

文章编号:1000-582X(2003)01-0066-03

连续小波变换在中医脉象信号处理中的应用

谢家宇¹,蔡坤宝¹,王永东²

(1.重庆大学电气工程学院,重庆400044;2.重庆大学通信工程学院,重庆400044)

摘要:小波变换具有良好的时频局域化性质,适合于非平稳信号的处理。脉诊是中医诊察疾病的重要手段,脉象反映的是人体的生理与病理信息,脉象信号具有随机性和非线性等特点。应用连续小波变换分析了15例海洛因吸毒者和15例正常人的脉象信号,提取了吸毒者脉象信号中的异常信息,为戒毒治疗的评估与改进提供客观依据。在尺度0.1、0.2、0.3和0.4下,对每一例脉象信号分别进行了处理,发现在0.2~0.4s时间间隔内,海洛因吸毒者和正常人脉象信号的连续小波变换系数间存在显著差异,并提出了用于划分海洛因吸毒者与正常人的临界参数。研究表明,连续小波变换是处理脉象信号的有效方法。

关键词:连续小波变换;脉象信号;吸毒者;正常人

中图分类号:R318.04

文献标识码:A

中医脉诊是一种传统的诊断方法,通过检查与分析脉象的变化,了解人体气血的运行状态以及脏腑生理与病理的改变,来达到临床诊断和治疗的目的。脉诊虽居四诊之末,但在古代却是验证望、闻、问诊所得的临床资料,进行综合分析,从而得出完整而正确的诊断的一项客观指标。脉诊一直受到先贤们的高度重视,精心研究,从而得以迅速发展。脉诊的部位以“独取寸口”法最为适用,寸口分寸、关、尺三部,每一部位分别反映不同脏腑的状况,其中左关反映肝、胆、膈的状况^[1]。

吸毒是当今全球性公害,近10多年来在我国又沉渣泛起,发展迅猛,其中尤以海洛因为甚。目前我国对外公布的海洛因吸毒人数是90.1万,实际人数当数倍于此,而且还在继续蔓延。毒品对国民经济、人口素质和社会安全的危害是无法估量的。

毒品直接损害的是人体的中枢神经系统,并导致心、肺、肝、血液等出现异常。吸毒者长期吸入大量毒品,毒品进入人体后,绝大部分在肝脏分解,由于长期慢性中毒,肝功能损害非常严重^[2],其后果在中医脉象上的反映是无可非议的。笔者选取了15例吸毒者和15例正常人左关部位的脉象信号,应用连续小波变换

进行分析。研究表明,海洛因吸毒者和正常人脉象信号的连续小波变换有显著差异。

1 小波变换

由于小波变换在时域和频域同时具有良好的局域化性质,近年来小波变换在理论和应用上的研究都取得了迅速的进展。它作为对时间-频率分析的创新和发展,已经广泛应用于图像处理、通信、机械振动、生物医学等领域^[3]。在工程中已获得广泛应用的小波变换主要是连续小波变换(CWT)和离散小波变换(DWT)。DWT可以通过滤波器组快速实现,是目前信号处理中常采用的形式。DWT的尺度和位移只能在二进制栅格上离散取值,这一特点使得它在许多信号分析中受到一定的限制。而CWT却可以计算任意尺度下信号的小波变换系数,这使得CWT更适宜于某些信号的处理^[4]。

设 $x(t)$ 是平方可积函数(即 $x(t) \in L^2(R)$), $\psi(t)$ 是被称为基本小波的函数,则 $x(t)$ 的连续小波变换定义为

$$WT_x(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-\tau}{a} \right) dt$$

• 收稿日期:2002-09-10

基金项目:重庆大学高电压与电工新技术教育部重点实验室资助项目

作者简介:谢家宇(1975-),女,重庆市万州人,重庆大学硕士,现在中国工程物理研究院电子工程研究所工作。主要从事生物医学信号处理研究。

$$\int \left(\frac{t-\tau}{a} \right) dt = \langle x(t), \psi_{a\tau}(t) \rangle \quad (1)$$

上式中 $a > 0$ 代表尺度因子,它对基本小波 $\psi(t)$ 起伸缩作用,当 a 越大时, $\psi(t/a)$ 越宽;当 a 越小时, $\psi(t/a)$ 越窄。 τ 反映位移,其值可正可负。这里 $\psi_{a\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right)$ 是基本小波 $\psi(t)$ 的伸缩和位移形式, $\psi_{a\tau}(t)$ 前加因子 $1/\sqrt{a}$ 是为了使不同 a 值下 $\psi_{a\tau}(t)$ 的能量保持相等。式中“*”代表的是取共轭。式(1)中不但 t 是连续变量,而且 a 和 τ 也是连续变量,因此被称为连续小波变换。

