

水声对抗声学仿真系统关键技术

褚福照, 黄建国, 张群飞, 王百合

(西北工业大学航海学院, 西安 710072)

摘要: 水声对抗声学仿真技术以其对水下作战环境及参战实体主要声学过程的高逼真度模拟, 已经成为研究水下武器系统战技术性能、使用策略以及进行试验方案论证的重要技术手段。在对水下作战环境及其声学过程进行深入分析的基础上, 提出了水声对抗声学仿真系统中数据交互、信号生成等关键技术的设计方案, 给出了主要声学信号的数学模型, 并对水声对抗过程进行了仿真。仿真结果表明该方案在保证仿真精度的基础上能显著提高仿真的实时性。

关键词: 水声对抗; 系统仿真; 数据交互

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2008)-06-0828-04

Key technology of underwater acoustical warfare simulation system

CHU Fu-zhao, HUANG Jian-guo, ZHANG Qun-fei, WANG Bai-he

(College of Marine, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Acoustical warfare simulation is an important method to study the performance and operational principle of the underwater weaponry. Based on the study of the underwater combating environment and main acoustic process, the scheme of the data interaction and signal generation in the acoustical warfare simulation system are presented. The mathematic models of main acoustic signals are given and verified. Finally, the simulation experiment of the acoustical warfare process is used to validate that the scheme can obviously improve the real-time performance of the simulation and meantime keep the precision.

Key words: underwater acoustical warfare; system simulation; data interaction

1 引 言

随着系统仿真技术的发展及大规模应用, 在复杂巨系统中应用仿真技术对各功能组件的性能及使用策略进行研究已经成为现代武器系统研究中的重要技术手段。水声对抗仿真研究近年来取得了长足进展, 相继出现了一批具有较强理论研究及实用价值的仿真系统^[1-3], 使水声对抗的仿真研究跨上了一个新的台阶。然而, 如何在仿真实时性及精确性上取得合理的平衡一直是困扰水声对抗仿真研究的一个技术难题。

本文在文献[4]中提出的“仿真合成环境”和“信号处理异地化”的基础上, 针对仿真中出现的技术难

题, 提出了水声对抗仿真系统中自导与对抗器材节点数据交互、信号生成等关键技术的设计方案, 给出了按照传递参数生成回波信号及噪声信号的数学模型, 在保证仿真精度的前提下显著提高了仿真的实时性。

2 水声对抗声学仿真系统^[5]

水声对抗声学仿真系统是为进行水声对抗器材性能研究、试验方案论证及试验结果分析而专门研制的能够充分体现水下作战过程的专用仿真系统, 共由系统管理节点等 8 个节点组成, 其组成框图如图 1 所示。

在图 1 所示的仿真系统中, 系统管理节点主要负责整个系统时序管理及节拍推进; 数据库节点负责存储各参演实体的静态数据; 攻、防节点负责攻击及防御方载体的运动学解算; 自导节点负责水下航行器自导系统声学探测过程的解算及弹道控制; 海

收稿日期: 2007-11-29; 修回日期: 2008-03-01

作者简介: 褚福照 (1979-), 男, 山东枣庄人, 博士研究生, 研究方向为自导信号处理, 系统仿真。

通讯作者: 褚福照, E-mail: chufuzhao@yahoo.cn

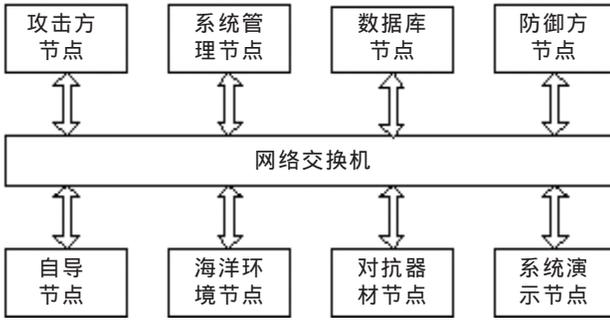


图 1 水声对抗声学仿真系统框图

Fig.1 Frame of underwater acoustical warfare simulation system

洋环境节点按照相应的水声信道模型计算系统中所有涉及声传播过程的相关参数；对抗器材节点按照所使用的具体对抗器材的参数完成对自导发射信号的探测并产生相应的回波信号（声诱饵）或直接产生干扰信号（噪声干扰器）；系统演示节点负责对整个水下作战过程的三维显示。可以看出，决定整个系统能否实时运行的关键在于系统声学模型计算以及自导节点与对抗器材节点大量数据交互的实时性。

