

基于 B 样条小波分析的点云数据滤波处理技术

田旭东¹, 王 艸²

(1. 西安科技大学测绘科学与技术学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘要 在扫描仪采集数据过程中, 会受多种因素影响, 所获得的点云数据不可避免地混有不合理的离散点和小振幅噪声, 这些噪声数据如不消除, 必会影响所建模型的精度。针对离散数据的特点, 对小波分析的原理及方法进行了研究, 提出将具有良好对称性和正交性的 B 样条小波作为基函数, 对扫描的点云数据进行滤波处理。实验结果表明, 以 B 样条小波函数为基函数的改进滤波法不仅可以有效滤除点云数据中的噪声数据, 还能较好保留物体原始的特征信息, 使滤波后的点云模型能更加精确地表示实际的特征信息。因此, 该方法在点云滤波、去噪等处理方面具有一定应用价值。

关键词 噪声数据; 小波分析; B 样条小波

中图分类号: P225. 2

文献标识码: B

文章编号: 1672-4097(2019)03-0043-03

0 引言

在 20 世纪 90 年代, 学者们提出了一种通过在小波阈值对噪声小波幅度和系数进行非线性处理(如缩小和切削等)来去除噪声的方法, 这种方法被称为小波去噪。在小波分析出现以前, 在信号处理、量子物理及图像处理等很多领域主要去除噪声的方法是傅里叶变换法。傅立叶变换是一种信号的整体变换, 只能完全在时域或频域进行分析处理, 所以并不能准确反映各自在局部区域上的特征, 因此并不能用于局部分析。为了实现局部分析功能, 有学者提出将所处理的信号以同样尺度划分, 形成许多小的时间间隔。为了达到时频局部化的目的, 对每个时间间隔都用傅里叶变换对其进行分析, 进而确定其频率, 这就是短时傅里叶变换法^[1], 也称为加窗傅里叶变换。但因其窗口的形状和大小都固定, 所以加窗傅里叶变换可以实现一定程度上时频局部化, 但其存在固有局限: 即时间频率窗口是固定不变的。因此, 对于非平稳信号只能解决部分问题。

1 小波分析理论

小波, 顾名思义是一种小区域的波, 它只在一小段区间内有非零的值, 并不像正弦波那样无始无终。小波分析是一种时频局部化的信号分析方法, 其窗口的大小固定且形状可变, 可以根据信号频率的大小改变频率和时间的分辨率。例如, 在信号的低频部分频率分辨率较高, 而时间分辨率较低; 在高频部分则刚好相反^[2]。

设 $\psi(t) \in L^2(R)$ ($L^2(R)$ 表示平方可积的实数空间, 即能量有限的空间信号), 傅里叶变换为 $\hat{\psi}(\omega)$ 。 $\hat{\psi}(\omega)$ 满足容许条件:

$$C_\psi = \int_R \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (1)$$

式(1)中, $\psi(t)$ 为基小波或母小波。由容许条件可以推论出, 基小波 $\psi(t)$ 至少必须满足 $\hat{\psi}(\omega=0)=0$, 也即 $\int \psi(t) dt = 0$ 。也就是说, $\hat{\psi}(\omega)$ 必须具有带通性质。将母小波经伸缩和平移得小波序列, 又称子小波:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a, b \in R; a \neq 0 \quad (2)$$

式(2)中, a 为伸缩因子或尺度因子, b 为平移因子。

取 $a=a_0^m$, $b=nb_0a_0^m$, $a_0>1$, $b_0 \in R$, 则信号 $f(t)$ 的离散小波变换为:

$$W_\psi f(m, n) = a_0^{-\frac{m}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \bar{\psi}(a_0^{-m}t - nb_0) dt \quad (3)$$

由式(3)可知, 对不同频率成分 a_0^{-m} , 在时域上取样步长为 $b_0a_0^m$, 是可调的。信号频率高的(即 m 值小的)取样步长小, 信号频率低的(即 m 值大的)取样步长大。也就是说, 小波变换可以实现窗口大小的固定, 形状可变的时频局部化。

2 小波滤波及 B 样条小波

小波滤波是在 20 世纪 90 年代被提出的, 为了消除噪声的影响, 此种方法对小波波幅、系数进行

了一些非线性处理,如缩小和切削等。众所周知,物体点云数据的离散点都是用三维坐标 (x,y,z) 来表示的,但到目前为止,小波滤波的方法仅仅发展到二维的图像消噪方面,因此就需要将 x,y,z 的三维问题转化为 x,y 的二维问题,这就需要创建一个函数 $z=f(x,y)$,以便于使用二维方法对点云数据进行处理^[3-4]。本文利用一种改进后的 B 样条小波滤波算法对实验点云进行滤波处理。