基本小波 $\psi(t)$ 应满足的容许条件为

$$c_{\psi} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (2)$$

若 $|\psi(\omega)|^2 = |\psi(-\omega)|^2$,且 $\psi(0) = 0$,则容许条件等效为

$$c_{\psi}^* = \int_0^{\infty} \frac{|\psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega = \frac{1}{2} c_{\psi} < \infty \quad (3)$$

那么连续小波变换的逆变换为

$$x(t) = \frac{1}{c_{\psi}^*} \int_0^{\infty} \frac{da}{a^2} \int_{-\infty}^{\infty} WT_x(a, \tau) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) d\tau \quad (4)$$

信号 $x(t)$ 的连续小波变换,相当于用一系列具有恒 Q 特性的带通滤波器对信号进行滤波后的输出,尺度 a 反映带通滤波器的带宽和中心频率。由于 CWT 中 a, τ, t 的连续性,使得 CWT 的计算变得很复杂。在实际应用中,除少数情况可作解析计算外,大多数情况只能通过计算机作近似数值积分。一般的方法是在某一固定尺度 a_0 下,一次计算出不同位移参数 τ 的连续小波变换。在实际应用中,被分析的信号是已经离散化的,在计算时可根据下式^[5]来计算:

$$WT_x(a, kT_s) = \frac{T_s}{\sqrt{a}} \sum_n x(nT_s) \psi\left[\frac{(n-k)T_s}{a}\right] \quad (5)$$

在文章的分析中,所取的基本小波是在时频两域均具有良好局域性的 Morlet 小波。它的时域定义式为:

$$\psi(t) = e^{-t^2/2} e^{j\omega_0 t} \quad (6)$$

在实际应用中一般只取 $\psi(t)$ 的实部,且取 $\omega_0 = 5$ 。

2 应用连续小波变换分析脉象信号

脉象信号是一种近似周期性的信号,在计算机控制下,用压力传感器在海洛因吸毒者和正常人左关部位以 128 Hz 的抽样频率对脉象信号进行采集,对每一例采得的数字信号选取一个完整的具有代表性的脉搏

波进行分析。为了便于分析比较,对选取的每一脉搏波进行归一化等预处理,并在其后面补零,使其长度为 140 点^[6]。图 1 中标有“信号”的波形即为脉象信号的原始波形。其中图(a)代表吸毒者,图(b)代表正常人。

文章分析的脉象信号为:15 例为吸毒者,其中男性为 10 人,女性为 5 人,年龄为 17 ~ 40 岁;15 例为正常人,其中男性为 9 人,女性为 6 人,年龄为 22 ~ 31 岁。

图 1 所示为 1 例吸毒者和 1 例正常人的脉象信号及其在尺度分别为 0.1、0.2、0.3、0.4 时的连续小波变换。其中图(a)代表吸毒者(表 1 中记录号为 x07),图(b)代表正常人(表 1 中记录号为 z04)。在分析时,对每一尺度下的连续小波变换系数均进行了归一化处理,使其幅度限于 ± 1 之间。图 2 是图 1 所示的吸毒者和正常人脉象信号在 4 个尺度下的连续小波变换三维立体图,其中图(a)代表吸毒者,图(b)代表正常人。

