

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1801980

一种基于成型滤波器的信号源补偿方法^{*}

王耀 范锡汶 马海锋 张维平 傅娜

(宁波明科机电有限公司 宁波 315000)

摘要: 针对主动声纳信号源输出信号畸变影响参数估计问题,提出了一种基于成型滤波器的信号源补偿方法。该方法首先求取信号源中功率放大器非线性变换传递函数;然后根据该传递函数构造成型滤波器;最后由成型滤波器对信号源生成信号进行补偿修正,得到未畸变的输出信号。理论分析和仿真结果表明,在仿真条件下,该方法可有效解决信号源输出信号畸变问题,提高信号源输出信号在主动声纳应用中的鲁棒性,使频带宽度估计准确率提高40%以上。

关键词: 主动声纳;信号源;非线性变换;信号畸变;成型滤波器

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

A compensation method of signal source based on the wave filter

Wang Yao Fan Xiwen Ma Haifeng Zhang Weiping Fu Na
(Ningbo Mingke Electromechatronics Co., Ltd., Ningbo 315000, China)

Abstract: For the problem of the signal distortion of active sonar signal source output signal, a compensation method of signal source based on the wave filter was proposed. First the nonlinear transfer function of power amplifier was acquired. Then the wave filter was constructed via the nonlinear transfer function. Finally, the output signal source signal without distortion was corrected according to the wave filter. Theoretical analysis and experimental results show that, under the condition of this paper experimental, the method can effectively solve the problem of the signal distortion of active sonar signal source output signal, improve the robust of signal source output signal in active sonar, and the estimation accuracy of frequency bandwidth is improved more than 40%.

Keywords: active sonar; signal source; nonlinear transfer; signal distortion; wave filter

0 引言

在主动声纳设备研制和应用中,信号源是不可缺少的重要组成部分^[1-3]。由于实际声纳辐射信号多样性、海洋信道时空多变性,对信号源输出信号的多样性、精确性和特殊性要求越来越高^[4-6]。信号源研制的关键因素之一在于任意波形信号的准确设计,只有生成准确的信号,才能依据该信号特征进行各种参数估计^[7-11]。然而由于信号源中功率放大器的非线性变换特性,导致其幅频特性在整个滤波频带内发生畸变^[12-13],如果不对信号源生成信号进行相应处理就直接送入到功率放大器输入端,势必会对后续参数估计形成一定影响,甚至会导致参数估计失败。

为了解决主动声纳信号源输出信号畸变影响参数估计问题,本文依据功率放大器非线性变换传递函数,提出一种基于成型滤波器的信号源补偿方法。该方法根据功率放大器非线性变换传递函数构造成型滤波器,然后由成型滤波

器对信号源生成信号进行补偿修正,可有效解决信号源输出信号畸变问题,提高信号源输出信号在主动声纳应用中的鲁棒性,在本文仿真条件下,使频带宽度估计准确率提高40%以上。

1 功率放大器传递函数

主动声纳中常用的功率放大器一般由电源模块、电流放大模块、变压器模块、阻抗匹配模块4大基本模块组成,其中电源模块将大功率的交流电整流为大功率的直流电;电流放大模块能根据外部输入小功率电压信号的幅度,将直流电源的输出功率转换为低压大电流的信号功率;变压器模块将电流放大后的低压大电流信号转换为高压小电流的信号;阻抗匹配模块在一定频带范围内,部分抵消掉换能器消耗的无功功率,将功率放大器输出的电功率尽可能加载到换能器的辐射阻抗上以产生大的声功率。本文所述功率放大器组成如图1所示。

收稿日期:2018-08-09

* 基金项目:国家自然科学基金(61501450)项目资助

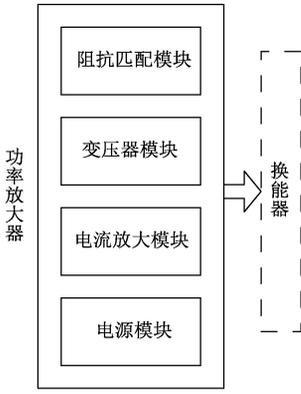


图 1 功率放大器组成

在实际应用中,功率放大器并不是一个线性化变换系统^[14-16],其电流、电压的非线性化变换会导致信号源输出信号幅度频率发生畸变。为了降低非线性变换传递函数 $H(f)$ 产生的影响,接下来本文将阐述如何提取该传递函数,以便解决功率放大器对信号源输出信号产生的畸变问题。

