

# 红外系统信号恢复的三重相关 重叠取样方法\*

TN 215

陈汝钧

(华中理工大学图像技术公司, 湖北, 武汉, 430074)

**摘要:**提出了将三重相关和重叠取样技术用于红外系统信号波形恢复的方法。研究表明,对低输入峰值信噪比用该方法可以有效地从噪声中恢复信号的波形。文中描述了在重叠取样的基础上进行三重相关操作的步骤,比较了“三重相关重叠取样法”和传统的“扫描取样积分法”的抑噪性能的优劣,给出了计算机模拟实验的结果。

**关键词:**三重相关,重叠取样,信号恢复,红外系统。

## APPROACH OF TRIPLE CORRELATION OVERLAPPING SAMPLING FOR SIGNAL RECOVERY IN IR SYSTEMS\*

CHEN Ru-Jun

(Image Technology Development Company, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

**Abstract** The approach of triple correlation overlapping sampling (TCOS) was presented for recovering signal waveforms of IR systems. Investigations show that signal waveforms can effectively be recovered in the low signal-to-noise ratio (SNR) circumstances using this approach. The restraining noise performances of triple correlation overlapping sampling and conventional scanning sampling integration were compared. The operations of TCOS were described and computer simulating experiment results were also given.

**Key words** triple correlation, overlapping sampling, signal recovery(reconstruction), IR systems.

### 引言

文献[1]研究了在红外探测系统中可采用三重相关峰值检测技术来探测目标的存在与否,除此,还希望能恢复信号的波形,例如在亚成像或成像跟踪阶段的图像处理中,就需要恢复图像信号的波形,然后再进行各种必要的处理。

用三重相关的方法实现信号波形的恢复或重建,通常是根据信号的双谱与信号的傅里叶频谱之间的关系和双谱的对称特性,首先除去信号的直流分量,然后按照文献[1]中的式(4)用集平均方法求得信号的三重

相关函数  $I^{(3)}(t_1, t_2)$ , 经傅里叶变换得到信号的双谱,再利用信号的双谱分别求取信号傅里叶频谱的幅度和相位,最后通过傅里叶逆变换得到时域信号<sup>[2~3]</sup>,即信号的波形。由于白噪声的三重相关等于零以及在信号的双谱中存在大量的信息冗余,有用的信号可被多次重复利用,因此提高了重建信号的信噪比<sup>[2~3]</sup>。

本文不用上述传统的双谱和傅里叶变换的方法来重建信号,而是依据微弱信号检测技术中的“扫描取样积分器”原理<sup>[10]</sup>,将重叠取样技术用于三重相关的处理,获得一种“三重相关重叠取样”的方法,成功地从噪声中恢复了信号的波形。文中描述了实现三重相关重

\* 国防预研基金(编号 95J1A. 5. 3. JW0505)资助项目  
稿件收到日期 1998-11-25,修改稿收到日期 1999-06-20

\* The project supported by the Preliminary Research Foundation of National Defence (No. 95J1A. 5. 3. JW0505  
Received 1998-11-25, revised 1999-06-20

