

一种改进的自相关基音检测算法

胡 瑛, 陈 宁, 夏 旭

(中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘 要 提出了一种改进的 ACF 基音检测算法。检测前在小波域上用 Teager 能量算子对语音信号进行清浊音判决, 在基音检测过程的前端和末端加入了有效的预处理和后处理技术。实验结果表明, 该算法比传统的自相关算法具有更高的准确性, 在低信噪比下, 基音周期提取和清浊判决具有令人满意的效果。

关键词 自相关函数; 平滑; 小波变换; Teager 能量算子; 数值滤波

中图分类号 TN911

Pitch Detection Using a Improved Algorithm Based on ACF

Hu Ying, Chen Ning, Xia Xu

(College of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract This paper proposes a robust pitch detection algorithm based on the conventional autocorrelation function. An algorithm for voiced/unvoiced classification based on wavelet transform and Teager energy operator is proposed firstly, the efficient pre-processing and post-processing technologies are introduced before and after the pitch detection processes. Experiments show that the pitch detection results of the improved algorithm is superior to that of the conventional ACF, the performance is very satisfactory for pitch extraction and unvoiced/voiced decision under low SNR.

Keywords ACF; smoothing; wavelet transform; Teager energy operator; numerical value filter

基音周期是语音信号的重要参数之一, 准确而快速的提取基音周期对语音信号的合成、编码、识别等都具有重要的意义。从 20 世纪 60 年代以来出现了很多种基音周期检测方法, 由于语音信号的非平稳性, 以及声门激励波形并不是一个完全的周期序列, 到目前为止, 还没有找到一个能在任何情况下较为满意地估计出各种语音信号基音周期的方法。经典的时域自相关函数(ACF)^[1]基音检测是其中一种性能较好的算法, 然而 ACF 算法在无噪声环境下有时会发生基音倍频和半频错误, 在噪声环境下, 这种错误的发生率显著增加。

收稿日期: 2006-07-11

作者简介: 胡 瑛(1983-), 女, 硕士研究生。研究方向: 语音信号处理。陈 宁(1970-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师。研究方向: 电路理论, 数字信号处理。夏 旭(1980-), 女, 硕士研究生。研究方向: 通信信号处理。

本文中从清浊音判决、预处理、后处理三个方面对传统的 ACF 算法进行了改进: 首先利用 Teager 能量算子(TEO)计算小波系数的“能量”, 根据阈值提取浊音段, 然后仅对浊音段检测基音周期, 对非浊音段, 令其基音周期为零; 在基音检测过程的前端用低通、数值滤波等方法进行预处理, 去除共振峰和低频噪声的影响; 在基音检测过程的后端对结果用搜索试探的平滑方法进行后处理, 平滑掉半、倍频点和随机错误点。实验结果表明, 提出的算法克服了传统自相关算法出现半频、倍频的缺点, 在信噪比很低的情况下也能较准确地检测出基音周期。

1 基音检测算法原理

设语音信号经窗长为 N 的窗口截取为一段加窗语音信号, 则可定义 ACF 为式(1)所示:

$$R(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n)s(n+k) \quad (1)$$

清音信号没有周期性，它的自相关函数 $R(k)$ 会随着 k 的增大呈衰减趋势。浊音信号具有准周期性，它的 $R(k)$ 在基音周期整数倍上有很大的峰值，通常取第一最大峰值点为基音周期点。但通常基音频率与第一共振峰频率比较接近，使用传统的自相关法经常会导致半频或倍频基音的提取误差。本文提出了一种改进的 ACF 方法，它通过在小波域上用 Teager 能量算子对语音信号进行清浊音判决，在基音检测过程的前端和末端加入有效的预处理和后处理技术，实现了精确的基音检测。