在功率放大器输入端输入已知的宽带信号 $X(f)$, $f \in [f_l, f_h]$,在功率放大器输出端提取功率放大器输出信号频谱 $Z(f)$, $f \in [f_l, f_h]$ 。根据卷积定理可知,功率放大器输出信号频谱是由输入信号频谱和功率放大器变换函数相乘所得,即:

$$Z(f) = X(f)H(f), f_l \leq f \leq f_h \quad (1)$$

式中: f_l, f_h 分别为所需频带上下限。

对式(1)做进一步变换可得:

$$H(f) = \frac{Z(f)}{X(f)}, f_l \leq f \leq f_h \quad (2)$$

为了平滑传递函数 $H(f)$, $f \in [f_l, f_h]$ 存在的抖动,本文采用 Kalman 滤波器对其进行光滑处理,避免其相应抖动对补偿后信号产生影响。

Kalman 滤波是一组以递推关系给出随机系统状态的最优滤波算法,根据观测数据自动改变系数并保证其同下一刻真实值均方误差最小,本文接下来采用 Kalman 滤波对功率放大器非线性变换传递函数 $H(f)$ 进行光滑处理。

由于所需滤波数据为一维非相关数据,其状态转移和观测方程模型可表示为式(3)。

$$\begin{cases} S(f) = S(f-1) + v(f) \\ Z(f) = S(f) + w(f) \end{cases}, f \in [f_l, f_h] \quad (3)$$

式中: $S(f) = H(f)$; $v(f)$ 和 $w(f)$ 分别为状态噪声和观测噪声,其协方差矩阵分别为 \mathbf{Q} 和 \mathbf{R} 。

Kalman 滤波方程可表示为:

$$\begin{cases} P(f) = P(f-1) + \mathbf{Q} \\ S(f) = P(f) + \mathbf{R} \\ K(f) = P(f)/S(f) \\ v(f) = Z(f) - Y(f-1) \\ Y(f) = Y(f-1) + K(f) \cdot v(f) \\ P(f) = (1 - K(f)) \cdot P(f) \end{cases}, f \in [f_l, f_h] \quad (4)$$

式中: $Y(f)$ 为光滑后功率放大器在不同频带间非线性变换传递函数。

2 基于成型滤波器信号源补偿方法

2.1 理论分析

为了降低功率放大器非线性变换传递函数对信号源输出信号产生的影响。接下来本文将阐述如何利用求取的功率放大器在不同频带间非线性变换传递函数,实现对信号源输出信号补偿修正。

具体实现步骤如下:

1)对信号源生成信号的时域信号 $s_m(t)$ 做快速傅里叶变换。

$$\begin{cases} S_{in}(f) = \text{FFT}(s_m(t)), & 1 \leq f \leq f_s \\ S_{in}(f_k) = 0, & f_k < f_l, f_k > f_h \end{cases} \quad (5)$$

式中: f_s 为系统采样频率; $\text{FFT}(\cdot)$ 为快速傅里叶变换函数。

2)对求取的功率放大器非线性变换函数按式(6)构造成型滤波器,然后利用构造所得成型滤波器按式(7)对 $s_m(t)$ 进行补偿,得到幅频特性补偿修正的信号 $s'_m(f)$ 。

