

# 基于小波变换的微机保护数字滤波器

黄群古 周有庆 湖南大学电气工程系 长沙 (410082)

**【摘要】** 根据小波理论的原理,具体地推导了快速小波变换的算法和小波包矩阵合成的算法,得到了基于小波原理的数字滤波器,这种滤波器对系统的高频分量和衰减的直流分量都有很好的滤除效果。

**【关键词】** 小波变换 微机保护 数字滤波

在微机保护滤波算法中<sup>[2]</sup>,用的较多的是付氏算法.尽管付氏算法可以达到较为理想的滤波目的,但对于滤除衰减的直流分量却不够精确,只能对衰减因子作线性化处理。

本文提出的小波算法,却基本上能够滤除衰减的直流分量和高频分量,也不需要经常数作近似处理,这对提高微机保护的可靠性很有帮助。

基于小波分析的数字滤波器,是在付氏数字滤波器的基础上演变而来的.构成付氏变换的算法中,主要依据付氏变换公式  $f(w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)e^{-jwx} dx$ . 这不仅需在  $f(x)$  的过去和现在的信息,而且还要知道  $f(x)$  未来的信息.对付氏变换作出的改进是 Gabor 变换,这是因为现实中只能处理有限时间的信号,这就要求对无限长的时间设置窗口,即窗口付氏变换. Gabor 窗口变换需要使用窗口函数,较为广泛应用的是矩形窗、三角形窗及 Gauss 窗.窗口变换虽然解决了无限和有限的问题,但对信号的突变和平坦部分, Gabor 变换都同等看待,这就使得信号的高频部分看起来“模糊”,信号的低频部分又只反映局部.小波变换正是基于 Gabor 变换的窗口原理,采用变窗口的办法,使得对信号的观察达到满意的效果。

## 1 二进小波变换及其算法

在小波变换理论中<sup>[1]</sup>,信号  $f(x) \in L^2(R)$ ,选择  $\{\psi_{j,k}(x), j, k \in Z\}$  为  $L^2(R)$  的正交基函数,这里  $\psi_{j,k}(x) = 2^{j/2}\psi(2^jx - k)$ ,则  $f(x)$  可表示为:

$$\begin{cases} f(x) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_{j,k} \psi_{j,k}(x) \\ C_{j,k} = (f, \psi_{j,k}) \end{cases} \quad (1)$$

按照多分辨分析原理<sup>[1][4]</sup>,  $L^2(R)$  可以分解为一系列子空间的直和,即

$$L^2(R) = \cdots \oplus W_{-1} \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus \cdots \quad (2)$$

$W_j$  的基底为  $\{\psi_{j,k}(x), k \in Z\}$ ,且

$$W_j \perp W_l \quad j \neq l$$

$$\text{从而有 } g_i(x) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_{i,k} \psi_{i,k}(x)$$

$$g_j(x) \in W_j$$

$$f(x) = \cdots + g_{-1}(x) + g_0(x) + g_1(x) + \cdots$$

## 2 信号函数的小波分解与重构

在多分辨分析中,其着眼点是从空间  $L^2(R)$  中的一个闭子空间  $V_j$  着手,把  $V_j$  也分解成其子空间直和的形式:

$$V_j = W_{j-1} \oplus V_{j-2} \oplus \cdots \quad (3)$$

空间  $V_j$  与  $W_j$  具有关系  $V_{j+1} = V_j \oplus W_j$  ( $j \in Z$ ) 其中  $\{V_j\}$  是用某个尺度函数  $\psi \in L^2(R)$  生成,而  $\{W_j\}$  用某个小波  $\psi \in L^2(R)$  生成.若



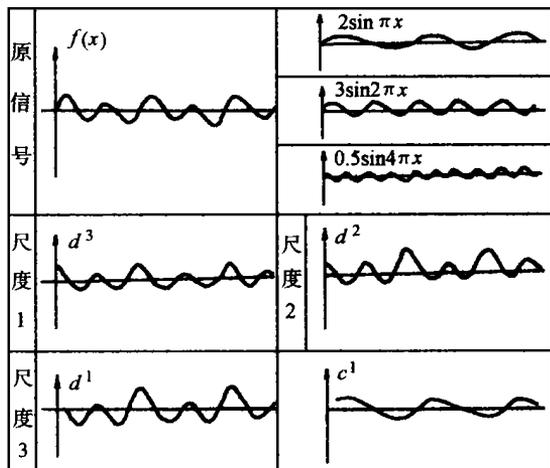


图1

从仿真结果看,尺度3的 $C^1$ 波形与原图象 $f(x)$ 中的 $2\sin\pi x$ 相似,如果只用 $C^1$ 波按公式(12)即可得到滤波后的波形,其它的高频部分 $0.5\sin 4\pi x$ , $3\sin 2\pi x$ 在 $C^1$ 中都没有反映.这正是小波变换的特点.如果 $f(x)$ 中含有 $Ae^{-\alpha x}$ 这种衰减的直流分量,由于 $Ae^{-\alpha x}$ 的付氏变换为 $\frac{A}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}e^{-j\text{tg}^{-1}\frac{\omega}{\alpha}} = H(\omega)$ 故其能量绝大部分集中在 $\omega=0$ 附近,当 $\omega=10a$ 时,其幅值为 $|H(10\alpha)| = 0.1|H(0)|$ ,故电力系统故障时,对于确定的 $N, M, A, e^{-\alpha x}$ 部分全部包含在 $C^{N-M}$ 中,若在重构 $f(x)$ 时,去掉 $C$ 中分量,只用 $d^{N-k}(k=1, 2, \dots, M)$ 重新构造原波形 $f(x)$ ,

则 $f(x)$ 中将几乎不含 $Ae^{-\alpha x}$ 分量和直流成分,从而在 $f(x)$ 含有 $Ae^{-\alpha x}$ 的情况下,运用小波变换,便能完全将 $Ae^{-\alpha x}$ 滤除.

## 5 结论

本文应用小波变换的方法,提出的微机保护用的小波数字滤波器,功能强、速度快,对于提取基频分量时,只需用 $W_i$ 或 $W_i^*$ ( $i$ 为 $1 \sim M$ 中某数),其运算能满足实时要求,并且小波滤波器除了能滤取高频分量外,还能滤除直流和衰减的直流分量,所以小波滤波器在实时控制和微机保护中很有应用价值.

## 参考文献

- 1 任震等. 小波分析及其在电力系统中的应用, 全国高等学校电力系统及其自动化专业第十二届学术年会论文集, 保定: 1996, 126~135.
- 2 陈德树. 计算机继电保护原理与技术. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- 3 Olivier Rivoul and Pierre Duhamel Fast algorithms for discrete and continuous wavelet transforms IEEE Transactions on information theory. 38(2), 1992, 3 569~584
- 4 刘贵忠, 邱双亮. 小波分析及其应用. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995.
- 5 徐佩霞, 孙功宪. 小波分析与应用实例. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1996.

## DIGITAL FILTER FOR NUMERICAL PROTECTION BASED ON WAVELET TRANSFORM

Huang QunGu, Zhou YouQing (Dept of Electrical Engineering, Hu'nan University, Changsha, Hunan, 410082)

**Abstract** According to the principles of wavelet theory, this paper deduces concretely a fast wavelet transform algorithm and combined matrix wavelet packets algorithm, thus getting a digital filter based on wavelet theory. There is a good filtering effect for the high-frequency parts and attenuate D.C part of electric power system in this filter.

**Keywords** Wavelet transform Numerical protection Digital filtering