1.1 基于小波变换和 Teager 能量算子的清浊音判决

在小波域上，浊音段的小波系数幅度比清音段的小波系数大，所以小波系数的能量是一个可以区分清浊音的有效参数。Teager 能量算子 (TEO) 是由 Kaiser 提出的一种非线性算子^[2]，它能有效提取信号的“能量”，TEO 已经成功地应用于语音信号处理中^[3]。对于一有限频带的信号 $x(n)$ ，Teager 能量算子可以描述如下：

$$T[x(n)] = [x(n)]^2 - x(n+1)x(n-1) \quad (2)$$

因此可以结合小波变换和 TEO 有效提取浊音段。以语音信号“中南”为例，提取浊音段的过程如图 1 所示，清浊音判决步骤如下：

(a) 小波变换。用小波对语音信号 $x(n)$ 进行 j 次分解，得到第 j 层小波系数 $W(j, k)$ 。由于浊音信号随着小波变换尺度的加大模极大值增加，清音则随着尺度的加大模极大值减少，所以令 $j=4$ ，则 $k=1, \dots, N/2^4$ ，其中 N 表示语音信号长度。小波系数 $W(j, k)$ 如图 1(b) 所示。

(b) TEO 非线性运算。对小波系数 $W(j, k)$ 应用 TEO 能量算子得到 $e(j, k)$ ，如图 1(c) 所示。

$$e(j, k) = T[W(j, k)] \quad (3)$$

(c) 提取幅度轮廓。对 $e(j, k)$ 取模，然后再通过一个截止频率为 30 Hz 的低通滤波器 $h(k)$ ，得到 $e(j, k)$ 的幅度轮廓 $P(j, k)$ ，如图 1(d) 所示，即

$$P(j, k) = \text{abs}[e(j, k)] \times h(k), k=1, \dots, N/2^4 \quad (4)$$

(d) 提取浊音段。浊音段的 $P(j, k)$ 幅度明显大于非浊音段，设门限和浊音段的标志有以下关系

$$X(j, k) = \begin{cases} 1, & P(j, k) \geq \text{th} \\ 0, & P(j, k) < \text{th} \end{cases} \quad (5)$$

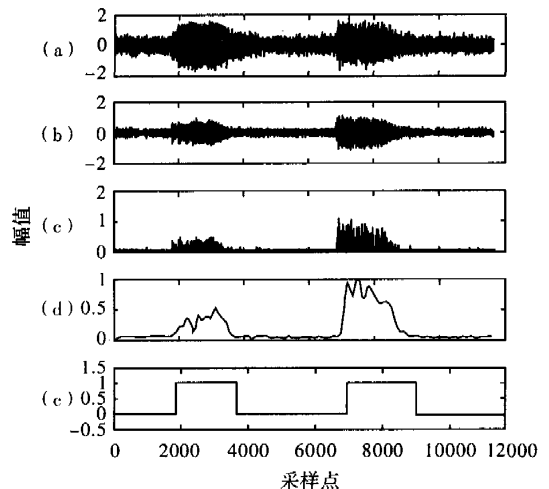
$X(j, k) = 1$ 表示为浊音段，否则为非浊音段。 $X(j, k)$ 如图 1(e) 所示。随着噪声的变化， th 也相应变化。在 $P(j, k)$ 中，前 600 个点可以认为是噪声产生的，取其平均值作为噪声信息。

$$\alpha = \text{mean}[P(1:600)] \quad (6)$$

为了准确提取浊音段， th 随着 α 的增加而增加。经过大量实验， th 和 α 有如下关系：

$$\text{th} = \begin{cases} 0.01 & 0 < \alpha \leq 0.0001 \\ 0.015 & 0.0001 < \alpha \leq 0.0005 \\ 0.02 & 0.0005 < \alpha \leq 0.001 \\ 0.025 & 0.001 < \alpha \leq 0.005 \\ 0.03 & 0.005 < \alpha \leq 0.01 \\ 0.035 & 0.01 < \alpha \leq 0.035 \\ 0.06 & 0.035 < \alpha \leq 0.075 \\ 0.15 & \alpha > 0.075 \end{cases} \quad (7)$$

(e) 后处理。由于浊音段和非浊音段在语音信号中常常交叠在一起，因此上述算法有时会产生错误，因此需要做一些后处理。由于短的非浊音段不可能出现在连续的浊音段中，比如说如果判决结果为 $\dots VVVUUV \dots$ ，其中 V 代表浊音段， U 代表非浊音段，那么此判决结果应改为 $\dots VVVVVV \dots$ ，反之亦然。