设 $\varphi(x), \psi(x)$ 分别为一维滤波的尺度函数和小波函数^[5-6],且满足:

$$\begin{cases} \varphi(x) = \sum_n P_n \varphi(2x - n) \\ \psi(x) = \sum_n q_n \psi(2x - n) \end{cases} \quad (4)$$

则相应二维滤波的尺度函数和小波函数满足^[5-7]:

$$\begin{cases} \varphi(x,y) = \varphi(x)\varphi(y) \\ \psi^1(x,y) = \varphi(x)\psi(y) \\ \psi^2(x,y) = \psi(x)\varphi(y) \\ \psi^3(x,y) = \psi(x)\psi(y) \end{cases} \quad (5)$$

相应上述方程构成了二维滤波的一组完全正交基。然后,取基数样条函数 $N_m(x)$ 作为小波滤波的尺度函数, $N_m(x)$ 可按如下定义:

若 $N_0(x) = [0,1]$ 是区间 $[0,1]$ 上的特征函数,则 m 阶多项式基数样条函数 $N_m(x)$ 可定义为^[8]: $N_m(x) = N_{m-1}(x)$ 及 $N_0(x) = \int_0^1 N_m(x-t)dt$,取 $\varphi(x) = N_m(x)$,可在 $V_i = span\{\varphi_{j,k}/K(\varepsilon)\} < L(R)$ 的闭空间 $\{V_j\}_{j < \varepsilon}$ 上构造一个具有最小支撑的基数样条小波 $\psi(x)$,这种小波就成为 B 样条(Biorthogonal)小波。它的二尺度方程为:

$$h(n) = \begin{cases} 2^{1-m} \binom{m}{n} & 0 \leq m \leq n \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6) \quad g(n) = \begin{cases} \frac{(-1)^n}{2^{m-1}} \sum_{i=0}^m \binom{m}{n} N_{2m}(K+1-l) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$
$$\begin{cases} N_2(K) = \delta_{k,1} \\ N_{n+1}(K) = \frac{K}{n} \times N_n(k) + \frac{n+k}{n} N_n k \end{cases} \quad K \in Z \quad (8)$$

式(8)中, $K=1,2,\dots,n; n=2,\dots,2m-1$ 。则 B 样条(Biorthogonal)小波滤波的原理为:

$$\begin{cases} W_{2^j} f(x,y) = \sum_n \sum_l p_n q_l S_{2^{j-1}} f(x-2^{j-1}n, y-2^{j-1}l) \\ S_{2^j} f(x,y) = \sum_n \sum_n p_n p_n S_{2^{j-1}} f(x-2^{j-1}n, y-2^{j-1}n) \end{cases} \quad (9)$$

3 实验数据与应用效果

将实验对象用 MATLAB 程序进行滤波处理,选取点云数据 x 方向来进行展示,步骤如下:

(1)利用小波函数对信号进行一级分解,并提取出 A 和 D 的系数。

```
[cA1,cD1]=dwt(s,'bior1.1');
l=length(s);
A1=idwt(cA1,[],'bior1.1',l);
D1=idwt([],cD1,'bior1.1',l);
```

(2)对信号进行二级分解,提取各级 A 和 D 的系数。

```
[C,L]=wavedec(s,2,'bior1.1');
cA2=appcoef(C,L,'bior1.1',2);
[cD1,cD2]=detcoef(C,L,[1,2]);
A2=wrcoef('a',C,L,'bior1.1',2);
D1=wrcoef('d',C,L,'bior1.1',1);
D2=wrcoef('d',C,L,'bior1.1',2);
```

(3)对信号进行三级分解,提取各级 A 和 D 的系数。

```
[C,L]=wavedec(s,3,'bior1.1');
cA3=appcoef(C,L,'bior1.1',3);
[cD1,cD2,cD3]=detcoef(C,L,[1,2,3]);
A3=wrcoef('a',C,L,'bior1.1',3);
D1=wrcoef('d',C,L,'bior1.1',1);
D2=wrcoef('d',C,L,'bior1.1',2);
D3=wrcoef('d',C,L,'bior1.1',3);
```

