

移位线性插值算法在同步化中的应用

董建青, 陈隆道*, 文昊翔

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为了解决传统的线性插值算法在数据同步化过程中涉及到大量的乘、除法操作, 从而导致运算效率低等问题, 将移位线性插值技术应用到数据同步化中。开展了用移位比较的方式对非同步化数据进行线性插值以实现数据同步化的分析, 建立了完成一个整周期同步化与所需CPU时钟周期之间的关系, 提出了移位线性插值的方法; 最后, 在DSP TMS320F2812上对移位线性插值算法完成64点同步化运行的时钟周期进行了统计。研究表明, 移位线性插值算法减少了CPU运行的时钟周期, 运算效率提高了近768.08%。

关键词: 同步化; 移位线性插值算法; TMS320F2812

中图分类号: TM935 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)10-1217-03

Shifting linear interpolation algorithm applied to synchronization

DONG Jian-qing, CHEN Long-dao, WEN Hao-xiang

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to solve the problems of frequent multiplication and division and low computational efficiency in the process of data synchronization linear interpolation, the shifting linear interpolation was investigated. After analysis of data synchronization linear interpolation with shifting and comparing, the relationship between completing a whole cycle synchronization with desired CPU clock cycles was established, and the shifting linear interpolation algorithm was presented. The CPU clock cycles of the shifting linear interpolation which completed 64-point synchronization were evaluated on the DSP TMS320F2812. The experimental results show that the shifting linear interpolation algorithm reduces the CPU clock cycles and improves the computational efficiency by 768.08%.

Key words: synchronization; shifting linear interpolation algorithm; TMS320F2812

0 引言

目前常用的同步采样技术有硬件同步采样技术和软件同步采样技术^[1]。软件同步采样技术高度灵活, 同时又能节约成本, 应用更加广泛。研究者先进行等时取样, 然后将等时取样数据进行同步化, 二次取样间隔与信号周期存在整数倍的关系。对同步化以后的数据用FFT变换进行谐波分析, 可以减少频谱泄漏和参量误差, 实现周期性过程信号的周期域高精度分析^[2-3]。传统的软件同步化方法是运用线性插值算法对取样序列重新定位, 得到同步化序列^[4]。这个过程会涉及到大量的乘、除法操作, 运算效率低。

为了提高运算效率, 本研究采用移位的方式来代

替乘除法操作, 提出移位线性插值算法。在非同步采样谐波分析^[5]领域, 该算法可以发挥重要作用。

1 取样数据同步化的定位

等时取样序列 $X_1(k), k=0, 1, 2, \dots, M-1$, 至少包含一个完整的周期。同步化序列 $X_2(k), k=0, 1, 2, \dots, N-1$, 恰好是一个完整的周期^[6-7]。对于不存在直流分量的信号, 等时取样序列应该是: 序列首端 $X_1(0) \leq 0, X_1(1) > 0$, 序列末端 $X_1(M-2) < 0, X_1(M-1) \geq 0$ 。等时取样序列与同步化序列如图1所示, 虚线代表同步化序列。

研究者用移位的方式实现线性插值之前, 首先要相邻两个取样值之间等间隔插入 K 点, $K+1$ 必须

收稿日期: 2012-06-01

作者简介: 董建青(1987-), 男, 浙江桐乡人, 主要从事数字信号处理、嵌入式系统及智能仪器方面的研究。E-mail: dongjianqing1106@126.com

通信联系人: 陈隆道, 男, 教授, 博士生导师。E-mail: clongdao@vip.sohu.com

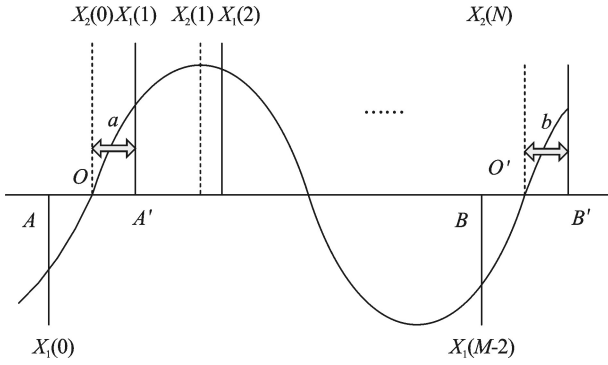


图1 等时取样序列与同步化序列

是2的幂次方。 K 越大精度越高,但是运算复杂度增加。本研究折中选取 K 为255,定义两个无符号16位整数 Z , a 。初始化 $Z = X_1(1) - X_1(0)$, $a = 0$ 。 a 已经在图1上标出, a 的值为点 O 到点 A' 之间插入的点数。笔者通过逐次比较的方法计算 a ,流程图如图2所示。

