

噪声背景下的周期信号检测

郑舒晨, 尉 烨

(北京理工大学 信息与电子学院 北京 100081)

摘 要: 噪声背景下检测信号是一项复杂而又重要的任务, 在通信领域和雷达信号检测领域都是十分重要的课题. 文章通过测量信号的自相关函数来探测噪声背景下的周期信号, 并利用 MATLAB 进行了仿真并对仿真结果进行了分析.

关键词: 信号检测; 噪声; 周期信号; 多重自相关

中图分类号: TP202⁺.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-5128(2013)09-0131-06

收稿日期: 2013-07-03

基金项目: 北京理工大学大学生创新计划项目: 机载对地成像雷达(原理试验样机)设计

作者简介: 郑舒晨(1992—), 女, 陕西西安人, 北京理工大学信息与电子学院信息工程专业本科生; 尉烨(1991—), 男, 陕西西安人, 北京理工大学信息与电子学院信息工程专业本科生.

0 引言

在噪声背景下检测信号是通信工程的一个重要课题, 也是雷达信号检测的一项重要任务. 例如, 雷达接收机接收到的回波信号总是伴随着噪声与干扰, 噪声与干扰的存在影响了雷达对是否检测到目标的判断. 当雷达发射周期信号时, 遇到目标后雷达将接收到反射回来的周期信号并伴随着噪声和干扰; 当无目标信号反射时, 雷达将接收到噪声和干扰. 雷达根据是否接收到周期信号来判断是否检测到目标^[1].

1 检测原理分析

设 $y(t)$ 为雷达接收机接收到的信号, 当无目标信号反射时, 雷达将接收到噪声与干扰 $n(t)$, 此时

$$y(t) = n(t).$$

当雷达发射周期信号时, 遇到目标后雷达将接收到反射回来的周期信号 $s(t)$, 并伴随着噪声和干扰, 此时

$$y(t) = s(t) + n(t).$$

假设 $s(t)$ 为周期性的随机信号, $n(t)$ 为非周期性噪声, 记代表 $s(t)$ 的随机过程为 $S(t)$, 代表 $n(t)$ 的随机过程为 $N(t)$, 并且假设 $S(t)$ 和 $N(t)$ 为互相独立的遍历性随机过程.

1.1 自相关检测方法

当接收到回波时, $Y(t) = S(t) + N(t)$, 该随机过程的自相关函数为:

$$\begin{aligned} R_Y(\tau) &= E[Y(t)Y(t+\tau)] = E\{[S(t) + N(t)][S(t+\tau) + N(t+\tau)]\} \\ &= E[S(t)S(t+\tau)] + E[N(t)N(t+\tau)] + E[S(t)N(t+\tau)] + E[N(t)S(t+\tau)] \\ &= R_S(\tau) + R_N(\tau) + 2m_S m_N. \end{aligned}$$

因为噪声是随机的, 且和信号无关, 所以 $2m_S m_N$ 应该很小. 由于噪声的自相关函数 $R_N(\tau)$ 主要在零点有值, 其余点值为 0. 而信号的自相关函数与信号同周期. 这样, 在取过自相关后削弱了噪声的影响, 所以 $R_Y(\tau)$ 的周期性比 $Y(t)$ 的周期性更加明显^[2].

当没有接收到回波时, $Y(t) = N(t)$, 该随机过程的自相关函数为

$$R_Y(\tau) = E[N(t)N(t+\tau)] = R_N(\tau).$$

该随机过程的自相关函数在除 $\tau = 0$ 以外的值很小, 没有周期性. 对于具有各态历经性的过程, 可以利用样本函数的时间相关函数来替代随机过程的自相关函数. 设计系统如下:

$$\overline{R(\tau)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T Y(t) Y(t + \tau) dt.$$

该系统由积分器、可调延时器、乘法器构成. 其中改变可调延时器的延时时间, 即可测得自相关函数在不同 τ 处的取值. 系统框图如图 1 所示. 测得自相关函数之后观察自相关函数有无周期分量即可判断是否接收到反射信号^[3].