3 数据交互方案

自导节点与对抗器材节点是仿真系统中耗资计算及网络资源最多的两个节点，它们之间的数据交互效率直接影响到整个仿真系统运行的实时性。在声学仿真中，自导节点需要向对抗器材节点传递的数据为自导发射信号序列，而对抗器材节点需要向自导节点传递的数据包括模拟舰艇亮点的回波信号序列以及干扰信号序列。并且，舰艇在发现受到攻击时通常会释放多个诱饵对自导进行诱骗，即在仿真系统中可能出现多个对抗器材同时向自导节点传输数据的情况，更加剧了网络的负担。

为提高整个系统运行的实时性，本文提出了自导与对抗器材节点进行数据交互的设计方案。自导与对抗器材节点数据交互示意图如图 2 所示。

图 2 中自导节点与对抗器材节点之间不再交互数据序列，而是传递相关的参数。而后利用接收到的参数在本地产生数据序列，将网络数据传输的压力转化为本地计算任务，而本地计算可以利用多线程技术得到解决。以自导发射频率 30kHz、周期 2.5s 为例，在一个周期内自导节点和对抗器材节点需要交互的数据总和为

$$N_0=3000 \times 2.5 \times 2=150000 \quad (1)$$

而采用参数传递方式时交互数据总和为

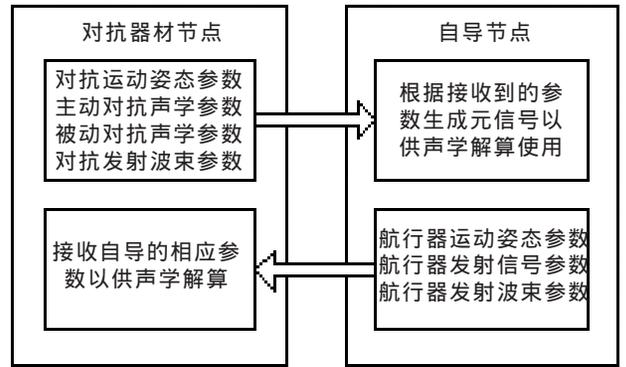


图 2 自导与对抗器材节点数据交互框图

Fig.2 Data interaction between homing system and acoustical decoy

$$N_1 = \text{对抗及航行器姿态参数}(8 \times 2) + \text{对抗声学参数}(25) + \text{对抗及航行器发射波束参数}(8 \times 2) + \text{航行器发射信号参数}(4) = 61 \quad (2)$$

其中每一个数据均为 32 位浮点数。可见，通过参数传递的方式可以将自导节点与对抗器材节点的网络传输数据量降低 4 个量级，显著提高了仿真的实时性。

4 信号模型

4.1 回波模型

回波序列是由目标反射自导发射信号或声诱饵模拟舰艇回波特性而产生的，仿真系统中采用多亮点模型^[68]来产生目标回波序列，利用声呐方程来计算回波强度。

接收基阵第 m 号阵元接收到的多个目标多个亮点的回波序列可表示为

$$x_m(t) = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^p b_{ji} \cdot s(t - \tau_{mji}) \cdot \cos \{ W_{mji}(t) + 2\pi f_d(t)(t - \tau_{mji}) - \Psi_{ji} \} \quad (3)$$

其中

$$W_{mji}(t) = 2\pi f_0(t - \tau_{mji}) - \frac{2\pi}{\lambda} (\mathbf{r}_m \cdot \mathbf{e}_{ji}) - \pi W(t - \tau_{mji}) + \frac{\pi W}{T} (t - \tau_{mji})^2 \quad (4)$$

在式(3)中，阵元的坐标为 (x_m, y_m, z_m) ，用矢量表示为 \mathbf{r}_m ，参考点为基阵声学中心 $O(0, 0, 0)$ 点； k 表示目标数； p 表示亮点数； b_{ji} 表示第 j 个目标的第 i 个亮点的反射系数； $s(t)$ 表示发射信号的包络（实包络）； τ_{mji} 表示声波照射到第 j 个目标的第 i 个亮点后再反射到 m 阵元所经历的时延； $W_{mji}(t)$ 表示声波照射到第 j 个目标的第 i 个亮点后再反射到 m 阵元的角频率变化量； $f_d(t)$ 表示多普勒频移； Ψ_{ji} 表示第 j 个目标的第

i 个亮点回波的随机相移,在 $0\sim 360^\circ$ 范围内均匀分布。

$$\tau_{mji}=2\cdot r_{ji}/c-\Delta\tau_{mji} \quad (5)$$

在式(5)中

$$\begin{aligned} \Delta\tau_{mji} &= \mathbf{r}_m \cdot \mathbf{e}_{ji} / c \\ &= (x_m \cos\beta \cos\alpha + y_m \cos\beta \sin\alpha + z_m \sin\beta) / c \end{aligned} \quad (6)$$

