

两级放大反馈自动增益控制电路设计

吴剑明, 张小康, 黄身钦, 许肖梅

(厦门大学水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室, 福建厦门 361005)

摘要:设计了一种适用于移动水声通信接收系统的两级放大反馈自动增益控制电路。该电路采用初级放大—滤波—次级放大的信号调理机制, 反馈回路同时对两级放大电路进行增益控制, 使输出信号稳定在期望值附近, 能有效解决移动水声通信中由于收发端相对距离变化、声传播衰减、信道频率选择性衰落、收发端电路频率响应不均匀等因素引起的接收信号时域和频域起伏变化大的问题。海上试验表明: 该电路具有良好的幅度均衡性能, 能显著提高水声通信质量。

关键词:水声移动通信; 自动增益控制; 两级放大反馈

中图分类号: TP216 文献标识码: A 文章编号: 1002-1841(2016)08-0097-03

Design of Auto Gain Control Circuit with Two-stage Amplification Feedback

WU Jian-ming, ZHANG Xiao-kang, HUANG Shen-qin, XU Xiao-mei

(Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technology, Ministry of Education, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: An auto gain control (AGC) circuit with two-stage amplification feedback for the receivers of underwater acoustic mobile communication system was presented. The circuit uses the conditioning mechanism of primary amplification—filter—secondary amplification, and the feedback loop controls gains of the two stages amplifiers, making the output signal be stable near the dexpectations so as to effectively solve the problem of signal fluctuation in the time and frequency domains caused by the distance change between transmitter and receiver, sound propagation attenuation, frequency selective fading of underwater acoustics channel and the uneven frequency response of transmitting and receiving circuit. The sea test shows that the circuit has a good performance at amplitude equalization, and can greatly improve the quality of underwater acoustic communication.

Key words: underwater acoustic mobile communication; auto gain control; two-stage amplification feedback

0 引言

在各种通信系统中, 由发射功率、通信距离、信道衰减等因素引起的接收信号幅度强度变化范围大, 特别是移动水声通信系统受复杂水声信道特性的影响, 变化范围普遍为几十 dB, 超出了模数转换芯片限定的输入信号幅度范围。因此, 接收端常采用自动增益控制(auto gain control, AGC) 电路将信号幅度调整到限定的输入范围内, 保证输入信号过大时不会削波失真, 输入信号过小时不会丢失^[1-3]。目前, 自动增益控制电路主要有模拟和数字 2 种, 模拟增益控制在实时性、系统复杂性等方面有优势, 而数字增益控制在增益控制精度、噪声引入等方面有优势^[4-10]。

本文设计的自动增益控制电路属于模拟增益控制, 采用两级放大反馈回路有效提高了增益控制精度, 降低电路噪声, 通过海上现场试验验证了电路

性能。

1 电路结构介绍

两级放大反馈自动增益控制电路流程如图 1 所示。输入信号 V_i 依次通过初级放大电路、带通滤波器和次级放大电路后输出信号 V_o 。 V_o 峰值与期望输出峰值 V_{pp} 的比较结果用于调节初级、次级放大电路的增益 G_1, G_2 。与传统的自动增益控制电路相比, 该电路采用了初级放大—滤波—次级放大的信号调理机制, 且对两级放大电路进行双重联合增益控制, 不仅可以保证输入到带通滤波器的信号幅度足以克服滤波器本体噪声的影响, 在带通滤波器中尽可能滤除信道背景噪声, 还可以在次级放大电路中有效放大有用信号, 显著提高处理信噪比, 使调理输出信号具有更稳定的幅值。

自动增益控制电路设计图如图 2 所示。该电路主要由线性可变增益放大电路和反馈调节电路构成。

线性可变增益放大电路由 2 片 AD603 放大器间接级联构成。放大器引脚 5 和引脚 7 之间的外接电阻

基金项目: 国家自然科学基金项目(41376040); 福建省中青年骨干教师教育科研项目(JA15001); 国家海洋局海洋公益项目(201505027-2)
收稿日期: 2016-01-08

