

# 宽带多途信号仿真

朱 明, 毛卫宁

(东南大学无线电工程系, 南京, 210096)

摘要: 文章介绍宽带多途信号软件仿真的实现方法。通过设计一个 FIR 滤波器拟合指定的目标信号功率谱, 产生水下目标辐射噪声信号; 再结合多途海洋信道模型, 得到经过多途信道传输的接收信号。该方法实现简单, 可以仿真具有一定频谱特性的水下运动目标的接收信号。所产生的仿真信号可用于声纳信号处理等方面的研究工作。

关键词: 被动声纳; 仿真; 多途信号

中图分类号: TB56 文献标识码: A 文章编号: 1000-3630(2005)01-0010-04

## Simulation of signal in multipath channel

ZHU Ming MAO Weining

(Department of Radio Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract** This paper introduces a simple method for simulating broadband multipath signals. Underwater target radiation noise is generated with an FIR filter that imitates the target radiation noise power spectrum, and produces broadband multipath signals using a multipath channel. Simulation signals produced by this software can be used in research such as passive sonar signal processing etc.

**Key words** passive sonar simulation multipath signal

## 1 引 言

通过实际的海上试验检验声纳系统性能, 过程复杂、费用昂贵, 而且由于海洋环境的多变性, 试验环境难以控制, 常常无法得到确定的试验结论。因此有必要利用仿真信号测试声纳系统的性能。尽管仿真信号不能完全取代实际的试验信号, 但是由于仿真信号容易产生和控制, 具有一定的逼真度, 因此在研究工作中被广泛采用。

声纳仿真信号的产生一直是一个比较受关注的问题。利用线性预测技术, 以自回归 (AR) 模型去拟合指定功率谱的方法, 可以产生目标辐射噪声信号。但 AR 模型的建立比较复杂, 计算量大, 且存在稳定性和是否可实现的问题<sup>[1]</sup>。本文介绍了一种比较简单的宽带多途信号的仿真方法。它通过设计一个 FIR 滤波器去拟合目标辐射噪声的功率谱, 进而产生目标辐射噪声信号, 同样的方法可得到环境噪声

信号, 再结合多途海洋信道模型, 得到经过多途信道传输的信号。

## 2 多途信号仿真

### 2.1 海洋信道模型

本文给出的海洋信道模型是基于射线声学理论建立的, 两点间的信道传输函数可表示为<sup>[2]</sup>

$$H(f) = \sum_i H_i(f)$$

其中

$$H_i(f) = \begin{cases} C_{RT, i} G_i \exp(-i2\pi f \tau_i) \exp\{-[h(10)/20]A_i f\}, & f \geq 0 \\ C_{RT, i}^* G_i \exp(-i2\pi f \tau_i) \exp\{+[h(10)/20]A_i f\}, & f < 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中  $H_i(f)$  为第  $i$  根声线的传输函数,  $\tau_i$ ,  $C_{RT, i}$ ,  $G_i$ ,  $A_i$  分别为第  $i$  根声线的传播时间、沿声线轨迹累积的复合反射传输系数、几何扩展损失和海底衰减因子 (单位: dB/MHz, 仅与频率有关)。这些特征量在给定两点位置关系、海洋环境参数和声速分布的情况下, 可由射线声学理论进行计算。

### 2.2 噪声型滤波器的设计

产生具有特定频谱特性的宽带噪声信号的关键是设计一个频响与该信号频谱特性一致的带通滤波器, 根据数字信号处理理论, 该滤波器可由频率采样法设计得到, 设计流程如图 1 所示。首先, 根据所需的噪声类型 (如鱼雷、舰艇、海洋环境噪声等) 从噪声样本数据库中选取合适的噪声样本信号做 FFT 变换得到噪声信号幅度谱, 对该幅度谱进行频谱拟合获得拟合噪声谱  $H_d(f)$ , 再利用频率采样法设计得到滤波器频响  $H(k)$ , 对  $H(k)$  做 IFFT 变换得  $h(n)$ , 最后对  $h(n)$  做加窗平滑即获得所要的噪声型滤波器脉冲响应  $hw(n)$ 。让白噪声通过该滤波器即可得到具有一定频谱特性的噪声信号, 该噪声信号可表示为:

