

简捷内插方法实现实时处理

吴国清 何 怡

(中国科学院声学研究所, 声场声信息国家重点实验室)

1991年2月2日收到

摘要 本文提出用一种简捷的频域补零的内插方法来实现实时处理。该内插法简捷、快速、精确。文中给出了计算机模拟和实际海上信号的处理结果。

A practical method of interpolation implementation for real time processing

WU Guoqing and HE Yi

(State Key Laboratory of Acoustics, Institute of Acoustics, Academia Sinica)

Received February 2, 1991

Abstract A simplified way of interpolation implementation for real time processing is presented. For passive localization the time delay can be determined by the cross-correlation peak. It is more efficient today to estimate cross-correlation function by computing the inverse FFT of cross-spectral density. The original sampling rate is as low as possible in order to reduce the computation. So the sampling rate of the cross-correlation computed is lower than the requirement of time delay estimate and a interpolation procedure is needed to raise the rate. The interpolation by zero augmented spectrum is really concise, fast and accurate. The results of the computer simulation and real underwater signal processing are shown in the paper.

在水声数字信号处理中往往采用尽量接近 Nyquist 抽样率, 以降低计算量和缓和数据采集器抽样频率不高的矛盾。但由此引起另一个问题, 即采样点太稀取样间隔过长, 不能满足研究要求。例在被动测距中用 30 微秒抽样周期, 约 3.3 倍 10kHz 分析频率, 共有 3 路信号, 总抽样率为 100k, 此值已是实验室现有采样频率极限 (100k)。但其相关估计每点 30 微秒, 误差太大。例在被动定位处理过程中, 接收换能器间距为 22 米, 目标距观察点的运动范围为 2.5—6 公里, 时延之差仅为 1—4 点左右, 而由于测量的距离与时延差成反化, 若测量的时延相差一点, 将引起距离大幅度的跳动, 严重降低测距精度。因此必须采用有效方法来确定互相关峰的精确位置, 以提高时延测量精度。我们采用了简捷频域补零方法, 减少了一般内插方法所需的运算时间, 为数据的实时处理打下了很好的基础。

内插可用来提高采样频率,在数字通讯和语音信号处理及传输中有广泛的应用。最常见的一种内插方法是,对低采样率信号序列的采样点之间插入零值,然后用适当的低通滤波器对插了零值的信号序列进行滤波即获得所需的信号^[1,2]。在被动测距中,采用互相关信号的最大值位置求时延,没有采用内插处理前所定位的目标距离曲线如图 1 所示,难以用后置处理计算目标距离。

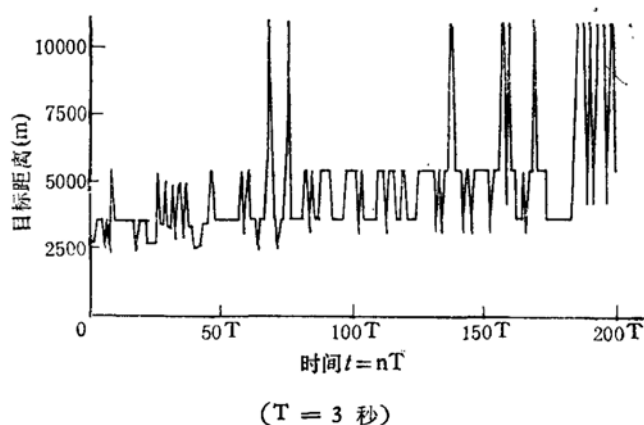


图 1 三点阵被动测距无内插所测得目标距离曲线

应用文献[1—2]的方法,要用低通滤波器的冲激响应与补零后的互相关函数卷积,所需时间长而无法进行实时运算。我们采用了简便快速的方法来实现内插。实际处理过程如下,由于现在计算互谱的逆 FFT 来得到互相关函数更有效,我们在求得两路信号的互谱后,不立即作逆

