

手持数字示波表波形插值优化设计

陈大兵 赵建 陈晓龙

(西安电子科技大学机电工程学院 西安 710071)

摘要: 在手持数字示波表中采用插值算法可以大大提高等效输入带宽,而对于手持系统,由于系统的数据存储及数据的处理能力有限,传统插值算法系统运算量很大,从而限制了它在手持仪器上的应用。本文在常用的插值方法基础上,根据手持示波器的特点,在补零插值的原理和算法基础上,提出了分级插值的优化算法,并给出了系统仿真及实现方法,仿真及实践结果表明,此算法可以大大降低运算量,且不影响插值效果,是一种实用、有效的插值算法。

关键词: 补零; 分级插值; 手持示波表

中图分类号: TM935 **文献标识码:** A

Wave interpolation optimization design for hand-held scopememter

Chen Dabing Zhao Jian Chen Xiaolong

(School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract: Interpolation algorithm can enhance the effective bandwidth in hand-held scopememter. Due to the limitation on data storage and data processing ability for all hand-held system, conventional interpolation algorithm needs huge operation and calculation which restrained its application in hand-held devices. We present an optimized graduation interpolation algorithm on the basis of zero padding principle and also give illustrate its realization process and simulation results. Testing results show that this algorithm can reduce calculation complexity without sacrificing measuring accuracy and is a practical and effective interpolation algorithm.

Keywords: zero padding; graduation Interpolation; hand-held scopememter

0 引言

本文设计的手持数字示波表, A/D 采样率为 80 MHz, 但是对频率较高的信号, 如 20 MHz 信号每周只能采 4 个点, 直接用这样的数据显示波形效果很不平滑, 对于有些不规则信号甚至无法反映实际的输入波形, 因此必须对数据进行插值。

1 常用的插值方法

常用的插值方法主要有 2 类: 一是基于插值曲线的插值方法, 如线性插值、多项式插值、样条曲线插值、高斯插值等; 二是补零的插值方法。

这 2 种方法各有优缺点, 适用于不同的场合。基于插值曲线的插值方法在信号曲线次数不高且采样点间需插入点数较少时插值的精度较高, 算法直接明了, 运算量较小。补零的插值方法利用补零前后信号的频谱变化来完成信号的插值, 在信号时域曲线复杂且两个采样点之间需插入点数较多时容易实现, 但在两点间需插值的点数较多时, 滤波器的阶次会迅速升高, 运算量很大。本文中的波

形插值问题因为信号的曲线阶次未知, 并且为使曲线尽量平滑, 两个采样点间需插入的点数应尽可能的多, 因此选择补零的插值方法来实现曲线的插值。

2 补零的插值方法原理和算法

用 $x(n)$ 表示插值前的信号, $v(n)$ 表示补零后的信号, 即在 $x(n)$ 相邻的两个点之间补 $L-1$ 个零, 其中 L 为插值倍数, 则有:

$$v(m) = \begin{cases} x(m/L) & m = 0, \pm L, \pm 2L, \dots \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

进行 DTFT 可得:

$$V(e^{j\omega}) = X(e^{j\omega/L}) = X(e^{j\omega}) \quad (1)$$

因为 x 周期为 2, 所以 v 的周期为 $2/L$, 式(1)说明插值后信号频谱在 $(-\pi/L, \pi/L)$ 内等于插值前信号的频谱, 相当于对未插值的信号进行了周期压缩。时域关系如图 1 所示, 频域关系如图 2 所示。

因此在补零后将信号通过一个截止角频率为 π/L 的低通滤波器, 就可以很好地取得插值后的信号, 即滤波器的频率响应应为:

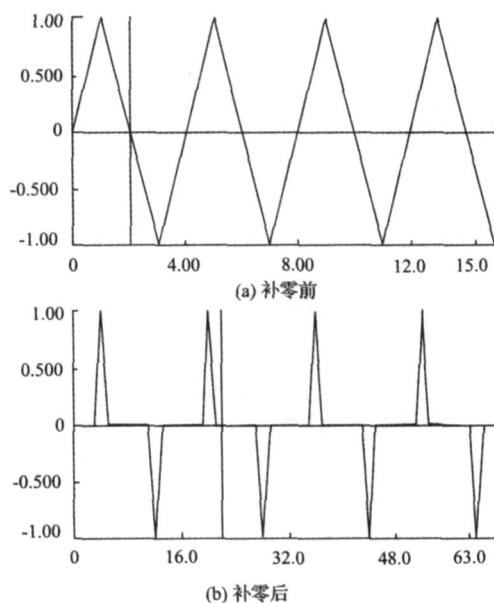


图1 补零前后信号的时域关系

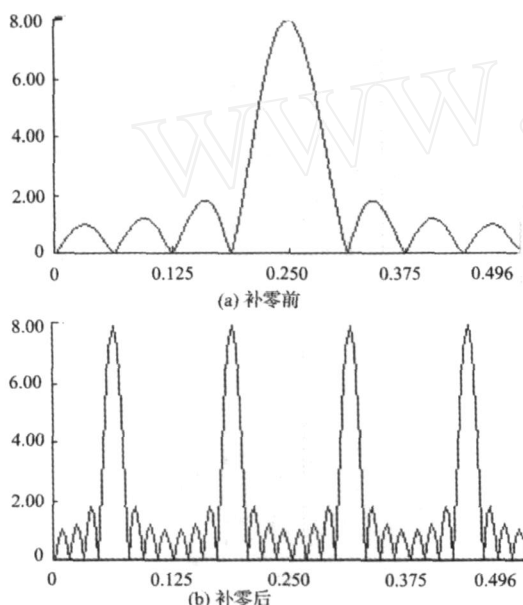


图2 补零前后信号的频域关系

$$H(e^{j\omega}) = \begin{cases} L & |\omega| \leq \pi/L \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

式中:幅度 L 保证了信号的幅度。

图3为补零插值方法的原理框图(图中 $L=4$)。

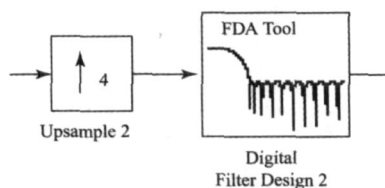


图3 补零插值方法的原理框图

3 算法的仿真与优化

从上述算法描述中可以看出,有2个方面的因素会影响插值算法的性能和效率。一是补零后低通滤波器的截止角频率为 $\frac{\pi}{L}$,其中 L 为插值倍数,即其归一化频率为 $\frac{1}{2L}$ 。也就是说插值倍数 L 越大,低通滤波器的截止频率就越低,滤波器的通带就越窄,实现滤波器的阶次也就越高,这样算法的运算量就会急剧增大。另一方面,为了保证信号通过低通滤波器后幅度尽可能小的失真,就应要求滤波器通带尽可能平坦,这也会使滤波器的阶次变高,同样会增大运算量。因此,为降低滤波器的阶次要求,插值倍数 L 不应太高。

在实现波形插值时,按照波形平滑的要求确定插值倍数 L 后,若 L 较大,可分成几次多级完成插值。

在 MATLAB 中建立直接实现 16 阶插值的模型。仿真中给出的插值前信号的时域和频域图如图4所示。给系统输入与直接实现时的输入信号相同的离散信号,两级实现插值后信号的时域和频域图如图5所示。从图5中结果可以看出分级实现后波形效果依然良好。至于直接插

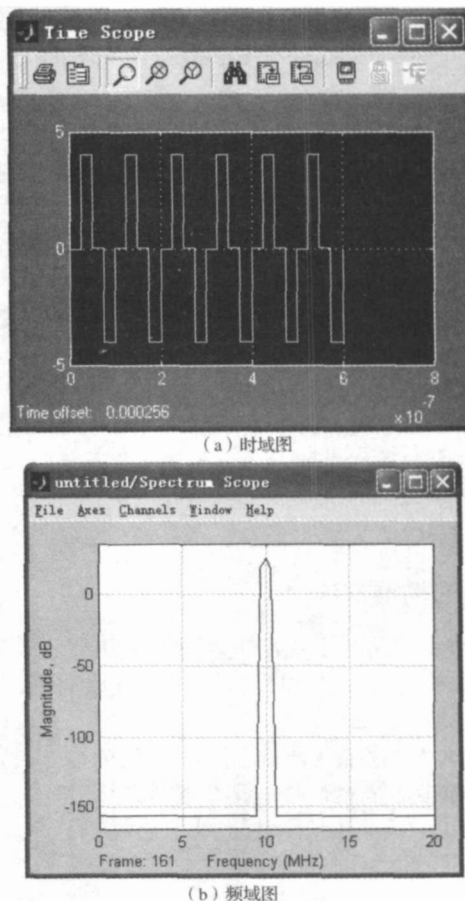
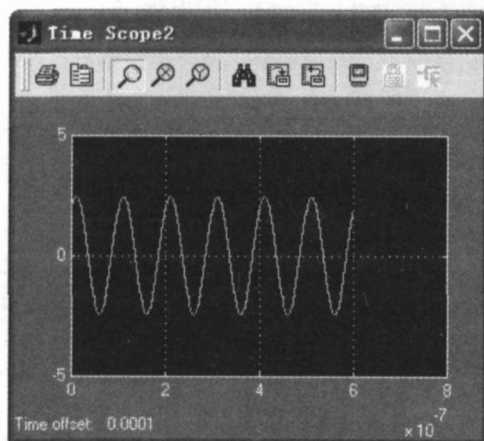
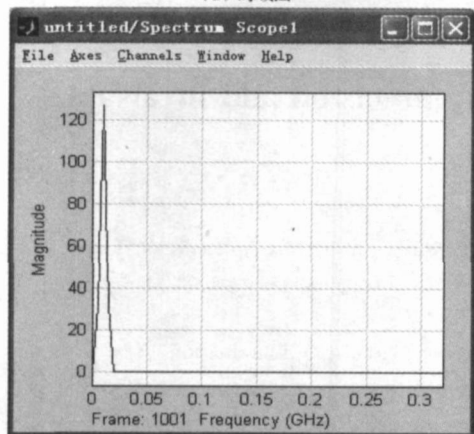