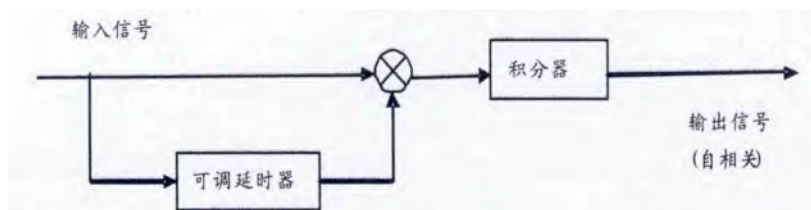


图 1 系统框图

1.2 多重自相关法

当信噪比低到一定程度时, 周期分量不明显, 上述系统不能够很好地工作. 多重自相关法是在传统自相关检测法的基础上, 对信号的自相关函数再多次做自相关. 即令:

$$y_1(t) = R_Y(\tau) = s_1(t) + n_1(t),$$

其中: $s_1(t)$ 是 $R_n(\tau)$ 和的叠加; $n_1(t)$ 是和 $R_n(\tau)$ 的叠加^[4]. 信号经过相关运算后增加了信噪比, 但其改变程度是有限的, 因而限制了检测微弱信号的能力. 多重相关法将 $y_1(t)$ 当作 $y(t)$, 重复自相关函数检测方法步骤, 自相关的次数越多, 信噪比提高得越多, 因此可检测出淹没于强噪声中的微弱信号^[5].

2 MATLAB 仿真分析

由于通过低通滤波器可以滤掉部分噪声, 提高信噪比, 使仿真结果更明显, 故加入了巴特沃兹低通滤波器^[6]. 将同一阶段不同信噪比的结果放在一起比对, 可观察到明显结果.