$$H_p(f) = 1/Y(f), 1 \leq f \leq f_s \quad (6)$$

$$S'_{in}(f) = S_{in}(f)H_p(f), 1 \leq f \leq f_s \quad (7)$$

3)对信号 $s'_m(f)$ 做逆快速傅里叶变换,得到补偿修正后信号时域形式。

$$s'_m(t) = \text{IFFT}(S'_{in}(f)) \quad (8)$$

式中: $\text{IFFT}(\cdot)$ 为逆快速傅里叶变换函数。

此时,对 $s'_m(t)$ 进行功率变换输出,如式(9)所示,该输出信号即为实际所需幅频特性(所需频带内)平坦的信号。该现象如图 2 所示。

$$S'_{out}(f) = S'_{in}(f)H(f) = A \frac{H(f)}{Y(f)} = A \quad (9)$$

式中: A 功率放大器变换后信号幅度。

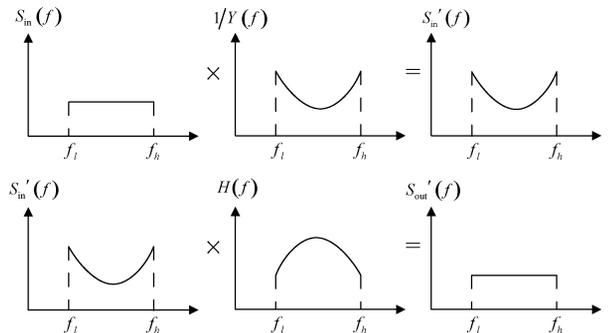


图 2 基于成型滤波器补偿的信号源输出信号幅频特性

2.2 仿真分析

为了说明本文方法的可行性,接下来进行如下数值仿真分析。

仿真中令模拟信号为频带 2~6 kHz 的线性调频信号,

信号和背景噪声谱级比为 15 dB,功率放大器谐振动点为 4 kHz,系统采样率为 50 kHz。图 3~6 分别所示为信号源生成原始信号,未经幅频修正信号源输出信号,经幅频修正后信号源生成信号和经幅频修正后信号源输出信号仿真结果。

