现象进行仿真分析, 证明常规算法存在丢失数据的可能性, 并且常规算法对声信号幅度变换较快的情况难以适应。提出一种并行实时数字信号处理算法, 允许每块数据拥有不同的属性, 并采用数据匹配方法进行后置冗余处理, 获得有效数据。经过湖上跑船试验证明, 该算法具有更高的检测率, 并能提高跟踪轨迹的平滑性和真实性, 具有较高的工程应用价值。

关键词: 船载系统; 水声定位系统; 信号处理算法; 后置冗余处理

中图分类号: TN929.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2015)-03-0265-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2015.03.015

The improved signal processing algorithm for ship-borne acoustic positioning system

ZHANG Qing-guo, WANG Jian-pei, GONG Hao-liang, MA Xiao-qin

(Kunming Shipborne Equipment Research & Test Center, Kunming 650051, Yunnan, China)

Abstract: In consideration of the characteristics of ship-borne acoustic positioning system, based on the signal processing algorithms for conventional acoustic positioning systems, the simulation and analysis of sound pulses superimposition phenomena appearing in ship-borne system has been made, and the results show that the conventional algorithms could lose the data probably, and they are difficult to adapt to the situation where the acoustic signal amplitude varies too fast. A parallel real-time digital signal processing algorithms is presented on this paper, which allows each piece of data having different properties, uses the data-match method to process the rear redundant, and finally obtains the valid data. After the dynamic test of ship navigation, it is proved that the algorithm has higher detection rate and can improve the authenticity and smoothness of the tracking trajectory.

Key words: shipboard systems; acoustic positioning system; signal processing algorithms; post processing of redundancy

0 引言

船载式水声定位系统是动态测量水下目标航行轨迹的重要手段, 可在试验船只高速运动的情况下, 实时完成水下运动目标的轨迹跟踪与测量。特别在水下目标攻击水面舰艇试验中, 能够为其攻击效果的评估提供直观数据。

船载式水声定位系统主要利用安装在船底或在船舷吊放的声学基阵^[1], 完成水下目标的实时跟踪与测量。在运动状态下实时进行水下目标的轨迹跟踪, 常将水下基阵固定安装在船底。其基本原理是利用声信号的传播时延值(或时延差), 根据球面

交汇(或双曲交汇)原理^[2]获得水下目标的位置等信息。数字信号处理算法是跟踪系统的核心, 主要负责完成信号检测、参数估计, 以及目标的分类与识别等, 其算法的优劣直接影响系统关键技术指标的实

1 船载水声定位系统信号处理特点

船载式水声定位系统与其他常规系统(如座底式)相比较, 具有以下特点:

(a) 由于水下基阵安装在高速航行的试验船上, 试验船的航行振动噪声及水下湍流等不利因素, 会对定位系统造成较大影响, 甚至会将水下目标的声信号淹没在噪声中, 难以分辨;

(b) 由于船只的机动性较强, 需要提高水声定位系统的数据率, 才能更加真实获得鱼雷等水下目标的航行轨迹, 这样水下声信号会较频繁出现脉冲

收稿日期: 2014-03-24; 修回日期: 2014-06-27

作者简介: 张庆国(1982-), 男, 黑龙江人, 工程师, 研究方向为水下武器弹道跟踪与测量技术研究。

通讯作者: 张庆国, E-mail: ZQG750@126.com

信号的反射与叠加^[3-5];

(c) 由于船只的机动性较强, 船载基阵与水下目标的相对位置变化较快, 声学基阵所收到的声信号幅度也变化较快;

(d) 受到船只的限制, 多个换能器组成的水声基阵不可避免地安装在船底不同位置, 造成每个换能器的振动噪声不同, 甚至相差 4~6 dB(安装在动力舱附近的噪声大);

(e) 在水下目标攻击水面舰艇试验中, 会进行主动声呐的扫描^[3], 虽然频率与跟踪声信号相差一倍左右, 但由于该声呐信号强度较高(约 230 dB), 其旁瓣频谱已经完全进入跟踪系统的通道, 对定位系统产生干扰。

综上所述, 船载式水声定位系统相对来说干扰较大, 并且与所安装船只的噪声环境有关, 需要对其进行针对性研究, 特别是在信号处理算法上, 常规的水声定位系统处理算法不能满足需求, 应该进行针对性设计。