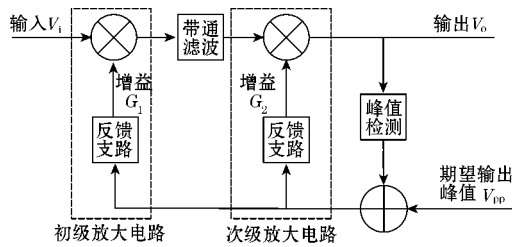


图1 两级放大反馈自动增益控制流程

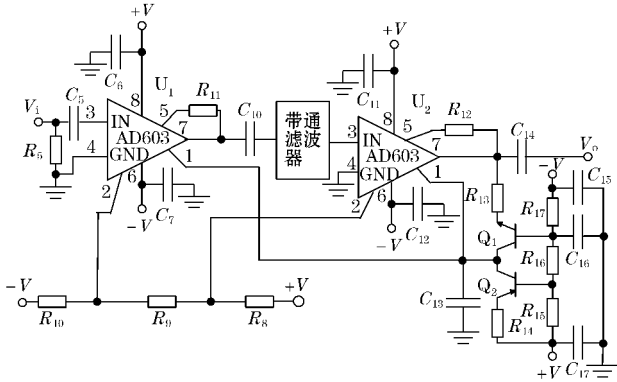


图2 两级放大反馈自动增益控制电路

R_{11}, R_{12} 的阻值用于选择 $-22 \sim 102$ dB 区间内最大 84 dB 的可编程增益, 外接阻值均为 0Ω 时(短路), 增益选择在 $-22 \sim 62$ dB 范围, 外接阻值趋近 ∞ 时, 增益范围选择在 $18 \sim 102$ dB; 放大器引脚 1 与引脚 2 之间的电压差值可控制放大器输出增益, 控制比例系数是 25 mV/dB , 为了保证级联电路具有最佳的连续线性控制能力, 可通过 3 个电阻(R_8, R_9 和 R_{10})分压使芯片 U_2 引脚 2 与芯片 U_1 引脚 2 之间电压差保持在 1.05 V , 刚好对应单片放大器的最大输出增益 42 dB。

反馈调节电路由一对互补三极管 Q_1 和 Q_2 构成, Q_2 集电极可提供稳定的 $300 \mu\text{A}$ 输出电流, 分别流向 Q_1 集电极和电容 C_{13} 2 个支路; Q_1 和 R_{13} 组成半波检测电路, 通过次级放大电路输出信号的幅度反向调节电容 C_{13} 充电电流, 改变电容 C_{13} 上的电压, 进而控制线性可变增益放大电路输出增益, 实现反馈, 取得稳定幅值的输出信号; 反馈调节的灵敏度由电容 C_{13} 的容值决定, 容值越小, 灵敏度越高, 但是反馈灵敏度应与通信载波频率相匹配; 稳定输出的信号幅值通过电阻 R_{13} 确定, 阻值越大, 输出信号幅值越大。

2 测试结果

海上试验在厦门五缘湾浅海域开展, 该海域水深约为 10 m , 沙底质。测试平台采用水声跳频通信系统, 测试距离为 900 m 。图 3 为现场水声信道测试结果, 时延 5 ms 内的信道多途结构稳定。

为了验证本文设计的两级放大反馈 AGC 电路性能, 在同等条件下, 采集了原始信号 r_o 、线性放大滤波

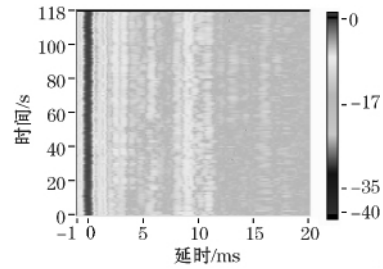
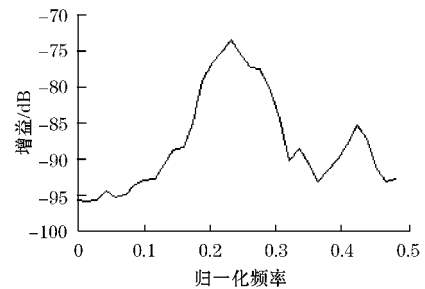


图3 五缘湾浅海域水声信道测试

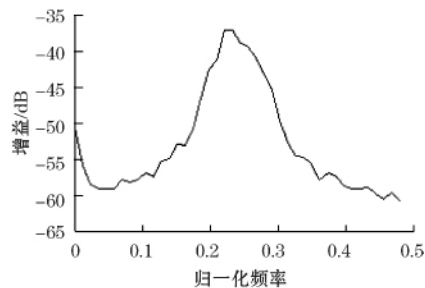
调理后的信号 r_1 以及两级放大反馈 AGC 电路调理后的信号 r_a , 并通过快速傅里叶变换提取信号特征参数进行比较。