(4)得到各级滤波效果(图 1)

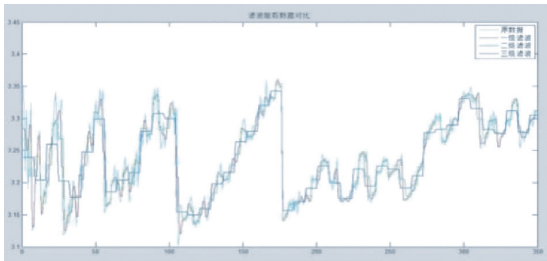


图 1 数据 x 方向滤波前后对比

从图 1 可以清晰看出,经过三级滤波后, x 方向的数据曲线比原数据要光滑得多,滤波的效果已非常明显。

将原始点云数据及各级滤波后的点云数据进行封装处理(图 2-5)。

由图 2—5 对比可知,经过三次滤波后模型表面已经比较光滑,达到了预期效果,由此可以看出,B 样条小波滤波方法可以有效滤除噪声,且较好保留了原始点云的特征信息,使滤波的点云模型能更加精确地表示实际的特征信息。

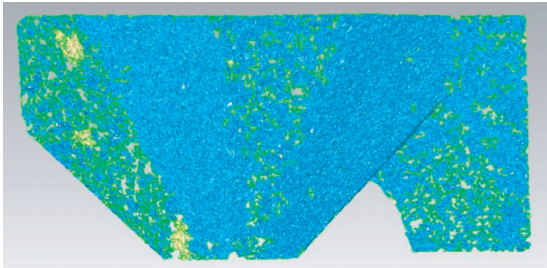


图 2 部分点云原始数据封装效果图

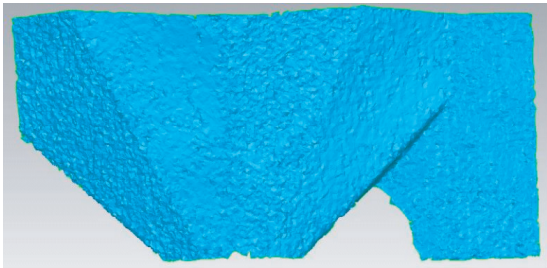


图 3 一次滤波后部分点云数据封装效果图



图 4 二次滤波后部分点云数据封装效果图



图 5 三次滤波后部分点云封装效果图

4 结 语

(1)通过对小波滤波原理的研究,提出用具有良好正交性和对称性的 B 样条小波函数作为基函数,对实验对象进行滤波处理。

(2)结果表明,此方法不仅可有效滤除噪声数据,还能较好保留原始的特征信息。因此,该方法在点云滤波去噪处理方面具有一定应用价值。

参考文献

[1] 衡彤. 小波分析及其应用研究[D]. 成都: 四川大学, 2003.

[2] 邓育仁,高荣松,丁晶. 随机水文学(四)[J]. 四川水力发电, 1986(2): 92—96.

[3] 张伟. 基于小波分析的点云消噪研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.

[4] 刘冠权,程俊廷,姚继权,等. 小波分析在三维离散数据点云滤波中的应用[J]. 辽宁工学院学报, 2003, 22(3): 33—35.

[5] 张爱明,李乃强. 多源遥感影像小波融合方法研究与分析[J]. 现代测绘, 2009, 31(5): 39—41.

[6] 靳洁. 基于小波分析的地面三维激光扫描点云数据的滤波方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.

Filtering of Point Cloud Data Based on B Spline Wavelet Analysis

TIAN Xu-dong¹, WANG Meng²

(1. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an Shanxi 710064, China;
2. Chang'an University, Xi'an Shanxi 710054, China)

Abstract In the process of collecting data by the scanner, it will be affected by many factors. The obtained point cloud data inevitably mixed with irrational discrete points and small amplitude noise. If the noise data is not eliminated, it will affect the model accuracy. According to the characteristics of discrete data, the principle and method of wavelet analysis are studied. A B-spline wavelet with good symmetry and orthogonality is proposed as the basis function to filter the scanned point cloud data. The experimental results show that the improved filtering method based on B-spline wavelet function not only can effectively filter the noise data in point cloud data, but also retains the original feature information of the object well and makes the filtered point cloud model more Accurately represent the actual characteristic information. Therefore, this method has certain application value in point cloud filtering, denoising.

Key words noise data; wavelet analysis; B-spline wavelet