2 数字信号处理方法

同步式水声定位系统常采用单频(Continuous Wave, CW)和调频(线性调频—Linear Frequency Modulated, LFM, 双曲线调频—Hyperbolic Frequency Modulation, HFM)等组合脉冲信号组成跟踪信标^[4], 如图 1 所示。

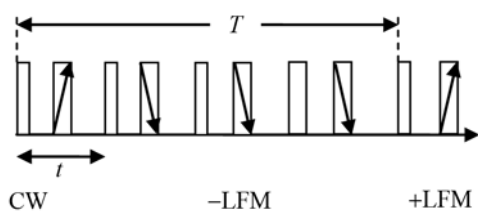


图 1 跟踪信标波形结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the waveform of tracking beacon

图 1 中 T 为同步周期, t 为跟踪周期, 每个 t 周期内包含 1 个 CW 脉冲信号及 1 个 LFM 信号。由测量的 CW 脉冲时延值代入球面交汇公式, 获得水下目标的位置信息, 利用 LFM 与 CW 信号的相对时延值遥测获得水下目标的深度值。最终获得水下目标的水平位置和深度的三维定位信息。

2.1 常规算法

针对图 1 所示的信标信号, 数字信号处理算法主要完成 CW 与 LFM 信号的检测识别及时延值估计。其 CW 信号采用功率谱分析的方式, 针对实现预设的频段进行检测, 当功率谱满足判定条件时(如

能量值、相关峰尖锐度等), 判定为 CW 脉冲信号; LFM 信号采用互相关方式进行检测^[5], 利用事先预设具有一定频率冗余范围的样本信号与实际接收到的声学信号(已数字化)进行互相关处理分析, 如满足判定条件即判定为 LFM 信号。

一般性常规算法: 首先进行声信号的数字化, 然后对数字信号处理器进行必要的初始化; 其次将获得的当前数据块包络检波后进行鉴宽、鉴幅判断, 当该信号的幅度和宽度均满足判定条件时, 进行功率谱分析, 如果不满足 CW 信号判定条件后, 进行 LFM 信号的判断, 最后返回。其水声定位系统的常规数字信号处理算法流程, 如图 2 所示。

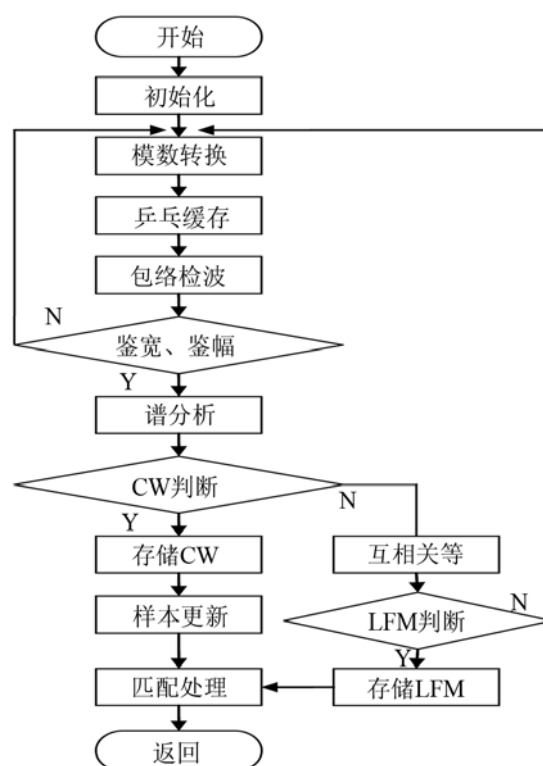


图 2 常规数字信号处理算法流程图

Fig.2 Flowchart of conventional digital signal processing algorithm

2.2 改进算法

从图 2 可以看出, 常规算法能够完成水声信号的检测与识别, 能够完成大多数座底式水声定位系统的跟踪与测量。但也存在一定的设定缺陷, 该算法默认每个数据块只能有一个属性, 也就是说只能是 CW 或者 LFM 信号。当脉冲信号存在较为严重的反射和叠加时, 例如 CW 与 LFM 叠加在一个数据块上, 此时便存在丢失或错判有效数据的可能性。