$$y(n) = \sum_k s(k)hw(n-k) \quad (2)$$

式中  $s(k)$  为高斯白噪声,  $hw(n)$  为噪声型滤波器的脉冲响应。

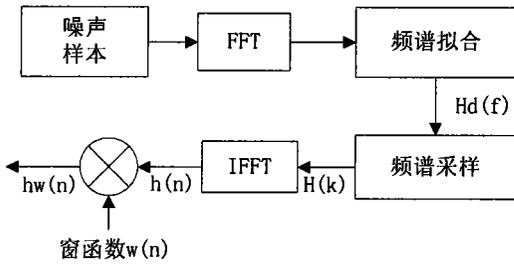


图 1 噪声型滤波器设计流程图

### 2.3 环境噪声仿真

运用 2.2 节中介绍的方法, 设计一个频响具有环境噪声谱形状的滤波器, 让白噪声通过该滤波器即可得到所需环境噪声信号。环境噪声的大小由环境噪声级决定, 环境噪声级为<sup>[3]</sup>

$$NL = 10 \lg f^{-1.7} + 6S + 55 \quad (3)$$

它表示海况等级为  $S$  ( $S = 0, 1, 2, \dots, 9$ ) 时, 环境噪声在频率  $f$  (单位: kHz) 上的谱级。

### 2.4 目标辐射噪声信号仿真

目标辐射噪声  $y(n)$  由被调制的连续谱信号 ( $1 + \sum_i b_i \cos(2\pi f_i n)$ )  $x(n)$  和线谱信号  $x_l(n)$  构成<sup>[3]</sup>, 可表示为:

$$y(n) = \left( 1 + \sum_i b_i \cos(2\pi f_i n) \right) x(n) + x_l(n) \quad (4)$$

其中

$$x_l(n) = \sum_j A_{l_j} \cos(2\pi f_{l_j} n) \quad (5)$$

$b_i, f_i$  分别为连续谱的第  $i$  个调制分量的调制深度和调制频率,  $A_{l_j}$  和  $f_{l_j}$  为第  $j$  个线谱分量的幅度和频

率。图 2 描述了目标辐射噪声信号的产生流程。方差为  $\sigma_s^2$  的高斯白噪声信号  $S(n)$  通过一个辐射噪声型滤波器, 该滤波器的脉冲响应为  $h_1(n)$  (设计方法同 2.2 节), 得到目标辐射噪声的平稳连续谱信号  $x(n)$ ,  $x(n)$  加上它的各调制分量合成目标辐射噪声的连续谱信号, 再加上目标辐射噪声的各线谱分量即可得到目标辐射信号  $y(n)$ 。

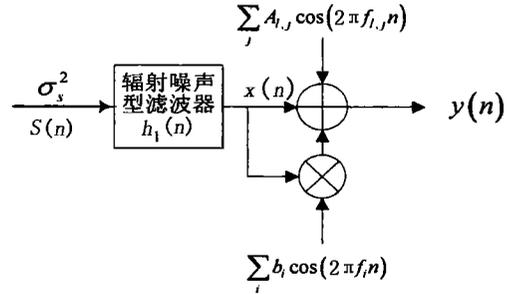


图 2 目标辐射噪声的产生

#### (1) 目标辐射噪声连续谱信号的产生

如图 3 所示目标辐射噪声的平稳连续谱信号  $x(n)$  经过海洋信道到达接收点, 方差记为  $\sigma_c^2$ , 海洋信道的冲击响应记为  $h_2(n)$  (可由式 (1) 得到)。根据数字信号处理理论可知输入白噪声信号  $S(n)$  的方差为:

$$\sigma_s^2 = \sigma_c^2 / \sum_{i=0}^{N-1} |h_c(n)|^2 \quad (6)$$

其中  $h_c(n) = h_1(n) * h_2(n)$ , 又由式 (4) 得到目标辐射噪声的频域表达式为:

$$Y(k) = [X(k) + X_b(k)] + X_l(k) \quad (7)$$

式中  $X(k), X_b(k), X_l(k)$  分别对应  $x(n), \sum_i b_i \cos(2\pi f_i n), x_l(n)$  的频域表达式, 则接收端基元信号的总功率为:

$$\sigma_{att}^2 = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_k |H_2(k)|^2 |Y(k)|^2 \quad (8)$$

式中  $N_1$  为信号长度,  $N_2$  为 FFT 的快构长度,  $H_2(k)$  为海洋信道的频响。利用输入白噪声本身的不相关性, 以及白噪声与信号的不相关性, 得:

$$\sigma_{att}^2 = \left[ 1 + \sum_i \frac{b_i^2}{2} \right] \frac{1}{N_1 N_2} \sum_k |H_2(k)|^2 |X(k)|^2 + \frac{1}{N_1 N_2} \sum_k |H_2(k)|^2 |X_l(k)|^2 = \left[ 1 + \sum_i \frac{b_i^2}{2} \right] \sigma_c^2 + \sum_j \sigma_{l_j}^2 \quad (9)$$