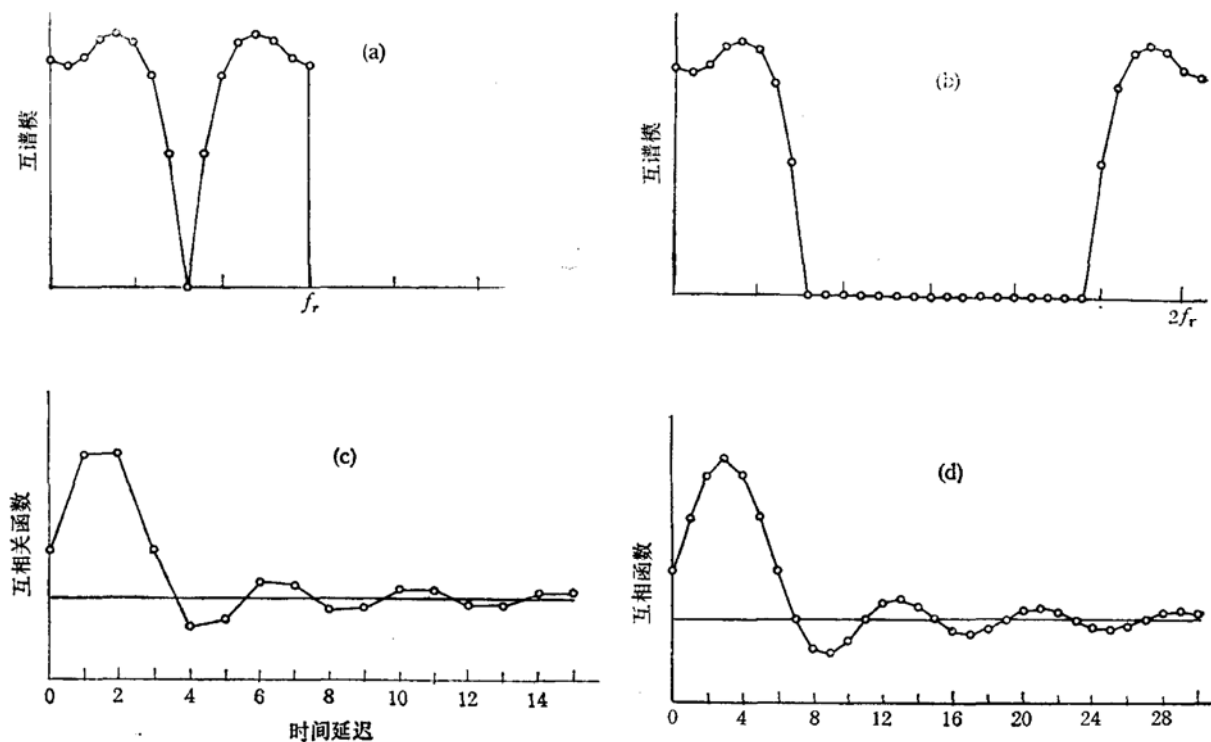


图 2 内插前后的互相关及互谱图

(a) 内插前互谱; (b) 频域补零后的互谱; (c) 内插前互相关; (d) 内插后互相关。

FFT 变换求互相关函数,先在频域补零。由于 N 点实信号的互谱在 $N/2$ 处左右对称,采用合适的实数 FFT 算法,在补零过程中无需移动数据,因而频域补零实际不需增加运算时间。然后对补零后互谱进行逆 FFT 变换,即获得插值后的互相关函数。下面以 16 点 FFT 来说明内插实现过程。图 2 为内插前后的互谱及互相关函数。图中 (a) 为内插前的互谱, (b) 为频域补零,内插一点的互谱, (c) 为内插前的互相关函数, (d) 为对应图 (b) 的逆 FFT 结果,即内插了一点,采样率提升一倍的互相关函数。计算机模拟采用幅度为一的正弦信号作样本,内插三个点。采样频率四倍于信号频率时,内插后信号与标准正弦信号的绝对误差的方差小于万分之一;在采样频率为 3.5 倍于信号频率时,内插的绝对误差的方差为 0.013 左右;在采样频率为 3 倍信号频率时,方差为 0.029 左右。以上三种采样频率中,绝对误差的均值均小于方差一至二个数量级。

本实验室采用的实时数据分析系统示于图 3。

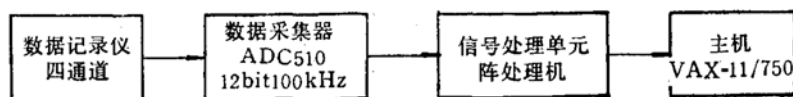


图 3 海上实验数据实时分析系统示意图

在分析数据过程中,我们充分利用了模数转换器 ADC510 和阵列机 AP500 的特性,提高了分析系统的实时处理数据能力。本内插法对实际海上信号进行处理,本记录船三点布阵,换能