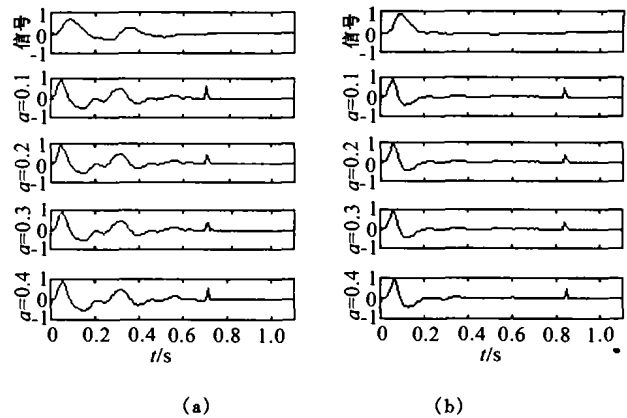


图 1 吸毒者和正常人的脉象信号

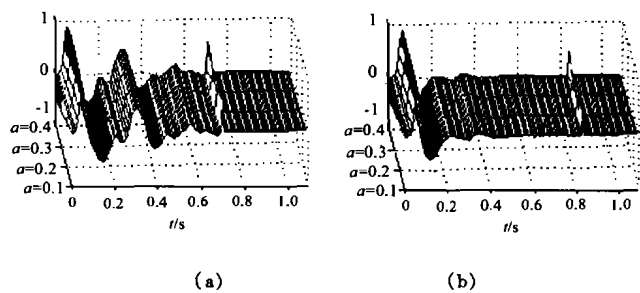


图 2 连续小波变换的立体图

从图 1 和图 2 可以看出,在每一尺度下,吸毒者脉象信号的连续小波变换在 0.2 ~ 0.4 s 之间均有一个明显的波峰,而正常人脉象信号的连续小波变换在同一时间段比较平缓。表 1 列出了吸毒者和正常人脉象信号的连续小波变换在这一时间段内,4 个尺度下的波峰值及 4 个尺度下波峰值的平均值。

表 1 吸毒者和正常人脉象信号在 0.2 ~ 0.4 s 之间的波峰值

吸毒者	尺度 0.1	尺度 0.2	尺度 0.3	尺度 0.4	平均值	正常人	尺度 0.1	尺度 0.2	尺度 0.3	尺度 0.4	平均值
x01	0.223 6	0.230 3	0.223 6	0.215 6	0.223 3	z01	0.176 1	0.168 6	0.161 0	0.174 7	0.170 1
x02	0.299 5	0.298 3	0.297 9	0.301 8	0.299 4	z02	0.087 3	0.090 0	0.087 3	0.087 5	0.088 0
x03	0.367 5	0.363 8	0.371 8	0.368 2	0.367 8	z03	0.112 5	0.105 0	0.100 8	0.111 2	0.107 4
x04	0.322 4	0.326 4	0.331 0	0.283 3	0.315 8	z04*	0.059 1	0.053 2	0.051 5	0.051 9	0.052 1
x05	0.148 6	0.153 6	0.149 1	0.149 0	0.150 1	z05*	0.088 4	0.086 3	0.087 4	0.088 4	0.087 6
x06	0.188 5	0.189 7	0.192 2	0.189 1	0.189 9	z06*	0.088 7	0.084 0	0.084 9	0.086 2	0.086 0
x07	0.461 4	0.479 4	0.477 4	0.462 9	0.470 3	z07	0.058 9	0.058 7	0.059 7	0.059 0	0.059 1
x08	0.254 4	0.263 8	0.254 9	0.264 5	0.259 4	z08	0.093 8	0.095 7	0.097 6	0.094 0	0.095 3
x09	0.377 0	0.427 4	0.420 3	0.394 9	0.404 9	z09	0.062 8	0.064 5	0.066 3	0.065 3	0.064 7
x10	0.245 3	0.244 4	0.242 9	0.245 4	0.244 5	z10	0.156 1	0.160 5	0.159 4	0.156 5	0.158 1
x11*	0.140 2	0.144 5	0.142 6	0.140 6	0.142 0	z11	0.105 6	0.104 6	0.104 2	0.105 6	0.105 0
x12*	0.165 5	0.170 1	0.168 0	0.165 8	0.167 4	z12*	0.096 9	0.097 1	0.097 3	0.097 0	0.097 1
x13*	0.146 0	0.148 9	0.151 2	0.146 3	0.148 1	z13*	0.084 1	0.083 1	0.082 9	0.084 4	0.083 6
x14*	0.225 0	0.221 4	0.221 5	0.224 5	0.223 1	z14*	0.102 9	0.101 4	0.100 6	0.103 3	0.102 1
x15*	0.186 4	0.228 6	0.228 0	0.195 4	0.209 6	z15	0.139 7	0.141 6	0.140 9	0.136 5	0.139 7

说明:上表中标有“*”号的代表女性。

从表 1 中可以看出:在尺度为 0.1、0.2、0.3、0.4, 时间为 0.2 ~ 0.4 s 之间时,吸毒者脉象信号的连续小波变换波峰值的平均值与正常人的相比有显著差异。吸毒者在这 4 个尺度下波峰值的平均值明显高于正常人。对每一例信号,取它在 4 个尺度下连续小波变换波峰值的平均值作为特征参数。在本文中取数值 0.141 0 作为划分吸毒者和正常人的临界参数值。若受测者的特征参数大于临界参数值,则将其划入吸毒者,反之则划入正常人。按此准则,15 例吸毒者全被检测出来,而正常人 z01 和 z10 被误检。上述分析结果表明,连续小波变换是分析中医脉象的有效手段,在区分吸毒者与正常人方面达到了较高的检测率。由于研究条件所限,对于将两例正常人错检为吸毒者还未能做进一步的研究。