在式(4)、(5)中, f_0 为发射信号中心频率; W 为线性调频信号带宽,单频信号可视 W 等于 0; T 为发射信号脉冲宽度; r_{ji} 表示第 j 个目标的第 i 个亮点到基阵参考点 O 的距离; c 表示声波在水中的传播速度; $\Delta\tau_{mji}$ 表示平面波从阵元 m 到基阵参考点 O 的时延; \mathbf{e}_{ji} 为回波入射方向的单位矢量,表示第 j 个目标的第 i 个亮点的方位,若用角度表示,则 α 表示入射方向在水平面的投影与航行器轴线的夹角, β 表示入射方向与水平面的夹角,如图 3 所示。

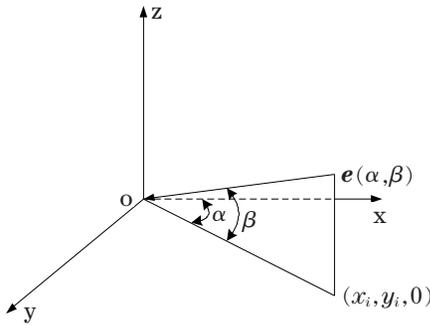


图 3 回波入射方向单位矢量示意图

Fig.3 Unit-vector of echo arrival

利用对抗器材传递的参数和回波模型生成的一个周期内 5 元线列阵上的 5 个亮点回波序列如图 4 所示。

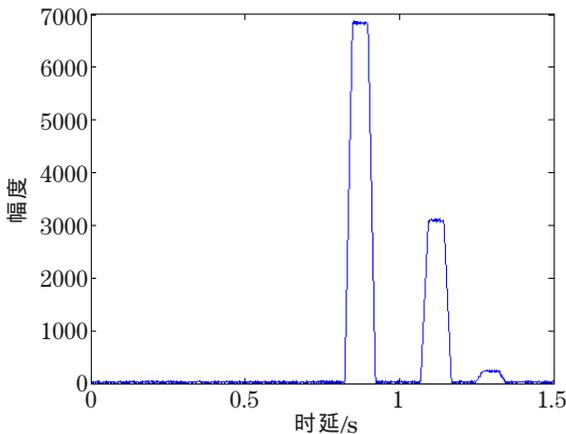


图 4 3 亮点回波信号图

Fig.4 3 Highlights of echo signal sequence

4.2 噪声模型

噪声干扰器产生的干扰噪声由低频和高频部分组成,其中低频部分用于干扰舰艇声呐,高频部分用于干扰航行器自导系统,这里仅考虑后者。由于自导系统在接收信号时首先要进行滤波处理,故仿真系统

中采用将白噪声通过低通滤波器的方法来产生所需的噪声序列。

按照对抗器材传递的参数和噪声模型产生的一个周期内 5 元线列阵上的噪声信号如图 5 所示。

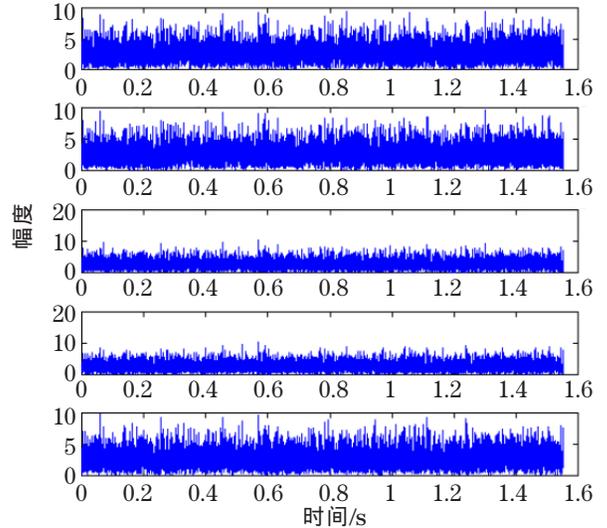


图 5 噪声信号图

Fig.5 Noise signal sequence

5 仿真实验

应用数据交互方案及回波和噪声模型,在水声对抗声学仿真系统中进行了仿真实验验证。结果表明,数据交互方案显著改善了仿真系统的实时性,所采用的模型准确表现了信号特征。在 3 目标(1 个真实目标和 2 个对抗器材)条件下的 5000 次统计仿真实测时间如表 1 所示。