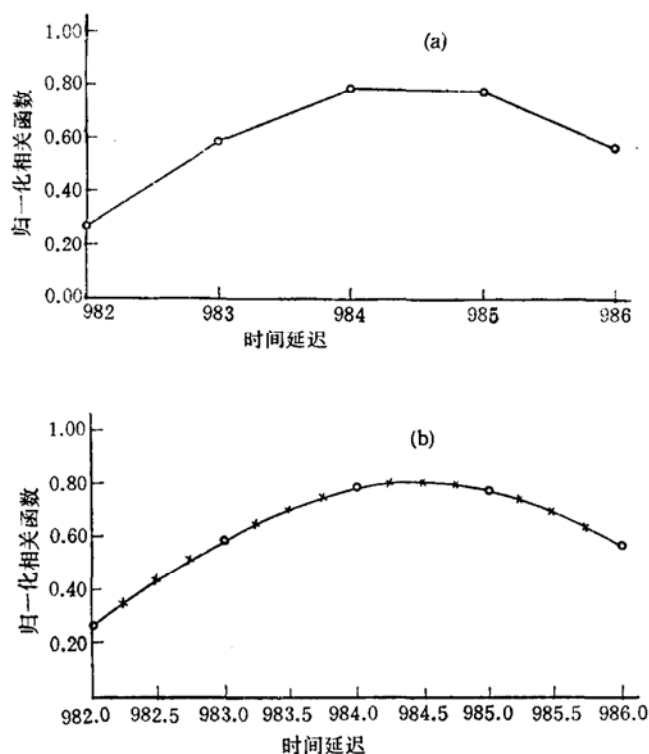


图 4 海上实验数据内插前后的互相关曲线(每点 30 微秒)

(a) 内插前归一化互相关函数; (b) 内插三点后的归一化互相关函数

器间距为 22 米,总跨度为 44 米,水下 8—9 米匀速航行,航速 5 节.目标船发射宽带噪声,发射源在水下 7 米,海况小于 3 级.分析时,取样频率为 33.3kHz,目标距观察点范围为 2.5—6 公里,考查时间共为 10 分钟左右.图 4 为海上实验数据内插前后的互相关曲线.图中 (a) 为一个未内插处理前的互相关峰值附近的曲线, (b) 为内插三个点后的互相关曲线,经内插后,曲线变得平滑,最大值位置由 984 点移至 984.5 点,相关系数由 0.78 升至 0.80.

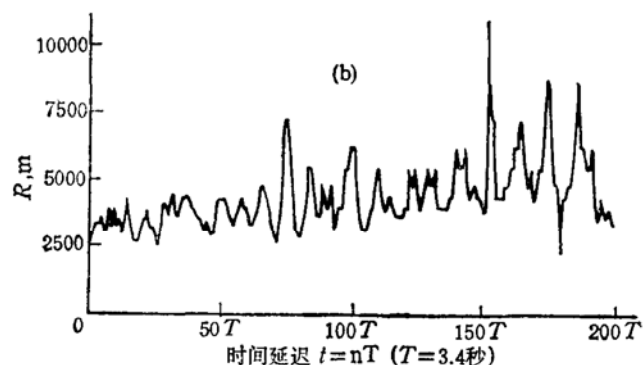


图 5 三点阵被动测距内插后所测得目标距离曲线

图 5 为三点阵被动测距内插三个点后计算出的距离.对比图 1 与图 5 可以看出图 5 的距离分级增加,抖动明显减少,相关估计的量化误差由 30 微秒降至 7.5 微秒,目标距离的测量误差明显减少,运动趋势也更为明显,这为以后的后置处理作了很好的准备.

参 考 文 献

- [1] R. E. Crochiere and L. R. Rabiner, "Optimum FIR digital filter implementations for decimation, interpolation, and narrow-band filtering", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, **ASSP-23**, 1975, 444—456.
- [2] 李启虎, "数字式声纳中的升采样率处理", 声学学报, 1990 年, No. 1, 7—11.