测试信号采用全带宽的线性调频信号和预设的水声跳频通信信号。

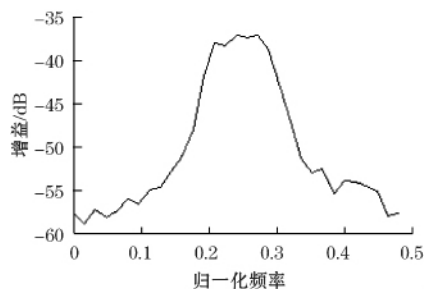
图 4(a), 图 4(b), 图 4(c) 所示为发射全带宽线性调频信号后接收到的 r_{10}, r_{11} 和 r_{1a} 的频谱分析结果。



(a) 信号 r_{10}



(b) 信号 r_{11}



(c) 信号 r_{1a}

图4 不同接收调理信号的频谱分析结果

归一化频率是分析频率 f 与采样频率 f_s 的比值, 测试平台使用的通信带宽在 $0.2 f_s \sim 0.3 f_s$ 之间。理想线性调频信号的谱图在通带内应该具有一致的频

率响应,在经过信道传输后,通带频率发生不同程度的衰减,见图 4(a);采用线性放大滤波的调理方法仅增强通带强度,无法克服通带内的起伏,见图 4(b);而采用两级放大反馈 AGC 电路调理后,有效解决了通带频率起伏问题,见图 4(c)。

图 5 所示为发射预设的水声跳频信号时,从接收到的 r_{20} 、 r_{21} 和 r_{2a} 中截取的某一帧信号。图 5(a) 是原始接收信号,幅度小且波形起伏大;图 5(b) 是经过线性放大滤波处理后的信号,幅度增大但起伏并没有克服,在原始信号幅度已经很强的情况下,还有可能引起调理输出信号饱和削顶失真;图 5(c) 是经过两级放大反馈 AGC 电路调理后的信号,幅度基本上保持在 ± 0.5 V 之间(设定 $V_{pp} = 1$ V),信号增强和时域起伏问题都得到解决。

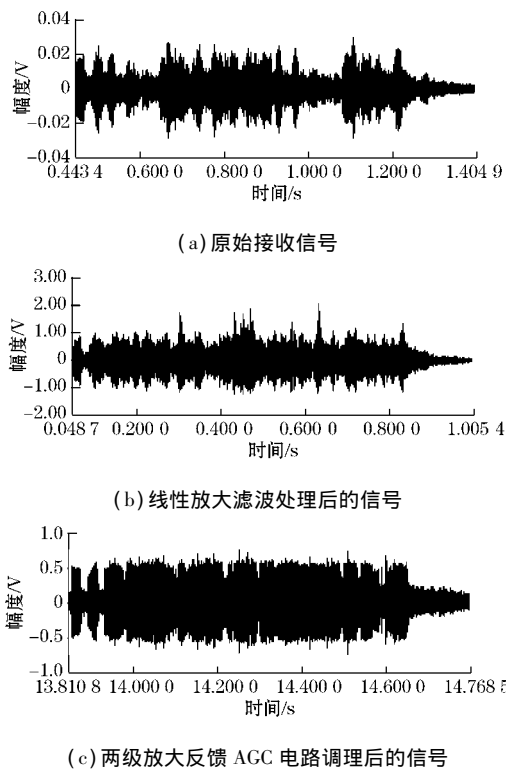


图 5 不同调理电路输出的某一帧信号波形

为定量分析 3 种信号调理电路的性能差别,分别从 r_{20} 、 r_{21} 和 r_{2a} 中提取若干码元(数量分别是 9 200 个、8 880 个和 7 120 个),通过快速傅里叶算法对码元进行频谱分析,提取各码元的主瓣峰值、第一旁瓣峰值,并计算其均值、标准差等参数,如表 1 所示。

表 1 码元频谱分析的统计结果

调理方式	分析码元数	主瓣峰值		第一旁瓣峰值	
		均值	标准差	均值	标准差
原始接收	9 200	3.32	2.00	1.33	0.49
线性放大滤波	8 880	113.72	46.75	77.13	29.89
自动增益控制	7 120	194.46	49.96	81.75	22.12