(a) 信噪比为 5dB 的语音信号“中南”；(b) 第 4 层小波系数 $w(j, k)$ ；(c) TEO 能量算子 $e(j, k)$ ；(d) $e(j, k)$ 的幅度轮廓 $P(j, k)$ ；(e) 浊音段提取结果。

图 1 清浊音判决

1.2 预处理

对语音信号进行 800 Hz 的低通滤波,可以减少高频共振峰和其他外来高频噪声的影响,同时又当基音频率为最高 500 Hz 时,仍能保留其一、二次谐波分量,但是有时第一和第二个共振峰的影响依然存在,使得浊音段语音信号的周期性模糊,容易产生错误的基音估计。

数值滤波是一种在计算机数值分析中广泛使用的数据平滑方法。在数字信号处理中,数值滤波方法被用来平滑采样数据。数值滤波是对选定的多个数据做平均运算,经过数值滤波处理后的输入 $x(n)$ 与输出 $y(n)$ 之间的关系可以表示如下:

$$y(n) = \frac{1}{2K+1} \sum_{i=-K}^K x(n+i) \quad n=0, 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

其中 $2K+1$ 为窗的长度。

数值滤波可有效抑制第一和第二个共振峰,能正确的显示信号变化(如上升/下降沿,肩部和斜率改变等)的出现时间,突出浊音语音信号的周期性^[4]。在实验中发现,随着数值滤波分析窗宽度 N 的变大,数值滤波后语音的周期性特征会变的更明显,去除声道共振峰对基音检测的影响更彻底。因此,在 800 Hz 的低通滤波之后级联一个宽度 $N=9$ 的数值滤波器,可使基音估计比较可靠。

1.3 后处理

语音中浊音信号周期性的表征极为复杂,在提取基音的过程中,无论采用哪种方法提取的基音周期轨迹与真实的基音周期轨迹都不可能完全吻合,或多或少都包含了一些半频点、倍频点和随机错误点。传统的平滑方法,如线性平滑和中值平滑不能处理连续的基音频率有随机错误点的情况。而一般的线性插值,很容易出现连续随机错误点部分形成直线的情况。

本文中在原求得的基音频率基础上,针对不同的错误点,采用搜索试探的平滑算法^[5]。设 f_1, f_2, \dots, f_N 代表连续 N 帧的基音频率, f'_i 为第 i 帧平滑后得到的基音频率。当处理第 i 帧基音频率 f_i 时,首先处理基音频率提取过程中出现的倍频和半频问题。处理方法如下:

若 $|f_i/2 - f_{i-1}| < c_1$, 则令 $f'_i = f_i/2$;

若 $|2f_i - f_{i-1}| < c_1$, 则令 $f'_i = 2f_i$ 。

处理完倍频和半频的情况,接着处理随机错误的情况。

若 $|f_i - f_{i-1}| > c_1$ 且 $|f_{i+1} - f_{i-1}| > c_2$, 则 $f'_i = 2f_{i-1} - f_{i-2}$; 若 $|f_i - f_{i-1}| > c_1$ 且 $|f_{i+1} - f_{i-1}| \leq c_2$, 则 $f' = (f_{i-1} + f_{i+1})/2$

如果以上条件不满足,则令 $f'_i = f_i$ 。

c_1, c_2 是由实验决定的阈值, c_1 是连续两帧间频率差的阈值,而 c_2 是间隔一帧的连续两帧间频率差的阈值。由于语音信号的基音频率通常是连续缓慢变化的,根据采样频率和人发音的频率范围,通过大量实验证明当 c_1 取 10, c_2 取 25 时,对基音曲线的平滑能取得较好的效果。两个阈值和上面规则的作用就是限制相邻帧之间的基音频率变化不超过 c_1 , 而隔一帧的相邻帧之间的基音频率值变化不超过 c_2 , 从而达到对基音轨迹平滑的效果。

2 实验结果及分析

为了验证文中所提出算法的有效性和准确性,笔者做了大量提取语音基音周期的实验,测试语音采样频率为 8 kHz, 帧长为 280 个采样点, 帧移为 140 个点, 共 1 084 帧。对于干净语音采用平均幅度差函数法结合人工校正得到的基音周期检测结果为参考标准, 表 1 给出了在干净环境下提出的算法与传统自相关算法的性能比较(1 084 帧), 显然, 提出的算法与传统的算法相比性能得到了明显的提高, 有效地克服了基音倍频和半频错误。