3 结 论

研究表明,吸毒者和正常人脉象信号的连续小波

变换存在显著的差异。其研究结果的价值在于,对戒毒治疗中的药物筛选与疗效的评估可提供客观的依据。

参考文献:

- [1] 黄世林,孙明异. 中医脉象研究[M]. 北京:人民卫生出版社, 1986.
- [2] 邵锐光. 对 200 例吸毒者之临床分析[J]. 广东微量元素科学, 1994, 1(1): 47 - 49.
- [3] 胡昌华,张军波. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——小波分析[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2000.
- [4] 张彤,杨福生. 基于 Mellin 变换的连续小波变换快速算法[J]. 信号处理, 1996, 12(4): 342 - 348.
- [5] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京:科学出版社, 2000.
- [6] 朱英华. 阵列式脉搏传感器的研制及小波变换在脉搏信息分析中的应用[D]. 重庆:重庆大学电气工程学院, 2000.

(下转第 76 页)

参考文献:

- [1] 端木合顺. 镇巴—城口震旦系毒重石成矿带地区特征[J]. 西安矿业学院学报, 1999, 19(4): 329 - 332.
- [2] 何勇, 李园丁. 毒重石制碳酸钡工艺研究[J]. 无机盐工业, 1993, (4): 11 - 13.
- [3] 刘铁岩. 改良一步法生产氯化钡工艺的研究[J]. 陕西化工, 1994, (4): 33 - 34.
- [4] 高改玲. 从焙烧毒重石生产氢氧化钡的矿渣中回收钡[J]. 无机盐工业, 1999, (1): 35 - 36.
- [5] 陈景友. 使用碳酸钡矿冶炼硅钡合金[J]. 铁合金, 1994, (1): 41 - 43.
- [6] 孙家寿. 用毒重石制备氯化钡工艺研究[J]. 化工研究矿山技术, 1996, (6): 45 - 46.

Decomposition Properties of Witherite Mineral in High Temperature

WU Cheng-bo¹, ZOU De-yu¹, ZHANG Li², XU Yuan¹

(1. College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: How to exploit resources of witherite mineral economically is given. From theory to experiment, the aim is to study the decomposition principle of witherite mineral in high temperature, to seek the optimal condition to make witherite mineral decomposed by baking in high temperature and to explore the new approach to make good use of witherite mineral. Theoretical analysis indicates that witherite mineral will be decomposed at 900 °C, be decomposed vastly at 1 200 °C and 90 percents of BaCO₃ will be decomposed at 1 300 °C. The baking condition is studied attentively through a series of experiment. The optimal condition of baking witherite mineral in high temperature is concluded. The particle size is 6 - 9 mm, the baking time 3 hours and the baking temperature within 1 300 °C.

Key words: witherite; decomposition; bake; barium ore

(责任编辑 李胜春)

(上接第 68 页)

Application of Continuous Wavelet Transform to Pulse Signal Processing

XIE Jia-yu¹, CAI Kun-bao¹, WANG Yong-dong²

(1. College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: It is well known that wavelet transforms have good time - frequency localization, which makes the transforms be especially suitable for analyzing nonstationary signals. Human pulse diagnosis is an important means for disease diagnosis in traditional Chinese medicine. Human pulse contains the physiological and pathological information of human bodies. Pulse signals characterize us randomness, nonlinearity and nonstationarity. Pulse signals of 15 heroin addicts and 15 normal persons are analyzed using a continuous wavelet transform. Thus the abnormal information containing in pulse signals of heroin addicts is extracted, which provides an objective means of evaluation and improvement for heroin withdrawal treatment. Processing every pulse signal under scales 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4, it is found that the significant difference of wavelet transform coefficients in the time interval 0.2 ~ 0.4 seconds exists between heroin addicts and normal persons. A critical parameter used to classify heroin addicts and normal persons is given in this paper. The research result of this paper shows that the continuous wavelet transform is really an effective method for processing pulse signals.

Key words: continuous wavelet transform; pulse signal; heroin addicts; normal person

(责任编辑 李胜春)