式中  $\sigma_{l_j}^2$  为接收端第  $i$  根线谱信号的方差。定义总信噪比 SNR 和线谱信噪比  $SNR_i$  分别为:

$$SNR = 10 \lg \frac{\sigma_{all}^2}{\sigma_N^2}, \quad SNR_{i,j} = 10 \lg \frac{\sigma_{ij}^2}{\sigma_c^2} \quad (10)$$

代入 (9) 式, 可求得  $\sigma_c^2$ 。

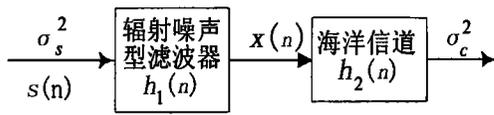


图 3 经过信道传输的平稳连续谱信号

(2) 目标辐射噪声线谱信号的产生

如图 4 所示, 单频线谱信号经过信道传输后幅度和相位都将发生变化, 并且当目标相对于本船运动时, 还存在多普勒频移和多普勒展宽。图 4 中 ‘\*’ 表示卷积。考虑到同一信号在时域和频域中的能量相等<sup>[4]</sup>, 可以得到线谱信号的幅度为:

$$A_l = \frac{\sigma_c^2 10^{SNR_l/10} N_1 N_2}{\sqrt{\sum_k |X_l(k)|^2 |H_2(k)|^2}} \quad (11)$$

式中  $X_l(k)$  为单位余弦信号的傅里叶变换,  $H_2(k)$  为海洋信道的传输函数,  $N_1, N_2$  的定义见式 (8),  $SNR_l$  为线谱信噪比, 它的定义见式 (10)。



图 4 经过信道传输的线谱信号

2.5 多途信号仿真

若接收点对应的海洋信道滤波器脉冲响应为  $h$  ( $n$ ), 环境噪声为  $n(n)$ , 目标辐射噪声为  $y(n)$  (定义同 (4) 式), 则接收信号为:

$$r(n) = y(n) * h(n) + n(n) \quad (12)$$

其中 ‘\*’ 表示卷积。多途信号的仿真流程图如图 5 所示。

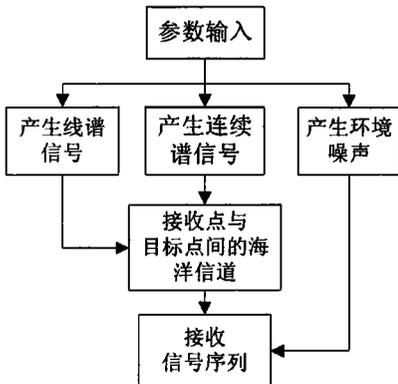


图 5 宽带多途信号仿真流程图

3 仿真结果

本仿真软件需要输入的参数有目标类型、目标运动参数、信号参数、海洋环境参数和信噪比等。图 6 所示仿真中设定接收信号总信噪比为 24dB。线谱信号频率为 300Hz, 信噪比为 -12dB。调制谱的调制频率为 20Hz, 调制深度为 0.2。其中图 6(a) 为目标辐射噪声信号的频谱, 图 6(b) 为接收点信号频谱, 对比两图可见, 海洋信道对不同频率的信号产生了不同的衰减。

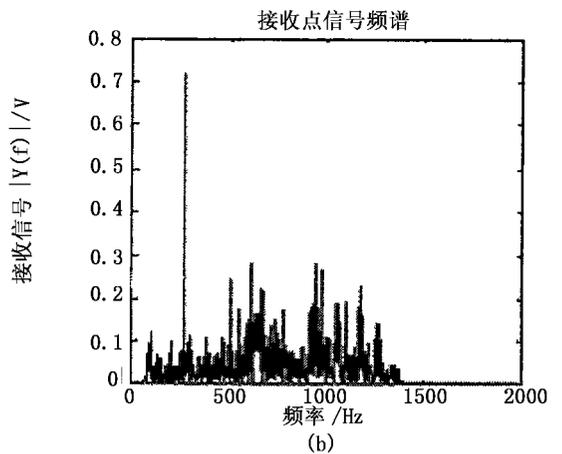
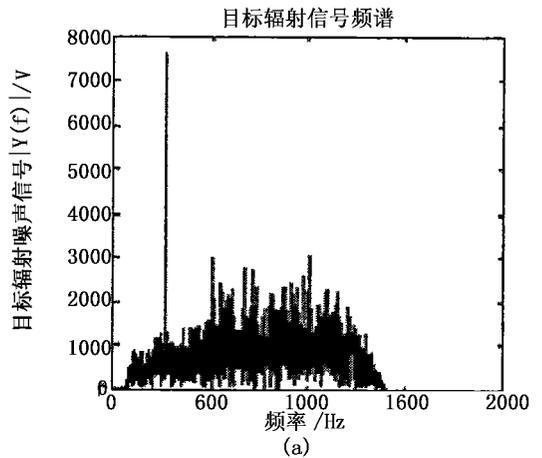