图4 插值前信号的时域和频域图

值与多级插值这 2 种实现方法的运算量和运算时间,需要在实际程序中进行比较。



(a) 时域图



(b) 频域图

图 5 两级实现 16 阶插值后信号的时域和频域图

4 基于 DSP 的信号波形插值程序实现及算法比较

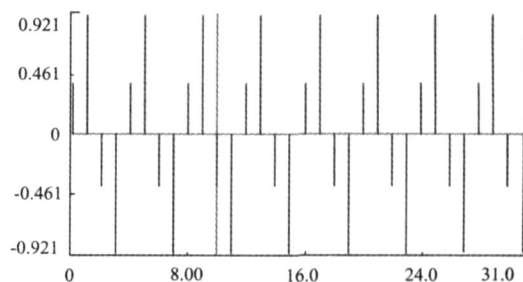
本文在 CCS 中利用 C 语言实现了 4×4 两级的 16 阶插值过程,作为例子,本文给出的输入数据为 32 点,16 阶插值后为 512 点,经过调试,程序运行结果正常。程序运行时给出的插值前后信号的时域图如图 6 所示,程序在 PC 机上的实现时间为 43.30 s。

作为比较,本文又在 CCS 中用 C 语言实现了直接的 16 阶插值,输入数据仍为 32 点,16 阶插值后为 512 点,运行时间为 236.42 s。可见采用分级插值,降低了滤波器阶次,运行时间近似为未分级的 1/5,很大程度上减小了运算量。

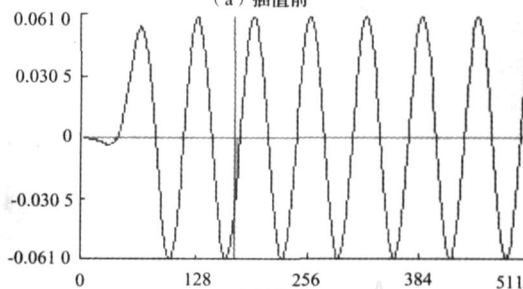
需要说明的是,上述程序运行时间是在 PC 环境下得到的,而在 DSP 上运行花费时间小得多,从时间上可以满足仪器的使用要求。

5 总 结

使用多级插值方法,可以大大降低计算量。在使用中发现,使用此方法,示波表的等效输入带宽可以大大提高,



(a) 插值前



(b) 插值后

图 6 插值前后输入信号的时域图对比

且测量速度影响不大,是一种非常适合于手持示波表的算法,实际使用中,选择合适的级数以及合适的滤波器系数,可以很好地满足系统插值要求。

参 考 文 献

- [1] 周林. 数据采集与分析技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2005.
- [2] JJ G 1048-95 数据采集系统校正规范[S]. 北京:中国计量出版社,1996.
- [3] 林茂六. 高速采样信号数字内插理论与正弦内插算法研究[J]. 电子学报,2000,28(12):8-10.
- [4] GOCHIERE R E, RRABINER L. Interpolation and decimation of digital signals—a tutorial review [J]. Proceeding of the IEEE,1981,69(3):300-331.
- [5] 刘益成,罗维炳. 信号处理与过抽样转换器[M]. 成都:电子科技大学出版社,1997.
- [6] 龚成. 数据采集系统中关键技术的研究和实现[J]. 电子测量技术,2006,29(3):81-82.
- [7] 奥本海姆 A V,谢弗 R W. 数字信号处理[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [8] 张慧. 数字存储示波器中的插值算法研究[J]. 盐城工学院学报:自然科学版,2006,19(1):44-47.

作 者 简 介

陈大兵,男,1982 年出生,硕士研究生,主要研究方向为智能化仪器仪表。

E-mail: cdb-007@tom.com

赵建,男,教授,主要研究方向为智能化仪器仪表