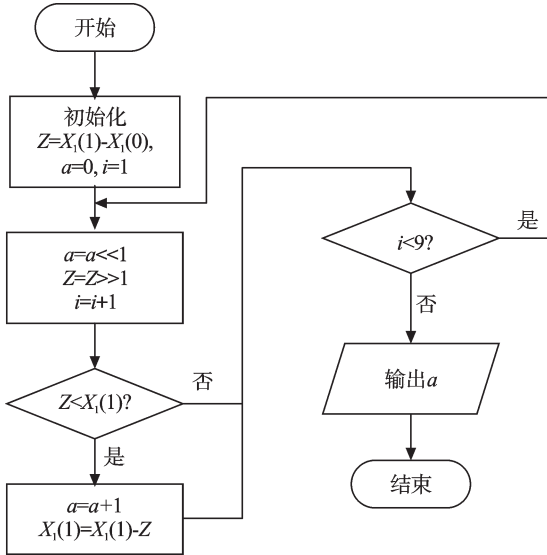


图2 逐次比较流程图

研究者用同样的方法可以计算得到 b , b 的值为点 O 到点 B' 之间插入的点数。因为64点FFT变换可以分析1~31次谐波,能够满足电力系统对谐波分析的要求,该实验采用64点同步化,即 N 取64。

一个完整周期从 O 点到 O' 点总共包含的点数记为 S :

$$S = (M-1) \times 256 - (256-a) - b \quad (1)$$

64点等间隔插值,相邻两点之间所包含的点数记为 P :

$$P = S/64 \quad (2)$$

本研究设定变量 i 和 j ,其与 k 的函数关系如以下两式所示:

$$i = [(256-a) + k \cdot P] / 256 \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3)$$

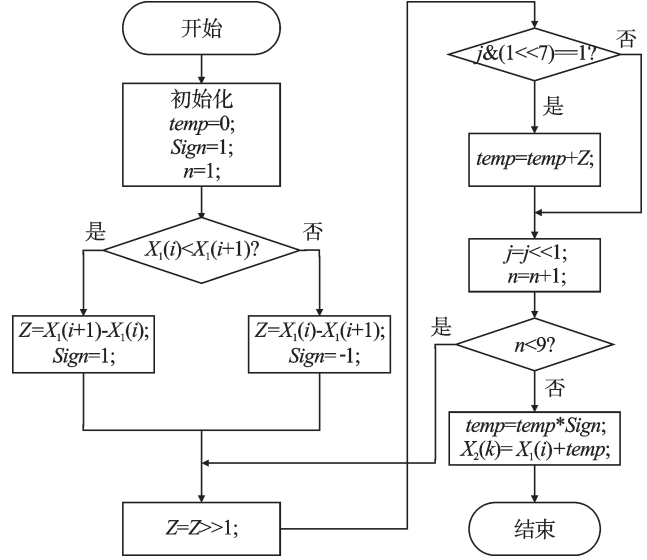
$$j = [(256-a) + k \cdot P] \% 256 \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (4)$$

则 $X_2(k)$ 插在 $X_1(i)$ 与 $X_1(i+1)$ 之间:

$$X_2(k) = X_1(i) + \frac{j}{256} \cdot (X_1(i+1) - X_1(i)) \quad (5)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

具体求解的流程图如图3所示。

图3 $X_2(k)$ 求解流程图

2 Matlab 仿真计算

本研究先用Matlab软件生成一组用于仿真分析的初始化数据signal^[8],如下所示:

$$\begin{aligned} f_s &= 50.10; & \% \text{信号基波频率} \\ F_s &= 4000; & \% \text{取样频率} \\ Sam_N &= 800; & \% \text{总取样的点数} \\ sam_n &= 1:Sam_N; \\ signal &= \\ &0.95 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_s / F_s \cdot sam_n) \cdots + \\ &0.02 \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_s / F_s \cdot sam_n) \cdots + \\ &0.02 \cdot \sin(5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_s / F_s \cdot sam_n) \cdots + \\ &0.01 \cdot \sin(7 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_s / F_s \cdot sam_n); \\ signal &= \text{fix}(signal \cdot 32767); \end{aligned} \quad (6)$$

将这组数据用移位线性插值算法进行同步化,计算得到的信号频率用 F 表示,则和 F 相关的表达式为:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_s} \cdot \frac{256}{S} \quad (7)$$