特别是在研制船载式水声定位系统的过程中, 经常发现水声信标信号的 CW 反射信号与本周期的 LFM 信号相叠加, 如按照常规算法无法正确识别此

包数据的 LFM 信息, 只能解算出两个 CW 信号(理论上是一个 CW 和一个 LFM), 这样便丢失了该点位的深度细信息。另外, 在定位周期较小的情况下, 还会出现前周期和本周期信号相互叠加的情况, 与同一周期的 CW 和 LFM 相互叠加相同, 在一包数据内既包含了 CW 信号又含有 LFM 信号, 无法获得真实信息。针对上述情况, 提出新的数字信号处理算法: 一方面采用并行处理方式, 对 CW 和 LFM 并行进行判断, 允许一包数据具有不同的属性, 再利用后置滤波等手段完成轨迹定位与跟踪, 也充分利用了数字信号处理器的并行指令, 提高运行效率; 另一方面增加数字滤波和数字放大等相关处理以提高系统信噪比和抗干扰能力。其算法的流程图见图 3 所示。

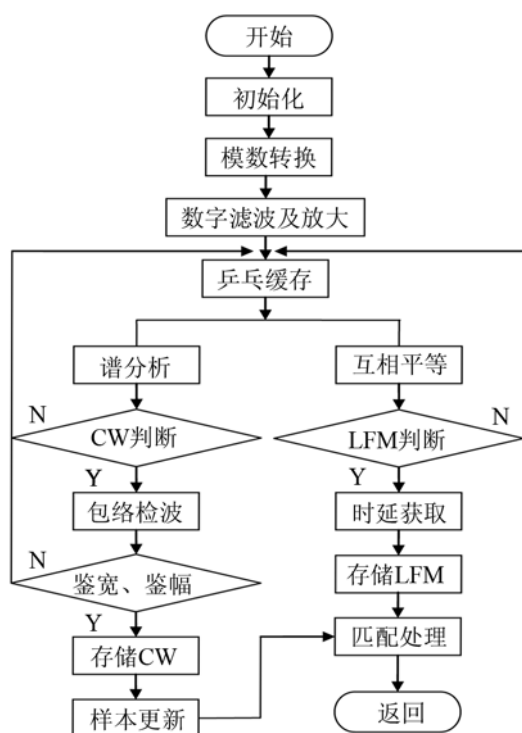


图3 并行实时数字信号处理算法流程图

Fig.3 Flowchart of parallel real-time digital signal processing algorithm

图3所示算法与图2算法相比较在谱分析上有所不同, 主要是为了保证整个 DSP 算法的连续和实时性。假如当前数据块不满足谱分析结果, 图3流程便不进行相对耗时的包络检波, 以便节省处理时间; 而图2中算法只要是满足鉴宽、鉴幅条件便随时进行包络检波(比如增益较大时, 基线噪声都过门限), 不仅耗时, 还增加了 DSP 处理负担。

从图3可以看出, 新算法的主要改进有三点: 一是针对同一个数据块采用并行处理方式; 二是对 CW 信号采用频谱分析为基本门限; 三是 LFM 信

号的时延值估计采用互相关获得。

另外, 图3中的并行实时数字信号处理算法在具体实现过程中要注意整个程序流程的执行时间, 必须针对每个程序子模块进行运行时间测试, 以保证整个程序流程执行的实时性。

3 湖上试验

在湖上试验区域内, 在安装船载水声定位系统的船上拖曳模拟声源, 采用动态“跑船”的方式对算法进行验证。在某些距离点上便会出现图4所示的叠加情况(图4(a)为时域波形数据), 可以明显看出图4(a)的第二个脉冲信号(标注为“CW 反射 & LFM”)已经是 CW 反射与 LFM 相互叠加的混合脉冲信号。可以看出该块数据满足功率谱分析(见图4(b)), 同时也能满足互相关的判断(见图4(c))。如果按照常规数字信号处理算法来解算, 便不会继

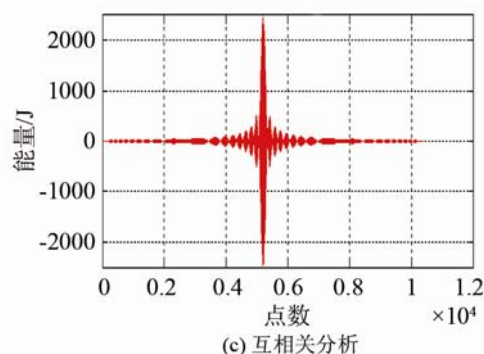
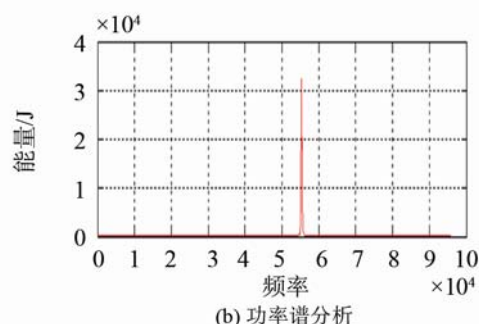
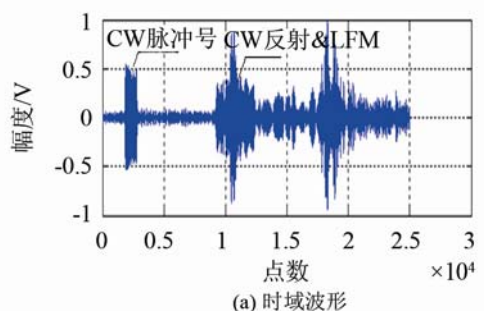