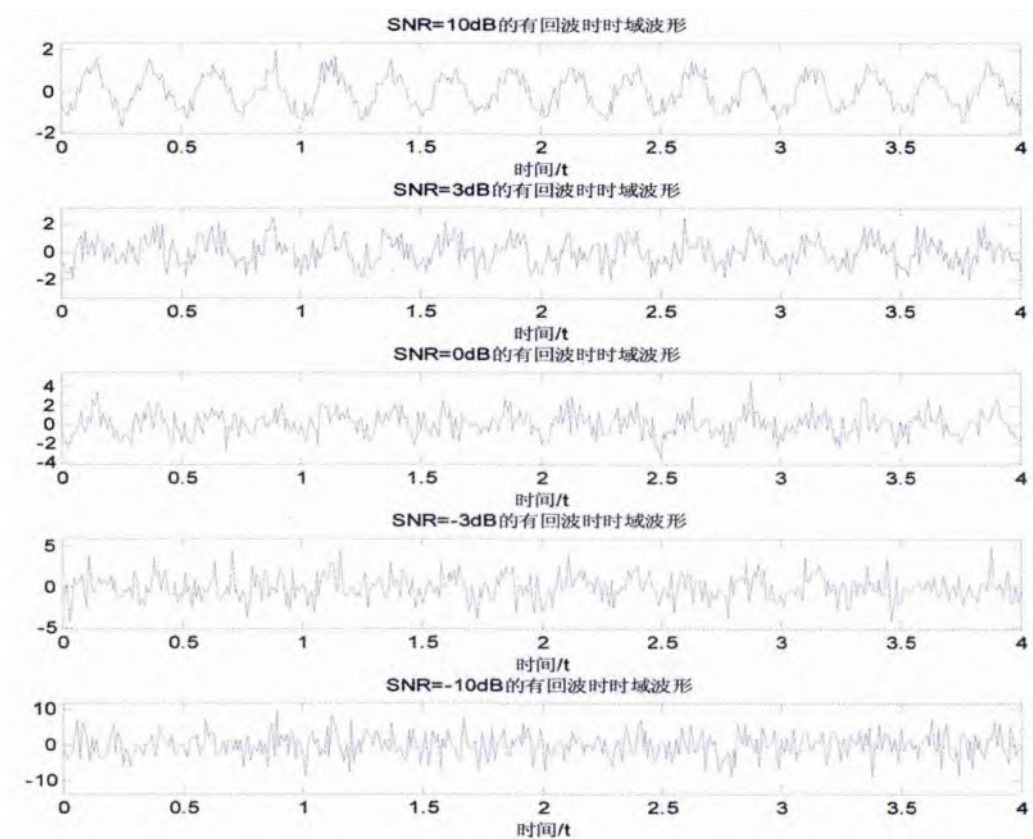


图 1 不同信噪比有回波时域波形

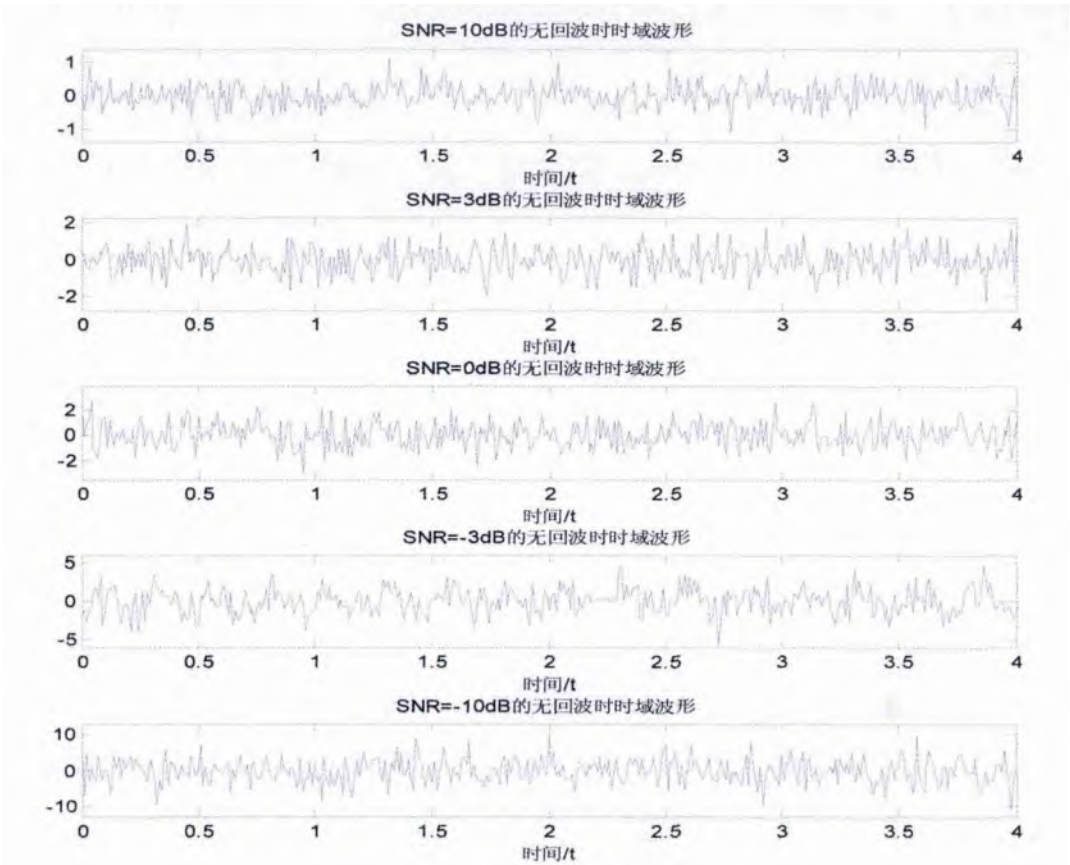


图 2 不同信噪比无回波时时域波形

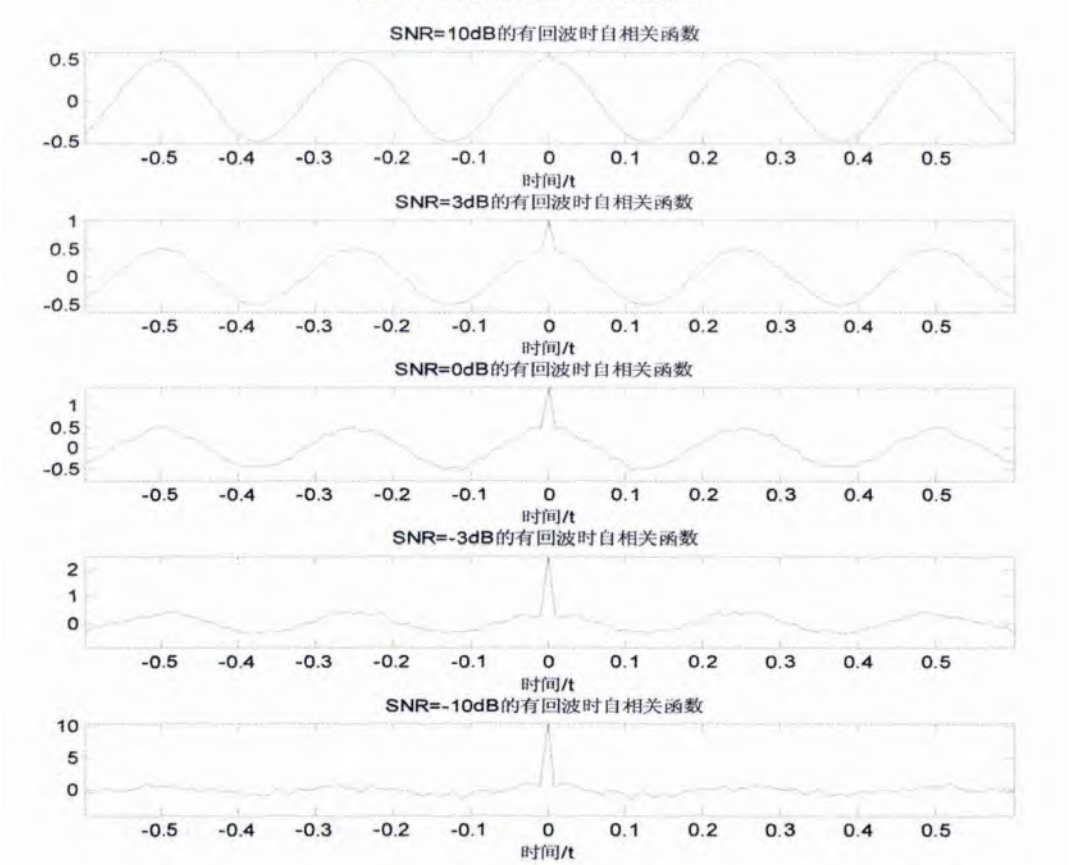


图 3 不同信噪比有回波的自相关函数

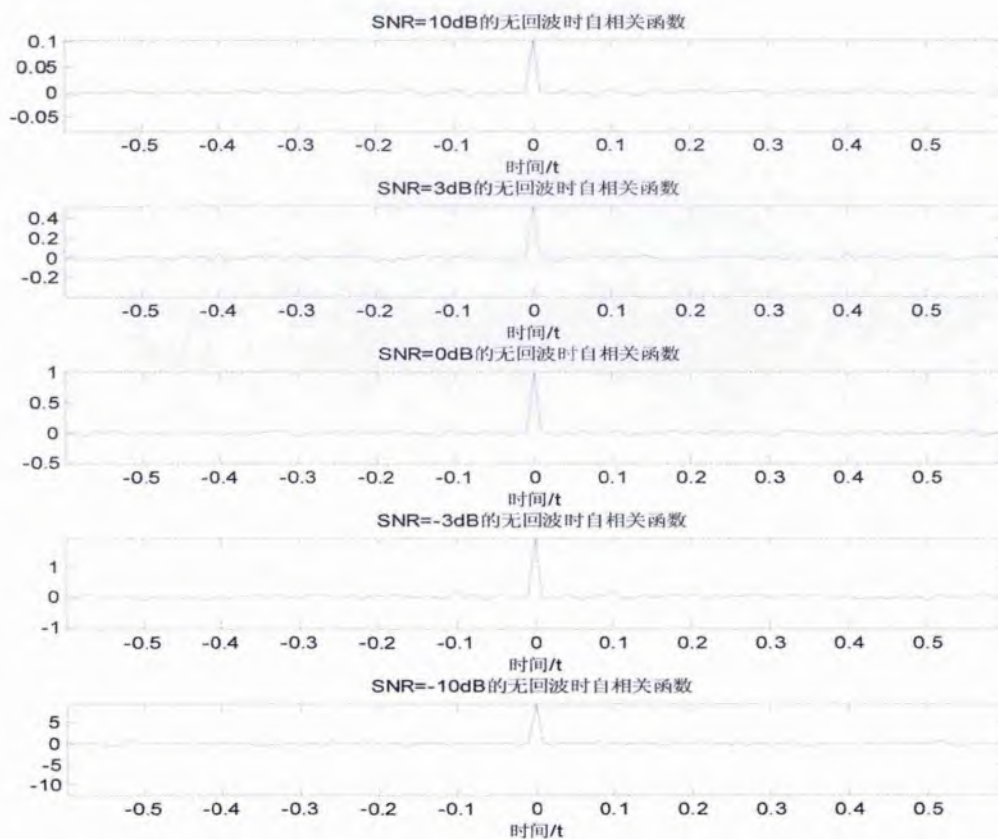


图 4 不同信噪比无回波的自相关函数

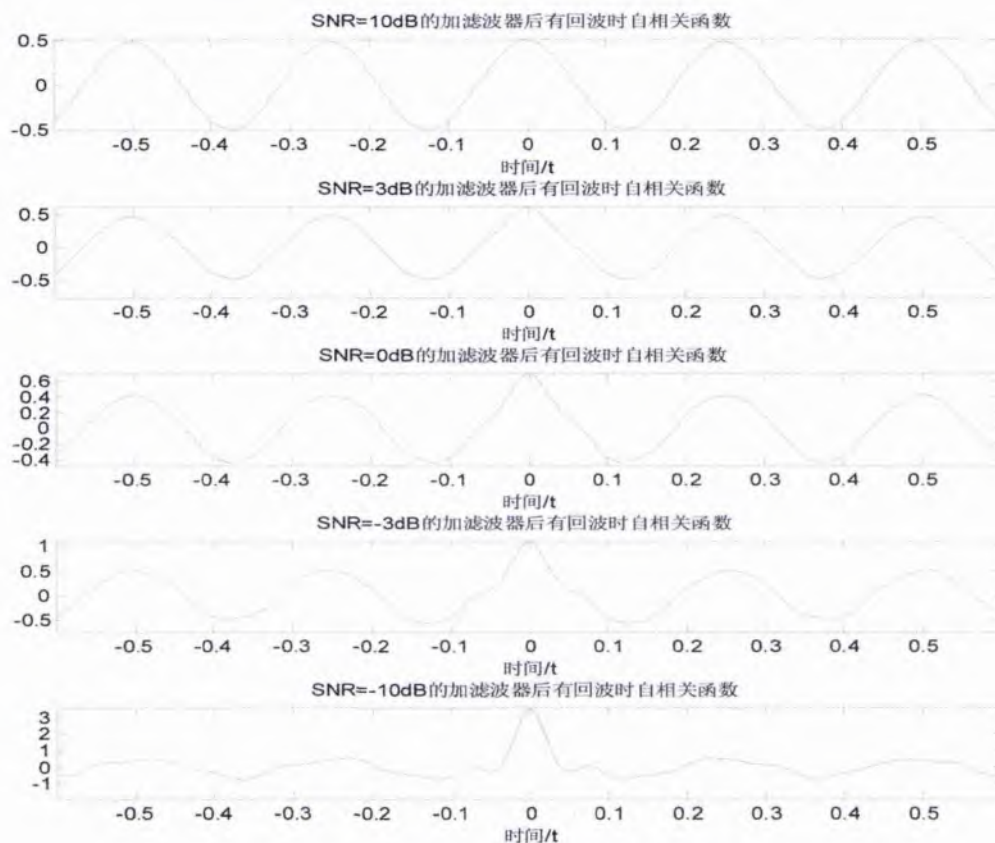