仿真系统运行的全弹道结果如图 6 所示。

表 1 统计仿真实测时间表

Table 1 Statistic simulation time

	网络占用时间 一个自导周期对应时间	
	/ms	/ms
数据传递方案	319.37	6102.72
本方案	0.025	4513.63

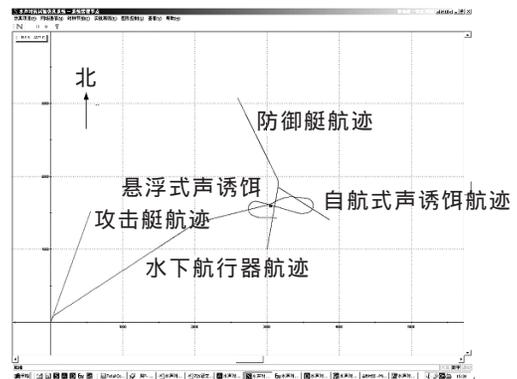


图 6 仿真实验全弹道图

Fig.6 Platform of simulation

在图6所示的仿真实例中,横轴和纵轴分别指向大地坐标系的正东和正北方向,单位为m。攻击艇初始位置在坐标原点,航向 20° ,航速10kn;防御艇初始位置为(3000,1000),航向 10° ,航速10kn。攻击艇在距防御艇3000m处发射水下航行器对目标进行攻击。防御艇在航行器距离本艇1500m时左舷发射悬浮式声诱饵,距离700m时右舷发射自航式声诱饵并进行加速规避。航行器首先受到悬浮式声诱饵的诱骗,穿过诱饵后又自航式声诱饵诱骗而偏离航向。自此,航行器陷入两个对抗器材组成的陷阱中而真实目标得以逃离。

6 结 论

本文针对水声对抗声学仿真系统中自导节点与对抗器材节点数据传输量过大而影响仿真实时性的问题,提出了采用参数传递方式进行数据交互的设计方案,并给出了按照此方案进行回波及噪声信号生成的数学模型,仿真结果表明在保证仿真精度的前提下采用数据交互方案可显著改善仿真的实时性,提高仿真效率。

参 考 文 献

- [1] 董阳泽,刘平香,孙仲阜,等.声诱饵仿真系统中的关键技术[J].声学技术,2003,22(2):108-112.
DONG Yangze, LIU Pingxiang, SUN Zhongfu, et al. Key technologies in underwater acoustics decoy simulation systems[J]. Technical Acoustics, 2003, 22(2): 108-112.
- [2] 孙仲阜.水声对抗系统中声诱饵仿真研究[J].声学技术,2003,

22(2): 113-116.

SUN Zhongfu. Acoustical decoy simulation using underwater acoustical warfare simulation system[J]. Technical Acoustics, 2003, 22(2): 113-116.

- [3] 吴宇,康凤举,倪新尧,等.一种鱼雷武器分布交互仿真系统的设计与实现[J].舰船电子工程,2003,5:65-68.
WU Yu, KANG Fengju, NI Xingyao, et al. Design and application of torpedo simulation system based on DIS[J]. Electrical Engineering of Ship, 2003, (5): 65-68.
- [4] 董阳泽,刘平香,姚蓝.水声对抗仿真系统研究的新思路及其应用[J].计算机工程与科学,2005,27(7):88-90.
DONG Yangze, LIU Pingxiang, YAO Lan. New ideas for the underwater acoustic warfare simulation system and their applications[J]. Computer Engineering and Science, 2005, 27(7): 88-90.
- [5] 王新晓,黄建国,闫伟,等.基于DIS的水声对抗声学仿真系统设计[J].系统仿真学报,2005,17(11):2645-2648.
WANG Xinxiao, HUANG Jianguo, YAN Wei, et al. Design of DIS-based underwater acoustic countermeasure simulation system[J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(11): 2645-2648.
- [6] Martin Almgren. Acoustic target strength prediction of underwater object[A]. UDT'97[C]. Germany.
- [7] 姜永珉,冯海泓,郝新亚,等.水下目标二维亮点分布研究[J].声学学报,1997,22(1):79-86.
JIANG Yongmin, FENG Haihong, HAO Xinya, et al. A study on 2-dimensional highlight distribution of underwater target[J]. ACTA ACUSTICA, 1997, 22(1): 79-86.
- [8] 王新晓,黄建国,张群飞,等.基于复包络的目标回波信号高效仿真方法[J].系统仿真学报,2005,17(12):2852-2854.
WANG Xinxiao, HUANG Jianguo, ZHANG Qunfei, et al. Efficient simulation method of underwater target echo based on complex envelopes[J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(12): 2852-2854.
- [9] 伯迪克 W. S.. 水声系统分析[M].北京:海洋出版社,1992:188-191.
Burdic W S. Underwater Acoustic System Analysis[M]. Beijing: Ocean Press, 1992: 188-191.