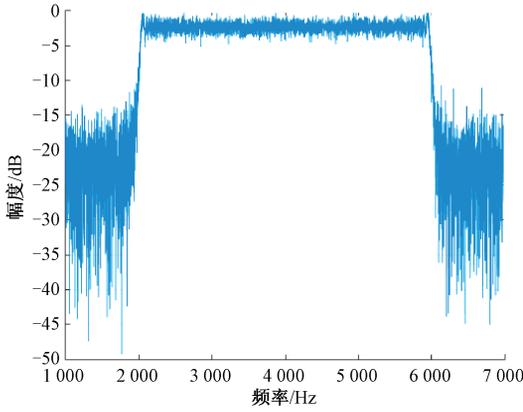


图 3 信号源生成原始信号 $S_{in}(f)$

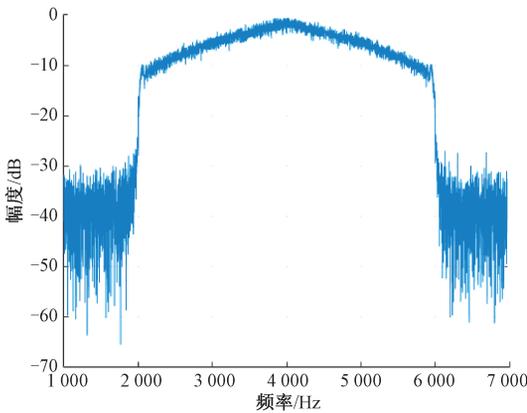


图 4 未经成型滤波补偿的输出信号 $S_{out}(f)$

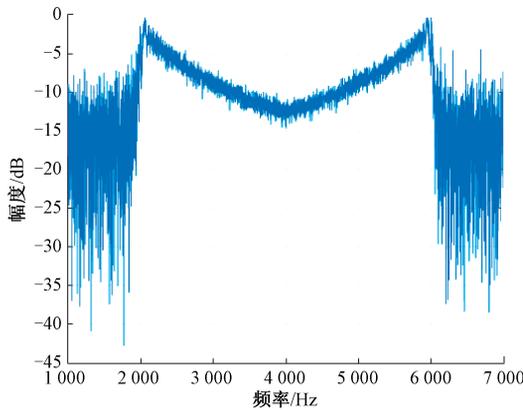


图 5 经成型滤波器补偿的生成信号 $S'_{in}(f)$

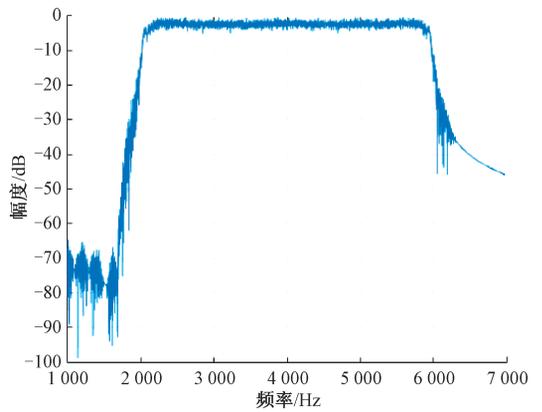


图 6 经成型滤波补偿的输出信号 $S'_{out}(f)$

输出信号畸变问题,为了进一步验证本文方法可有效解决信号源输出信号在主动声纳应用中的鲁棒性和参数估计准确率,按上述仿真条件进行 100 次独立统计分析。图 7~9 所示分别为信号源生成原始信号,未经幅频修正信号源输出信号和经幅频修正后信号源输出信号 LOFAR 图。图 10 和 11 所示为信号源输出信号带宽参数估计结果。表 1 所示为典型时刻由 2 种方法在 3 dB 处估计信号参数。

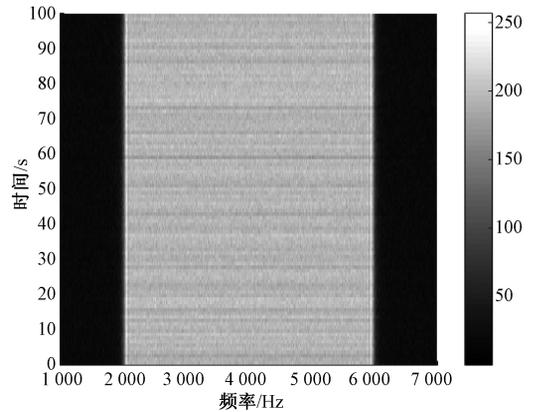


图 7 信号源生成原始信号 $S_{in}(f)$ LOFAR 图

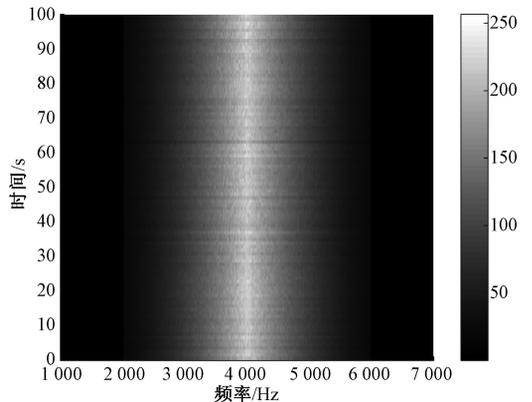


图 8 未经成型滤波补偿输出信号 $S_{out}(f)$ LOFAR 图

由仿真结果可知,本文方法可有效解决主动声纳信号源

表 1 参数估计值及准确率(预设带宽 4 000 Hz)

时间/s	未补偿 估计值/Hz	未补偿 准确率/%	补偿后 估计值/Hz	补偿后 准确率/%
10	2 220	55.5	3 965	99.13
20	2 315	57.88	3 967	99.17
30	2 314	57.85	3 969	99.22
40	2 274	56.85	3 967	99.17
50	2 264	56.6	3 960	99
60	2 295	57.38	3 966	99.15
70	2 236	55.9	3 968	99.2
80	2 236	55.9	3 972	99.3
90	2 261	56.52	3 966	99.15