图 5 不同信噪比加滤波器有回波的自相关函数

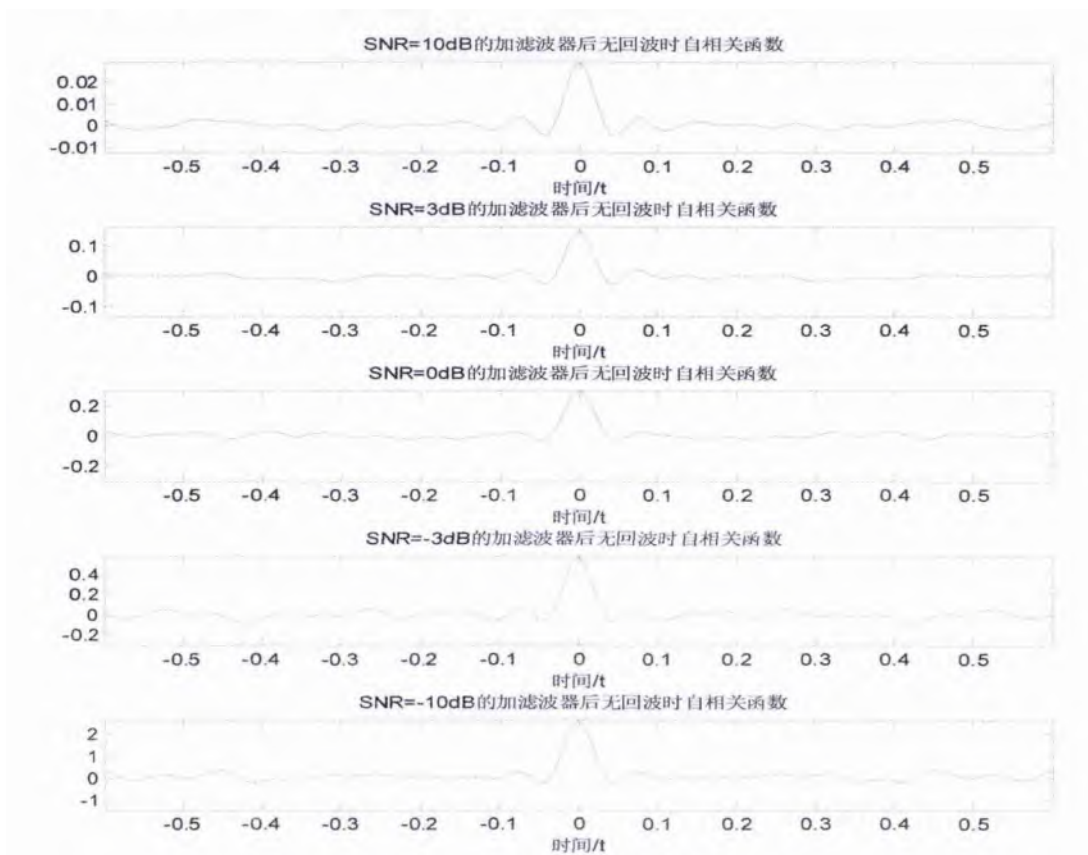


图 6 不同信噪比加滤波器无回波的自相关函数

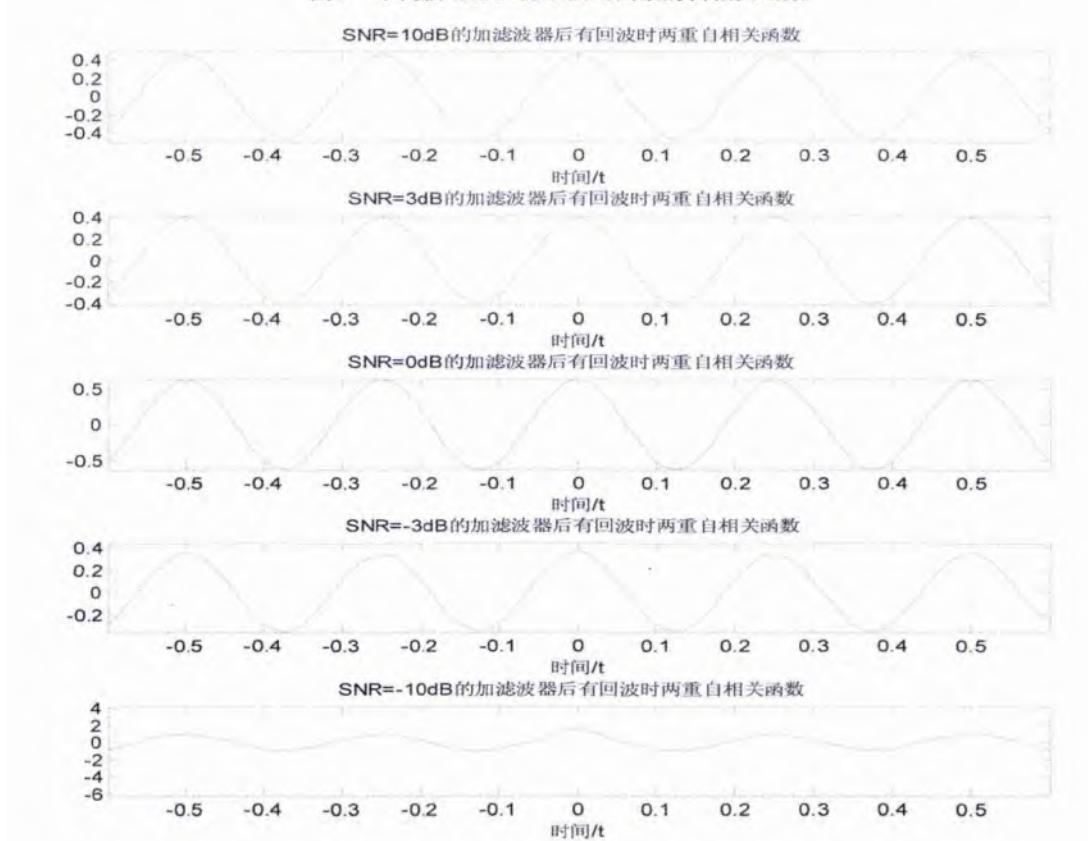


图 7 不同信噪比加滤波器有回波的两重自相关函数

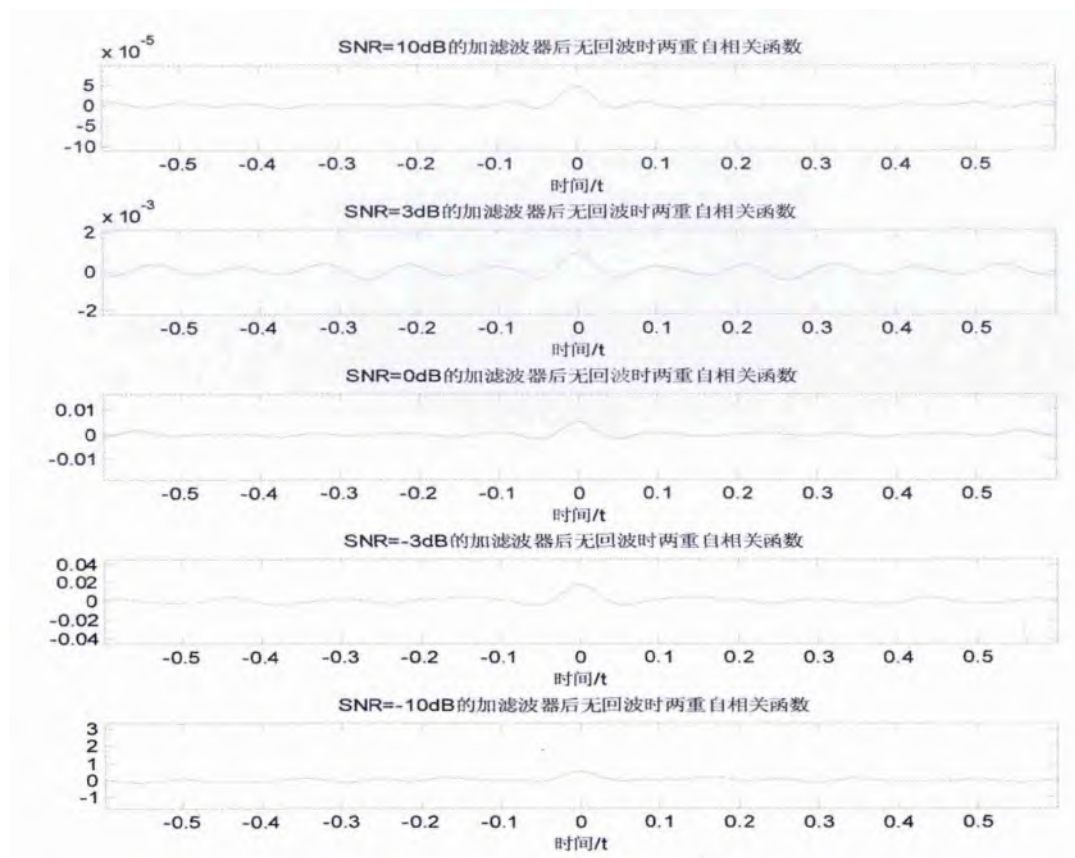


图 8 不同信噪比加滤波器无回波的两重自相关函数

3 结语