图 6 目标信号与接收点信号频谱对比图

4 结论

本文介绍了一种简单的宽带多途信号的仿真方法。仿真结果表明, 所产生的信号具有一定的多途信号的特点, 能够反映海洋信道对信号传输的影响。该方法实现简单, 可以仿真具有一定频谱特性的水下运动目标, 为声纳信号处理等方面的进一步研究

提供了基础。

## 参 考 文 献

- [1] 张明敏, 王平波, 谈亮. 拖拽声纳的本舰噪声仿真[J]. 系统仿真学报, 2003 15(3): 426-446
- [2] 李永平. 方位-时延 TMA 算法研究[D]. 南京: 东南大

学硕士生学位论文, 2003 4-16

- [3] 刘孟庵, 连立民. 水声工程[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2002
- [4] 吴镇杨. 数字信号处理的原理与实现[M]. 南京: 东南大学出版社. 2002 40-45

## 学会信息

# 上海市声学学会召开理事会

上海市声学学会于 2005 年 1 月 14 日在中科院东海站会议室召开六届理事会第四次会议, 到会理事 18 人, 学会理事长钱梦, 副理事长姚兰、顾亚平、胡兵等出席。

会议首先听取了学会年度工作总结, 其次讨论了今年工作打算, 重点讨论学会换届工作计划, 讨论并通过了换届工作领导小组提出的新理事候选人名单和各专业委员会提出的各专业委员会委员名单。

### 一、关于 2004 年工作总结

#### 1 学术工作: 2004 年共举办学术会议 5 次

2004 年 6 月 25 日在上海白玉兰宾馆召开国内“新型吸声材料性能及应用技术交流会”。北京、广州、深圳等多家合资单位参加。

2004 年 9 月 9 日在同济大学由加拿大国家研究院首席研究员 *George Wang* 博士作题为“国家标准研究所的声学标准化研究”的报告。

2004 年 10 月 14 日在上海东亚富豪酒家举行“现代扩声系统优化设计”研讨会, 并结合大型实景歌剧《卡门》演出, 介绍并演示了上海八万人体育场的扩声系统。

2004 年 10 月 20 日在上海交大举行上海“工业超声学术报告会”。

2004 年 11 月 20 日, 在上海科协第二届学术年会上, 举办专题“超声医学研讨会暨青年学术论坛”报告会。

#### 2 组织建设

鉴于 2005 年 11 月学会本届理事会任届期满, 于 2004 年 10 月 29 - 30 日召开上海市声学学会“换届工作领导小组”第一次会议, 酝酿提名新理事候选人名单并上报市科协审核。同时, 各专业委员会也酝酿提名各专业委员会委员名单。

#### 3 技术咨询

2004 年完成技术及委托咨询 124 项, 学会直接收入近五万元。

#### 4 编辑出版

年初, 召开《声学技术》四个主办单位负责人联席会议, 落实主办单位经费分配, 充实编委会并首次增加外地编委。

#### 5 日常工作

参加上海市社团年检, 合格。

参加市科协“星级学会”评估, 被评为 1 星级学会, 授予证书并获表彰。

### 二、2005 年计划

#### 1 学术工作:

2005 年 8 月将在北京举办国际超声年会 (*WCUUI-05*), 学会各单位拟积极准备高质量论文参加。

结合换届工作, 召开会员代表大会, 举行大型学术报告会。

各专业委员会配合换届工作, 举办相应学术活动。

#### 2 换届工作安排:

2005 年 1 月召开理事会讨论新理事候选人名单;

做好召开会员代表大会的准备工作, 包括印制在职会员名册等。

2005 年 7 月进行学会财务审计。

2005 年 8 月召开理事会, 通过本届理事会工作总结, 讨论会员代表大会议程。

2005 年 9 月召开会员代表大会进行换届选举。

#### 3 境外会际工作: 继续发展与香港声学学会往来联系, 安排香港声学学会来访。

#### 4 咨询服务: 继续做好咨询服务, 增强学会活动经费的自筹能力。