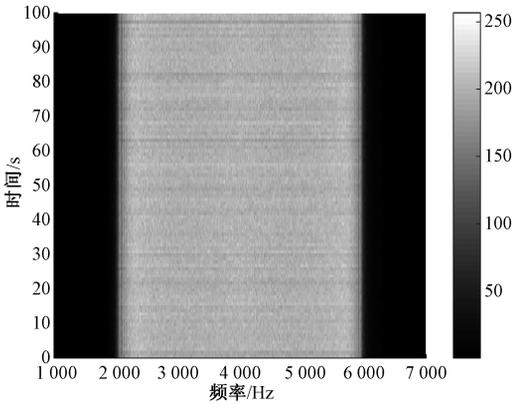
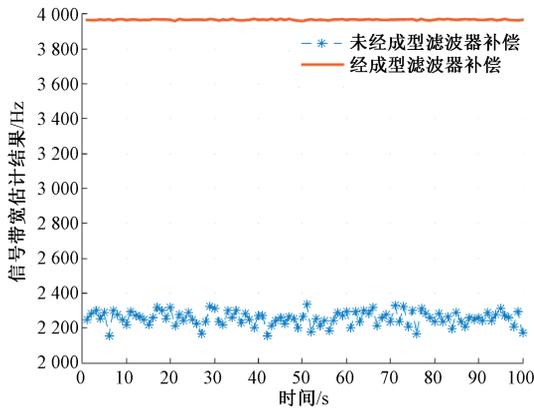
图 9 经成型滤波补偿输出信号 $S'_{out}(f)$ LOFAR 图

图 10 信号源输出信号带宽参数估计值

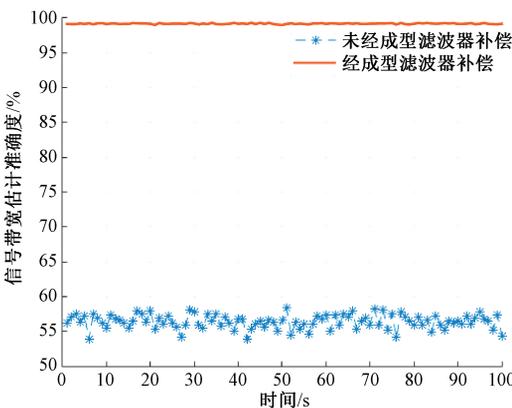


图 11 信号源输出信号带宽参数估计准确率

由图 7~11 可知,本文方法可有效解决信号源输出信号畸变问题,提高信号源输出信号在主动声纳应用中的鲁棒性和参数估计准确率。由表 1 可知,在本文仿真条件下,相比未经成型滤波器补偿方法输出信号,本文方法所输出信号频带宽带估计准确率得到 40% 以上的提高。

3 结 论

本文首先根据卷积定理,通过已知信号实现了对功率放大器非线性变换传递函数的求取;然后根据求得的非线性变换传递函数实现了成型滤波器构造;最后采用成型滤波器实现了对信号源生成信号补偿修正,解决了主动声纳信号源输出信号畸变问题,降低了信号源输出信号畸变对参数估计的影响,提高信号源输出信号在主动声纳应用中的鲁棒性和参数估计准确率。在本文仿真条件下,相比未经成型滤波器补偿方法,本文方法所得输出信号频带宽带估计准确率得到 40% 以上的提高。

经多次湖上和海上实验验证,该方法简单有效,可在不同的实验中很好地完成不同类型、不同功率的信号输出任务。

参考文献

- [1] 郑恩明,孙长瑜,余华兵,等.水声宽带任意信号源系统的自动操作[J].科技导报,2013,31(1):23-26.
- [2] 于海春,余华兵,孙长瑜,等.基于虚拟仪器技术的通用水声信号发射系统设计[J].应用声学,2009,28(2):116-120.
- [3] 李斌,尚超.基于虚拟仪器技术的多功能水声信号发生器[J].舰船电子工程,2013,33(2):155-157.
- [4] 冯冰.用于水声设备调试的多用信号源设计与实现[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2015.
- [5] 陈迪,刘旺锁,姚直象.基于 DDS 的声呐信号发生器设计与实现[J].国外电子测量技术,2012,31(5):74-76,84.
- [6] 张艳艳,饶炜.主动定向浮标信号发生器设计[J].舰船电子工程,2016,36(10):48-51.
- [7] 魏岳伦,岳庆英,齐庆堃,等.基于 Nios II 的 DDS 函数信号发生器[J].国外电子测量技术,2016,35(7):13-16.
- [8] 孙伟超,汪定国,吴忠德.基于 AD9910 的调频信号发生器设计[J].国外电子测量技术,2011,30(10):76-79.
- [9] 张占强,孟克其劳.基于 Proteus 的多波形信号发生器