通过以上仿真, 我们可以清楚地看到, 由自相关得到的波形突显出了信号的周期性, 削弱了噪声的影响。大信噪比情况下只用一次相关即可明显观察到周期性, 而小信噪比信号在取一次自相关周期性不明显时可取多次自相关。上述仿真结果充分说明了自相关在获取回波周期信号的重要性。实际应用中, 需要在多重自相关的复杂度与需要检测的信号强度之间折中考虑, 满足实际需求。

(指导教师: 曾 涛)

参考文献:

- [1] 朱华, 黄辉宁, 李永庆, 等. 随机信号分析[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2011.
- [2] 曹斌芳, 何怡刚, 郭杰荣. 强噪声背景下的语音信号提取研究[J]. 噪声与振动控制, 2008, 28(4): 145-148.
- [3] 杨新峰, 杨迎春, 苑秉成. 强噪声背景下微弱信号检测方法研究[J]. 舰船电子工程, 2005, 31(6): 123-125.
- [4] 范晓志, 赵立志, 黄晓红. 基于多重自相关的微弱信号检测算法研究[J]. 小型微型计算机系统, 2003, 28(3): 566-568.
- [5] 陈明奎, 刘正平. 基于多重自相关微弱正弦信号的检测[J]. 轻工机械, 2006, 24(3): 112-114.
- [6] 卢玉和, 萧宝瑾. 基于谐波小波的微弱信号检测及其在 Matlab 中的仿真[J]. 雁北师范学院学报, 2006, 22(5): 32-34.

【责任编辑 牛怀岗】

The Detection of Periodic Signal from White Noise

ZHENG Shu-chen, YU Ye

(School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The detection of signal is a complex and important task in the communications and radar signal detection. This essay provides a method of periodic signal detection which is measuring the signal's autocorrelation function. The simulation using MATLAB is presented and analyzed.

Key words: signal detection; noise; periodic signal; multi-layer autocorrelation