表 1 中经线性放大滤波调理和自动增益控制调理

后输出码元主瓣峰值均值和第一旁瓣峰值均值的比值 δ 分别是:

$$\delta_1 = \frac{113.72}{77.13} \approx 1.47 \quad (1)$$

$$\delta_a = \frac{194.46}{81.75} \approx 2.38 \quad (2)$$

δ_a 远大于 δ_1 表明:与线性放大滤波相比,两级放大反馈自动增益电路可对主瓣信号提供更大的增益,而对第一旁瓣信号提供相对较小的增益,一定程度上增强了信号,抑制噪声干扰,提高码元处理信噪比,提高的 SNR 分贝数为

$$SNR = 20 \log \frac{2.38}{1.47} \approx 4.18 \text{ dB} \quad (3)$$

将表 1 中的均值、标准差以各自调理电路统计所得的最大值为参照进行归一化处理,并将归一化后主瓣峰值和第一旁瓣峰值的浮动区间用柱状图表示,如图 6 所示。图中黑实线柱表示归一化后主瓣峰值分布区间、灰虚线柱表示归一化后第一旁瓣峰值分布区间、灰色阴影表示二者重叠区间。

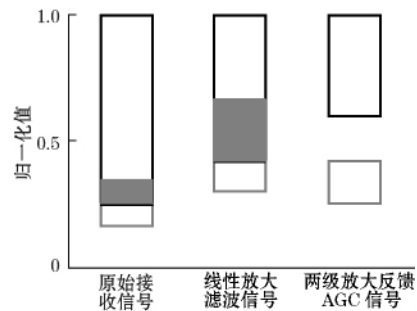


图 6 归一化主瓣峰值和第一旁瓣峰值的柱状分布图

从该统计图可以直观显示:原始接收信号和经线性放大滤波调理的信号都存在不同程度的重叠区间,即第一旁瓣信号有可能干扰主瓣信号的识别;而两级放大反馈 AGC 调理后可以使码元信号主瓣峰值向更高值区间移动且浮动区间更小,让主瓣峰值和第一旁瓣峰值整体分布呈现明显的分离趋势,有利于减小干扰。

采用非相干能量检测方法时,造成检测误判的最重要原因是码元第一旁瓣信号对主瓣信号的干扰。而上述分析结果与 3 种调理电路试验时统计得到的传输误码率变化趋势相一致,如表 2 所示。

表 2 3 种调理电路误码率

调理电路	分析码元数	错误码元数	误码率/ 10^{-4}
原始接收	9 200	45	48.9
线性放大滤波	8 880	13	14.6
自动增益控制	7 120	2	2.81

3 结论

本文介绍的两级放大反馈自动 (下转第 104 页)

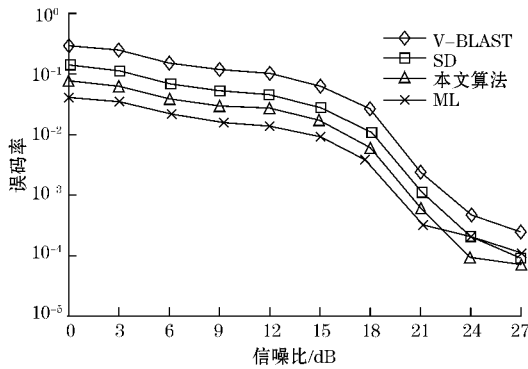


图7 4×4系统64QAM的误码率对比

了重要途径。本文提出了一种基于蚁群算法的水声传感器网络 MIMO 系统检测方法。该算法基于球形译码算法 SD 通过蚁群算法约束 SD 实现水声传感器网络 MIMO 信号检测。通过 MATLAB 实验对本文算法和 SD、ML、V-BLAST 3 种算法的性能进行对比。仿真实验主要测试了 4 种算法的计算复杂度和系统误码率。实验结果表明:本文设计的基于蚁群算法约束的球形译码算法,其在计算复杂度介于 V-BLAST 算法和 SD 算法之间,误码率介于 ML 算法和 SD 算法之间,兼顾了计算复杂度和误码率。

参考文献:

- [1] 郭瑛,张震.大规模水声传感器网络时间同步研究[J].电子与信息学报,2014(6):1498-1503.
- [2] 夏娜,郑语晨,杜华争,等.刚性驱动水下传感器节点自组织布置[J].计算机学报,2013(3):494-505.
- [3] 梁涓.水下无线通信技术的现状与发展[J].中国新通信,2009(3):67-71.