- 仿真设计[J].电子测量技术,2013,36(3):15-19.
- [10] 董亚男,马俊,周泉,等.基于单片机的智能信号发生器设计与仿真[J].电子测量技术,2014,37(1):62-65,75.
- [11] 黄超,杨瑞明,杨广辉.任意信号发生器软件设计[J].现代电子技术,2008,33(10):177-179.
- [12] 卢苇,蓝宇.电磁式大功率水下超低频声源研究[J].哈尔滨工程大学学报,2011,32(7):877-883.
- [13] 张阳,雷开卓,张群飞,等.嵌入式水声功率放大器设计[J].计算机测量与控制,2015,23(12):4131-4132,4138.
- [14] 李响.高频宽带水声发射机的设计与实现[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2011.
- [15] 陈明杰.大功率低阻抗水声发射机的设计实现[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2012.

作者简介

王耀,1963年出生,工学学士、高级工程师,主要研究方向为电子产品及水声设备研发。

E-mail: mypaperioa@163.com

罗德与施瓦茨携手 Marvell 在业内率先完成 1000BASE-T1 所有物理层一致性测试

测试与测量专家罗德与施瓦茨和半导体制造商 Marvell 率先成功完成了 1000BASE-T1 所有物理层一致性测试用例的演示。至此,使用经过验证的 Marvell 芯片和罗德与施瓦茨的测试设备,所有 OEM、Tier2、系统集成商以及 Test House 均可搭建完全符合 1000BASE-T1 规范要求的车载以太网网络。

2019年1月9日,德国慕尼黑——目前所有主流汽车制造商均已将车载以太网作为车内通信的解决方案之一。该技术的优势在于更高的数据传输速率以及更低的成本。为了提供可靠的用于传输大量数据的车载以太网平台,测试并验证车载以太网芯片至关重要。

负责集成车载网络的工程师现在可以使用符合 1000BASE-T1 规范的芯片,利用测试与测量方案对车载以太网进行一致性、精确且符合规范的测量并生成测试报告。这将大大加快产品的研发进度并提高产品的可靠性。

作为车载以太网技术的领导者,Marvell 推出了业内第一款 1 000 Mbps 的物理层收发芯片,经过优化以满足车联网及自动驾驶所需的高带宽要求。当前汽车工业正受到电气化、驾乘分享以及自动驾驶等趋势的影响,而这些新技术引发了对更高带宽网络的需求。

Marvell 半导体公司副总裁兼汽车事业部总经理 Will Chu 说道:“Marvell 很高兴能够和罗德与施瓦茨合作,展示 88Q2112 对 IEEE 802.3bp 标准的符合性。该标准定义了轻质单对双绞线铜电缆上实现 1 000 Mbps 传输的物理层规范和管理参数。”

罗德与施瓦茨公司负责汽车以太网及信息娱乐技术的 Nik Dimitrakopoulos 博士说道:“我们很高兴与主流芯片供应商 Marvell 一起合作,成为业内首个成功完成所有 1000BASE-T1 PHY 测试用例的测试与测量供应商。这说明基于 R&S® RTO 示波器和 R&S® ZND 矢量网络分析仪的测试方案能够提供一致性、精确且可信赖的测试结果。我们将继续推动更快的汽车以太网发展。罗德与施瓦茨期待与 Marvell 等创新合作伙伴及客户密切合作,提供全功能的 1000BASE-T1 物理层一致性测试解决方案。”更多内容,请访问 <https://www.rohde-schwarz.com.cn>。