表 1 本文中提出的算法与传统自相关算法的性能比较

算法	传统自相关算法	本文中提出的算法
基音错误(帧)	46	7

以其中一个女子语音(中南)为例, 分别采用传统的自相关方法与本文中方法进行基音周期检测的鲁棒性比较, 实验结果分别如图 2、3 所示。

从图 2、3 可以看出, 本方法在基音周期估计的准确性和抗噪能力方面比传统的自相关方法都有明显提高。在信噪比很低时, 本文方法仍能取得满意的结果, 而自相关方法在很多帧根本不能得到正确结果。

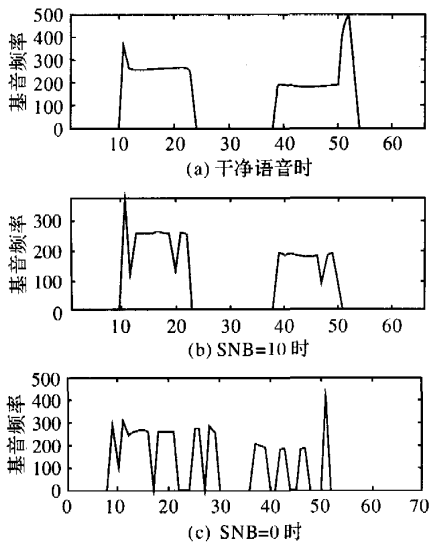


图 2 传统自相关方法实验结果

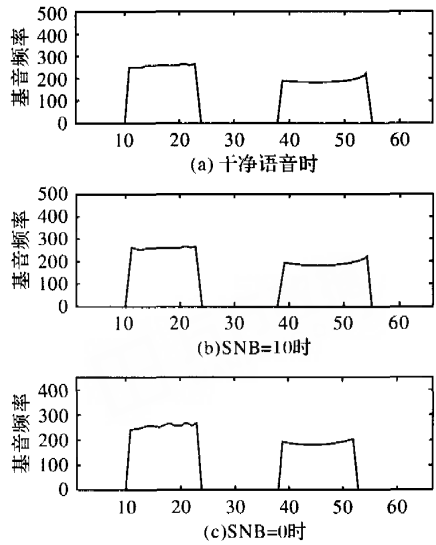


图 3 本文中方法实验结果

参考文献

1 Rabiner L R. On the Use of Autocorrelation Analysis for Pitch detection[J]. IEEE Trans. on Acoustics Speech, and Signal Processing, 1977, ASSP-25(1): 24-33.
2 Kaiser J F. On a Simple Algorithm to Calculate the Energy of a Signal[C]. Albuquerque, USA; Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'90), USA; IEEE, 1990: 381-384.

3 Wang Yiyuan, Zhao Liming. Pitch Frequency Estimation of Chinese Multi-syllable Words Based on Wavelet Transform[C]. Shanghai, China; Proceedings of the Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2004: 26-29.
4 赵毅, 牟同升. TETRA 语音编码中基音预处理算法的优化[J]. 电路与系统学报, 2003, 8(1): 105-108.
5 朱小燕. 汉语声调识别中的基音平滑新算法[J]. 中文信息学报, 2000, 15(2): 40-50.

(上接第 24 页)



图 7 幅值 2V 脉宽 1.25ns 的窄脉冲及其频谱

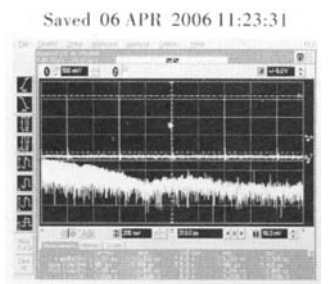


图 8 幅值 2V 脉宽 1.25ns 的窄脉冲串及频谱

3 结 论

该脉冲从理论上分析比较适合穿强。它的频率达到 800 MHz，幅度为 2 V。比较接近穿强所需脉冲的要求。脉冲波形比较平坦，过冲较小。该试验只需 5 V 的工作电压，能得到较好的试验结果，且电路实现简单，这大大降低了制造产品的成本和工作量。试验表明用数字器件产生窄脉冲具有用模拟器件无法比拟的优势。但用数字器件产生的脉冲幅度不如用模拟器件。今后要得到更窄，幅度更高的脉冲，需要速度更快的 ECL 门。因此元件的选择及其他工作都有待进一步研究。

参考文献

1 McEwan E, Calif L. Ultra-Wideband Radar Motion Sensor [P]. United States Patent: 5361070.
2 李禹. UWB-TWDR 的运动目标检测及定位[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2003.