图4 反射叠加情况分析图

Fig.4 Analysis chart of reflection overlaying

续解算 LFM 信号, 导致实际 LFM 信息的丢失, 甚至不能正确获得水下目标的深度信息。

根据跑船试验的原始数据进行数字信号处理算法的比对分析, 同一原始水声信号分别用常规算法及本文算法进行解算, 其跟踪轨迹对比如图 5 所示。图 5(a)为利用常规数字信号处理算法进行解算的轨迹, 而图 5(b)为本文并行实时处理算法解算的轨迹, 可以看出在某些情况下常规算法会出现“丢点”甚至“乱点”等情况, 主要原因便是在解算过程中丢失了实际的水声信息, 或者将本该是 LFM 信号错判成 CW 信号, 出现定位偏差。本文算法允许一块数据拥有多重属性, 并在匹配过程中进行冗余解算, 实时获得水下目标的真实轨迹。

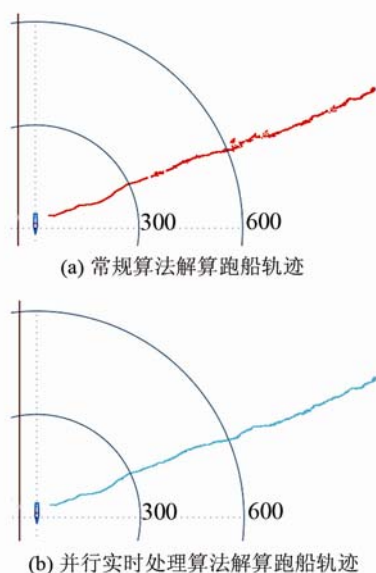


图 5 跟踪轨迹对比图

Fig.5 Comparison of tracking trajectories from the two different algorithms

4 结 论

本文在分析实际跑船试验数据的基础上, 针对

船载水声定位系统的特点, 改进了常规水声定位系统的信号处理算法, 提出了一种并行实时处理算法。该算法充分利用了数字信号处理器的流水线并行处理能力, 为每块数据赋予多重可能的属性, 最后利用获得的冗余数据, 采用滤波方式获得更加准确的弹道轨迹。试验结果证明, 该算法更为准确和可靠。目前该算法已成功应用于某型船载式水声定位系统中, 克服了常规算法的不足, 取得了良好效果。

该算法具有更广泛的适应性, 不仅适应船载式机动性强的水声定位系统, 又能兼容常规水声定位系统, 经过扩充和改进还可应用在相类似的信号处理领域, 具有较高的工程应用价值。

参 考 文 献

- [1] 田坦. 水下定位与导航技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
TIAN Tan. Underwater positioning and navigation technology[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2007.
- [2] 任绪科. 水下运动目标同步测距理论与实现[D]. 西安: 西北工业大学, 2005.
REN Xuke. Underwater moving target synchronization ranging theory and realization[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2005.
- [3] 周德善, 李志舜, 朱邦元. 鱼雷自导技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
ZHOU Deshan, LI Zhishun, ZHU Bangyuan. Torpedo homing technology[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2009.
- [4] 徐鹏飞. 水下目标声探测技术的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005.
XU Pengfei. The research of underwater target acoustic detection technology[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2005.
- [5] 姚山峰, 曾安军, 严航, 等. 基于多重累积相关的 LFM 脉冲信号实时检测算法[J]. 电讯技术, 2011, 51(5): 71-76.
YAO Shanfeng, ZENG Anjun, YAN Hang, et al. Real-time detection of LFM pulse signal based on cumulate-correlation[J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51(5): 71-76.