推导出信号频率的表达式:

$$F = \frac{F_s \cdot 256}{S} \quad (8)$$

将同步化后的数据用Matlab自带的fft()函数^[9]进行变换,取模得到各次谐波的幅值,具体结果如图4所示。本研究计算得到的信号频率保留4位小数后为

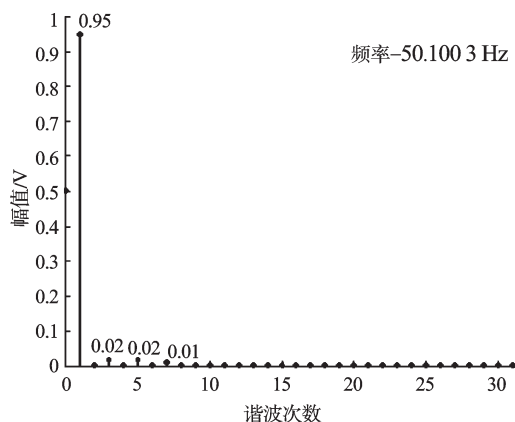


图4 同步化数据FFT变换后取模结果

50.100 3 Hz,基波、3次、5次和7次谐波的幅值保留6位小数依次为0.949 990 V、0.020 649 V、0.020 193 V、0.010 105 V,其余谐波的幅值近似为0 V。与仿真信号的特征基本吻合。

3 Matlab 仿真结果分析

用移位线性插值算法计算得到信号频率的相对误差为:

$$\frac{50.100\ 3 - 50.10}{50.10} \approx 0.000\ 6\% \quad (9)$$

基波、3次、5次和7次谐波相对误差如表1所示。

表1 移位线性插值谐波相对误差

谐波次数	理论谐波幅值/V	计算得到谐波幅值/V	相对误差/(%)
1	0.95	0.949 990	0.001 053
3	0.02	0.020 649	3.245 000
5	0.02	0.020 193	0.965 000
7	0.01	0.010 105	1.050 000

本研究用涉及大量乘、除法的传统线性插值算法^[10]对以上初始化数据也进行同步化。对计算得到的信号频率保留4位小数为50.099 9 Hz,对基波、3次、5次和7次谐波幅值保留6位小数依次为0.949 500 V、0.019 904 V、0.019 745 V、0.009 755 V,各次谐波相对误差如表2所示。

表2 传统线性插值谐波相对误差

谐波次数	理论谐波幅值/V	计算得到谐波幅值/V	相对误差/(%)
1	0.95	0.949 500	0.052 631
3	0.02	0.019 904	0.479 995
5	0.02	0.019 745	1.275 000
7	0.01	0.009 755	2.446 000

对比表1和表2,移位线性插值算法实现了非同步等时取样数据的同步化,再通过FFT变换可以获得精确的周期域信号的电参数。

4 算法时钟周期统计

为了精确地获知移位线性插值算法相比传统线性插值算法在运算效率方面的提升程度,本研究先从初始化数据中找出一组序列 $X_1(k), k=0,1,2,\dots, M-1$,序列首端 $X_1(0) \leq 0, X_1(1) > 0$,序列末端 $X_1(M-2) < 0, X_1(M-1) \geq 0$ 。然后在DSP TMS320F2812处理器上对以上序列进行64点插值运算。CCS3.3使能CLOCK功能,统计两种算法在处理器上运行的时钟周期。传统的线性插值算法完成同步化需要146 038个时钟周期,而移位线性插值算法仅需16 823个时钟周期,效率提升了近768.08%。

5 结束语

本研究的重点是对非同步等时取样数据同步化用移位的方式代替直接乘除进行线性插值,两种算法的计算精度都很高,但移位线性插值算法运算效率提升显著,接近768.08%。究其原因是在DSP芯片TMS320F2812有一个16位的桶形移位器。由于没有桶形移位器的单片机(如MCS-51、AVR等)上测试这两种算法,研究者无法知道运算效率在这些处理器上究竟有多大的提升,但移位运算相对直接乘除运算有天然的优势。所以,用移位方式实现线性插值的做法在低性能处理器领域会有比较广泛的应用。

参考文献(References):

- [1] 祁才君. 数字信号处理技术的算法分析与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 王培良,祁才君. 实时电能质量分析仪中采样控制电路的优化设计 and 非同步采样的同步化算法[J]. 电测与仪表,2003,40(12):24-28.
- [3] 曾泽昊,余有灵,许维胜. 一种减小频谱泄漏的同步化算法[J]. 电测与仪表,2005,40(11):12-14.
- [4] 蔡忠法,陈隆道,周箭. 非同步采样的同步化谐波分析算法[J]. 浙江大学学报:工学版,2008,42(4):682-685.
- [5] 韩建超,杨北革,李芙英. 准同步谐波分析的DSP实现[J]. 继电器,2005,33(18):49-52.
- [6] 章梦哲,王军,赵书娟,等. 基于Hermite插值同步化算法的电网谐波与无功测量方法[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(12):58-61.
- [7] 陈隆道,钱照明,张圣训. 周期域分析中非同步取样数据的同步化[J]. 电子学报,2001,29(7):950-953.
- [8] 唐向宏,岳恒立,郑雪峰. MATLAB及在电子信息类课程中的应用[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [9] 陈杰. MATLAB宝典[M]. 2版. 北京:电子工业出版社,2010.
- [10] 杨绍拉,陈隆道. 基于嵌入式Linux的电参数测量系统设计[J]. 机电工程,2012,29(2):238-240.

[编辑:李辉]