一种改进的自相关基音检测算法

作者: 胡瑛, 陈宁, 夏旭, Hu Ying, Chen Ning, Xia Xu
作者单位: 中南大学, 信息科学与工程学院, 湖南, 长沙, 410083
刊名: 电子科技
英文刊名: ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY
年, 卷(期): 2007, ""(2)
被引用次数: 4次

参考文献(5条)

1. [Rabiner L R](#) [On the Use of Autocorrelation Analysis for Pitch detection](#) 1977 (01)
2. [Kaiser J F](#) [On a Simple Algorithm to Calculate the Energy of a Signal](#) 1990
3. [Wang Yiyuan](#), [Zhao Liming](#) [Pitch Frequency Estimation of Chinese Multi-syllable Words Based on Wavelet Transform](#) 2004
4. [赵毅](#), [牟同升](#) [TETRA语音编码中基音预处理算法的优化](#)[期刊论文]-[电路与系统学报](#) 2003 (01)
5. [朱小燕](#) [汉语声调识别中的基音平滑新算法](#)[期刊论文]-[中文信息学报](#) 2000 (02)

相似文献(10条)

1. 学位论文 徐国栋 强震地面运动超随机特性的若干研究 2005

本文简述了几种常用的地震动平稳随机模型, 这几种地震动平稳随机模型的功率谱是一组光滑的函数, 相应的自相关函数基本上是指数衰减的振荡函数, 且很快衰减到零; 但是真实地震动的归一化自相关函数则有一较显著的随机噪声项, 这个随机噪声的幅值为 0.15 左右, 这就是本文中所述的超随机特性。在常用的地震动平稳随机模型中目前还没有充分考虑这个随机噪声项及其对结构反应的影响。

针对自相关函数, 本文给出了关于有界偶函数傅氏变换的两个基本性质: (1) 对于一个有界实函数 $f(t)$, 如果在定义域 $(-\infty, +\infty)$ 上无奇点, 它的傅氏变换在整个频域内的积分为 $2\pi \times f(0)$; (2) 对于一个有界实偶函数 $f(t)$, 如果在定义域 $(-\infty, +\infty)$ 上无奇点, 则有 $\int_0^{\infty} f(t) \sin \omega t / t dt = \pi / 2 f(0)$ 。性质 (1) 给出了与自相关函数中的随机噪声相应的“功率谱”部分在频域上的积分特性, 并可据此方便地得出巴什瓦定理。

本文将真实地震动的自相关函数分解为一确定性自相关函数和一随机噪声的叠加,并对自相关函数中的噪声部分进行了分析,得出两条重要性质:(1)自相关函数噪声部分的傅氏变换不小于确定性自相关函数对应的功率谱的负值;(2)由于自相关函数噪声部分的 $R_n(0)=0$,它的傅氏谱与频率轴所包围面积的代数和为零。自相关函数噪声部分的振荡幅度虽然不大,但经过傅氏变换得到自相关函数噪声部分相应“功率谱”(即功率谱的随机波动成分)的振荡幅度却很大,功率谱的随机波动成分叠加在自相关函数确定性部分所对应的平滑功率谱之上,外表上甚至有可能掩盖功率谱的主要特性。

本文根据自相关函数随机噪声部分的两个重要性质提出了自相关函数随机噪声部分的迭代生成算法,并给出了以确定性自相关函数为目标函数同时考虑自相关函数的随机噪声部分的人工合成地震动方法。