(上接第99页)增益控制电路,不仅可以有效克服因收发端相对距离变化、声传播衰减、信道频率选择性衰落、发射端功放和接收端信号调理电路频率响应不均匀等因素引起的接收端声信号时域幅度起伏变化大的问题,输出期望幅度信号;还能在频域上对有效信号和干扰信号施加不同增益,提高处理信噪比。海上现场比较试验表明,该电路具备良好的幅度均衡性能,能显著提高水声通信质量。

参考文献:

- [1] 汪德昭,尚尔昌.水声学[M].北京:科学出版社,1981.
- [2] 贾宁,黄建纯.水声通信技术综述[J].物理,2014,43(10):650-657.
- [3] 袁孝康.自动增益控制与对数放大器[M].北京:国防工业出版社,1987.
- [4] MARTINEZ I. Automatic gain control (AGC) circuits theory and design[D]. Toronto:University of Toronto 2001.
- [5] 王永龙,杨卫,石云波,等.基于自动增益控制的声信号

- [4] 刘伟,王昌明.水下近场目标声探测系统设计研究[J].计量学报,2011(6):531-534.
- [5] REAL G, BEAUJEAN P P, BOUVET P J. A channel model and estimation technique for MIMO underwater acoustic communications in ports and very shallow waters at very high frequencies[C]. OCEANS 2011. [S. l]:IEEE Computer Society 2011:1-9.
- [6] 张歆,张小蓓,乔宏乐.水声 MIMO 信道模型和容量分析[J].西北工业大学学报,2011(2):234-238.
- [7] 王楠,潘翔,徐元欣.基于共址 MIMO 主动声纳的小目标探测[J].杭州电子科技大学学报,2012(8):9-12.
- [8] 姜煜,白兴宇.基于 VBLAST 的水声 MIMO 高速通信技术研究[J].声学技术,2011(4):345-349.
- [9] 乔宏乐,张歆,张小蓓. MIMO 水声通信中的空时分扩展编码方案探讨[J].声学技术,2010(6):647-650.
- [10] TU K, DUMAN T M, PROAKIS J G, et al. Cooperative MIMO-OFDM communications: receiver design for doppler-distorted underwater acoustic channel[C]. Asilomar 2010. [S. l]:IEEE Computer Society 2010:408-413.
- [11] KIM S. Angle-domain frequency-selective sparse channel estimation for underwater MIMO-OFDM systems[J]. IEEE Communications Letters 2012, 16(5): 685-687.
- [12] 王彪,陈艳,刘光杰,等.压缩采样匹配追踪在水声 MIMO-OFDM 信道估计的应用[J].信号处理,2013(8):984-989.
- [13] 夏亚梅,程渤,陈俊亮,等.基于改进蚁群算法的服务组合优化[J].计算机学报,2012(2):2270-2281.

作者简介:孔德川(1977—),讲师,博士研究生,主要研究方向为无线传感器网络、农业物联网。

E-mail:kongdechuan@gmail.com

处理电路[J].仪表技术与传感器,2007(12):42-43.

- [6] 侯剑波.数字 AGC 电路设计[J].现代电子技术,2006(15):72-73.
- [7] 王秀彦,宋吟蔚,宋国荣,等.数字式自动增益放大电路[J].仪表技术与传感器,2008(8):75-80.
- [8] 王经典.通信接收机中数字自动增益放大器模块的设计[J].航空电子技术,2010(1):37-40.
- [9] 马定坤,张效民,罗建.一种水声接收机数字 AGC 控制方法[J].鱼雷技术,2012,20(4):267-270.
- [10] 赖小强,李双田.数字闭环自动增益控制系统设计与实现[J].网络新媒体技术,2013,2(3):40-45.

作者简介:吴剑明(1975—),工程师,硕士研究生,主要从事水声通信技术等方面研究。

E-mail:wujm@xmu.edu.cn

张小康(1983—),高级工程师,博士研究生,主要从事水声通信、水声遥测遥控等方面研究。

E-mail:xiaokang_xmu@163.com