叠取样的操作方法,给出了计算机模拟实验的结果,比较了“三重相关重叠取样法”和传统的“扫描取样积分法”的抑噪性能的优劣,并对实际应用进行了说明。

### 1 三重相关重叠取样

图 1 说明了实现三重相关重叠取样的方法.先采集红外系统输出的噪声(这在没有信号存在时很容易做到)并存入计算机中(见图 1(a)).计算机采集的信号加噪声为  $J(t)=I(t)+N(t)$ ,其中,  $I(t)$  为信号,  $N(t)$  为白噪声(见图 1(b)).图 1(d)为取样脉冲,  $T$  为取样脉冲的宽度.先取出图 1(b)中的  $0-T$  段,将图 1(a)中的  $0-T$  段用图 1(b)中的  $0-T$  段替代得图 1(c),对图 1(c)按文献[1]中的式(1),取  $t_1=t_2=0$ ,进行三重相关操作,得到  $J_1^{(3)}(0,0)$ .然后,将取样脉冲移动一个很小的  $\Delta T$ , (见图 1(e)),取样宽度  $T$  不变,对图 1(b)再进行取样,即将图 1(b)取样范围移动一个很小的  $\Delta T$ ,将图 1(a)中的  $\Delta T-T+\Delta T$  时段用图 1(b)中的  $\Delta T-T+\Delta T$  替代,求其三重相关,并得到  $J_2^{(3)}(0,0)$ ,再将图 1(a)中的  $2\Delta T-T+2\Delta T$  时段用图 1(b)中的  $2\Delta T-T+2\Delta T$  代替,求得三重相关值  $J_3^{(3)}(0,0), \dots$  以此类推,直到对整个时间序列完成这种重叠取样三重相关的操作(因  $\Delta T < T$ ,所以对图 1(b)的  $J(t)$  的取样是重叠进行的),再将得到的三重相关值  $J_1^{(3)}(0,0), J_2^{(3)}(0,0), J_3^{(3)}(0,0), \dots$  按时间顺序重新组成一个时间序列,便可以完整地再现信号的波形。

多次采集信号加噪声  $J(t)=I(t)+N(t)$ ,并按上述方法进行同样的操作,然后求集平均.由于噪声的三重相关等于零,而重叠取样又使得信号被重复地采集利用,因此恢复的信号波形的信噪比可以得到很大的改善。

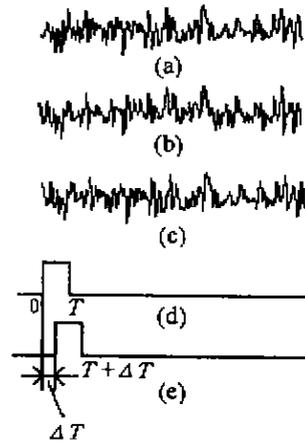


图 1 三重相关重叠取样示意图  
Fig. 1 The scheme of triple correlation overlapping sampling

### 2 三重相关重叠取样的计算机模拟实验

在计算机模拟实验中,以白噪声中加入随机脉冲信号(钟型脉冲)为例.图 2 给出了用三重相关重叠取样的方法从噪声中恢复信号波形的实例.图 2 中 1、2 和 3 分别为待恢复的原始信号、信号与噪声混合在一起的情况和采用三重相关重叠取样的方法从噪声中恢复出来的信号波形.图 2 的时间序列采样点数为 128.

图 2(a)是噪声中含有一个钟型脉冲的情况,输入峰值信噪比为 2.263983,重叠取样操作时的取样宽度为 10,每次移动一个采样点,集平均样本数为 9.图 2(b)是同时包含两个钟型脉冲的例子,一个是正向脉冲,另一个是负向脉冲,输入峰值信噪比为 1.886653 (以较小的脉冲峰值进行输入峰值信噪比的计算),重叠取样操作时的取样宽度为 10,每次移动一个采样

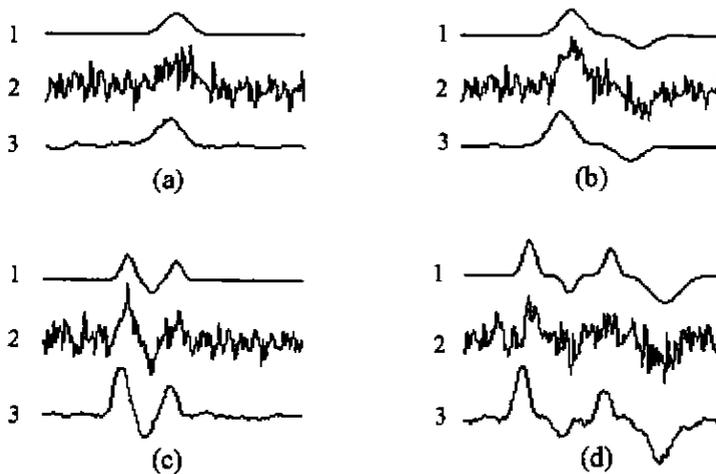


图 2 信号恢复的计算机模拟实验实例  
Fig. 2 The samples of computer simulating experiment for restoring signal waveforms

点,集平均样本数为 9.图 2(c)和图 2(d)是同时包含 3 个和 4 个钟型脉冲波形的情形.输入峰值信噪比(以最小的脉冲幅度计算)分别为 1.567389 和 0.7352272.重叠取样操作时的取样宽度为 6,每次移动一个采样点,集平均样本数为 9.图 2(d)表明,对于低输入峰值信噪比的情况(如小于 1,此处为 0.7352272),采用三重相关重叠取样的方法仍然可以有效地从噪声中恢复信号的波形.

### 3 结语

本文用计算机模拟实验,研究了用三重相关重叠取样的算法从噪声中恢复信号波形的方法.研究结果表明,采用三重相关重叠取样的方法可以在低信噪比的情况下从噪声中恢复信号的波形,相应的算法较之通常采用的傅里叶变换和双谱的方法简洁快速,对于工作在亚成像或成像状态的红外系统的信号处理有着实际的意义.在实际操作中,应按照抽样定理的要求,根据待恢复信号的最高频率来确定采样脉冲的宽度.

从上述计算机模拟的实验操作可见,三重相关重叠取样的算法实际上是“重叠取样”与“三重相关峰值检测技术”的结合,用重叠取样的方法恢复信号的原理见文献[11],而三重相关峰值检测又可以获得很大的信噪比改善<sup>[1]</sup>,因而三重相关重叠取样的算法可以从噪声中有效地恢复信号的波形.当然,三重相关重叠取样的算法又不同于微弱信号检测中通常使用的“取样积分器”.通常的取样积分器是“取样技术”(包括定点取样、扫描(即重叠)取样和多点取样)与“积分(平均)器”的结合.我们知道,积分(平均)器也具有抑噪的功能<sup>[2,9]</sup>.为了比较三重相关重叠取样的算法与扫描取样积分器的抑噪性能的优劣,我们进行了对比实验,实验结果如图 3 所示.图 3(a)是待恢复信号的波形,由 4 个钟型脉冲组成,其中正向和负向脉冲各两个.图 3(b)是待恢复信号被噪声淹没的情形.图 3(c)是采用三重相关重叠取样算法对图 3(b)的信号加噪声进行处理后恢复的信号波形,重叠取样操作时的取样宽度为 6,每次移动一个采样点,集平均样本数为 9.图 3(d)是采用微弱信号检测中通常使用的“扫描取样积分”算法对图 3(b)进行处理后恢复的信号波形,扫描(即重叠)取样操作时的取样宽度为 6,每次移动一个采样点,集平均样本数也为 9.比较图 3(c)和图 3(d)可见,采用三重相关重叠取样的算法得到的信噪比明显地优于采用微弱信号检测中通常使用的“扫描取样积分”算法.为了提高“扫描取样积分”算法的信噪比,可以增大集平均的样本数.图 3(e)是将集平均样本数

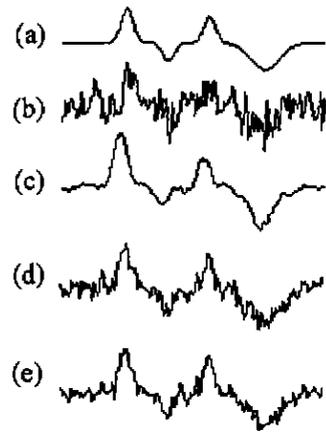


图 3 三重相关重叠取样与扫描取样积分器抑噪性能的比较  
Fig. 3 Comparison of restraining noise capability between triple correlation overlapping sampling and scanning sampling integrator

增大为 16,采用“扫描取样积分”算法恢复的信号波形,与图 3(d)相比,其信噪比虽有所提高,但仍然低于采用三重相关重叠取样的算法得到的信噪比.

由于零均值的高斯平稳随机过程的三重相关等于零,因此上述三重相关重叠取样从噪声中恢复信号波形的的方法对于由高斯平稳随机过程引起的噪声是适合的.对于有色非高斯噪声,其三重相关的集平均值通常不等于零,但有信号与没有信号时的三重相关值仍是不相同的.只要噪声过程是平稳的,可以采用类似光子计数技术的“恒定背景扣除测量法”<sup>[10]</sup>,在对图 1 的时间序列(c)求取的三重相关的集平均值中设法从有信号时的三重相关值中扣除噪声的三重相关值,则三重相关重叠取样的方法也是可以采用的.

为了提高被恢复的信号的信噪比,需要对待恢复信号进行多次的采样并进行相应的三重相关重叠取样操作,然后求取集平均.这种操作对于静止的目标是很方便的.对于运动的目标,则需要对多次采集的待恢复信号序列进行对准后再进行相应的三重相关重叠取样操作,这一点在实际应用中是应该注意的.对于运动的目标,另一种可能的方法是采用多路并行的信号处理单元来代替求取集平均所需要的多次采样,对并行的各路信号处理单元分别进行三重相关重叠取样操作,然后将各路信号处理单元的三重相关值进行集平均.

致谢 本文的作图得益于骆清明教授提供的屏幕绘图软件的支持,特此致谢.

## REFERENCES

- [1] CHEN Ru-Jun. Triple correlation peak inspecting technique in IR detection systems, *J. Infrared Millim. Waves* (陈汝钧. 红外探测系统三重相关峰值检测技术研究, *红外与毫米波学报*), 1998, 17(4): 277~281
- [2] Lohmann A W. Pattern recognition based on the triple correlation, *Optik*, 1988, 78(3): 117~120
- [3] Lohmann A W, Weigelt G, Wirtzner B. Speckle masking in astronomy: triple correlation theory and applications, *Applied Optics*, 1983, 22(24): 4028~4037
- [4] Lohmann A W, Wirtzner B. Triple correlations, *Proceedings of the IEEE*, 1984, 72(7): 889~901
- [5] Sadler B M, Giannakis G B. Shift-and rotation-invariant object reconstruction using the bispectrum, *J. Opt. Soc. Am. A*, 1992, 9(1): 55~69
- [6] Jin S, Wear S, Raghuvver M R. Reconstruction of speckled images using bispectra, *J. Opt. Soc. Am. A*, 1992, 9(3): 371~376
- [7] Haniff C A. Least-squares Fourier phase estimation from the model  $2\pi$  bispectrum phase, *J. Opt. Soc. Am. A*, 1991, 8(1): 134~140
- [8] Matson C L. Weighted-least-squares phase reconstruction from the bispectrum, *J. Opt. Soc. Am. A*, 1991, 8(12): 1905~1913
- [9] Takajo H, Takahashi T. Least-squares phase recovery from the bispectrum phase: an algorithm for a two-dimensional object, *J. Opt. Soc. Am. A*, 1991, 8(7): 1038~1047
- [10] YE Jia-Xiong, CHANG Da-Ding, CHEN Ru-Jun. *Optoelectrical Systems and Signal Processing*, Beijing: Science Press (叶嘉雄, 常大定, 陈汝钧. 光电系统与信号处理, 北京: 科学出版社), 1997, 305~307: 324~325
- [11] FANG Zhi-Hao, *Low Noise Circuits of Transistors*, Beijing: Science Press (方志豪. 晶体管低噪声电路, 北京: 科学出版社), 1984, 254~258