本文用蒙特卡罗方法分析了自相关函数噪声部分对人工合成地震动峰值和反应谱的影响:由于自相关函数随机噪声部分对地震动总功率或平方和的贡献为零,因此自相关函数随机噪声部分对合成地震动幅值的影响不大,但由于自相关函数随机噪声部分明显改变了地震动功率谱在频域上的分布特征,使原本光滑的平均反应谱出现了明显的波动,从而在一定程度上提高了平均反应谱的峰值,使自相关函数噪声部分对平均反应谱也有一些影响。

本文的分析结果认为平均反应谱的形状基本上受相应功率谱控制。在功率谱相同的条件下,不论是否对地震动进行非平稳化处理,它们的反应谱形状也是大致相似的。光滑功率谱所对应的平均反应谱也是光滑的,随机波动的功率谱所对应的平均反应谱也有随机波动成分的,只是平均反应谱的随机波动成分的变化幅度和振荡程度不如功率谱中的随机波动成分大。文中应用的反应谱和功率谱在概率意义上的近似关系看来只能用于初步分析,两者之间的精细关系还有待进一步研究。

本文通过理论分析和数值计算,认为平方平均值MS和归一化功率谱密度是平稳随机过程的统计特征,而平方和SS、归一化功率谱、时域包络线函数是非平稳时间历程的三个物理统计量。本文借助于平稳随机过程,通过引入包线获取特定相位的方法,将平稳随机过程转变为非平稳时间历程。这个平稳过程在观测时段(0, T)上的功率谱和这个非平稳时间历程的功率谱相同。在不超过频率非平稳性的基础上,本文将该过程转要表述为:(1)平方和SS;(2)归一化自相关函数或对应的功率谱;(3)地震动包线。本文从理论上和数值计算中,认为地震动加速度的平方和(SS)与峰值加速度(PGA)度量了地震地面运动的强度;加速度平方和与包线合在一起,才能更好地表达地震动的强度变化特征。本文认为平方和SS控制了地震动的总强度或总能量,地震动时域包线控制了地震动总能量在时域上的分布集和地震震动强度随时间的变化规律,归一化功率谱则控制了能量在频域上的分布集度和变化规律。相比之下,峰值加速度PGA只是地震动某一瞬时的局部特征,受到多种随机物理量的影响,具有更大的随机性。

本文基于非平稳时间历程的三个物理统计量(平方和SS、归一化功率谱、时域包络线函数),为设计地震动时程的确定提出一些思路 and 见解,使对地震动的统计分析直接建立在非平稳时间历程的基础之上,这样提取出的地震动统计特征是完全以大量的实际地震动记录为依据。用这些统计特征,可模拟给出符合具有非平稳特性的设计地震动时程。

本文比较了不同时-频分析方法(STFT、WD、Hilbert时-频谱分析、连续小波分析)的分析精度,结果表明对单分量信号和可以分解为若干单分量信号叠加的多分量信号,Hilbert时-频谱分析精度最好,WD和STFT次之,连续小波变换的精度最差;由于Hilbert时-频谱分析和WD方法要求信号为单分量信号或可以分解为若干单分量的信号,故其不适用于复杂信号的时-频分析;对多分量信号,STFT时-频谱较好连续小波时-频谱精度高些。需要指出的是,当使用STFT方法时,取不同的窗参数,STFT的时-频分析精度相差很大,必须使用合适的窗参数,以取得较好的分析效果。此外本文还对ElCentro波的两水平分量和人工合成的地震动进行了时-频分析,虽然STFT的时间分辨率和频率分辨率存在矛盾,但它对信号的适应性最强,对复杂信号的时-频分析精度一般可以满足需要,而连续小波变换进行信号的时-频分析时,时-频分辨率精度最差,且大于30Hz的频率分量,随频率的增加,时-频分析的效果和精度迅速变差,说明小波变换并不太适合于做时-频分析,尤其对于高频信号,用连续小波变换得到的时-频谱图看来不能很好反映其时间变化规律。本文还对比较了真实地震动和人工地震动的时-频分析,认为用胡辛贤等提出的方法人工合成的地震动在时-频域上的分布和真实地震动比较相似。

本文基于超随机过程的理论,对自相关函数或其相应的功率谱进行去噪处理,使功率谱光滑化,以凸显其主要成分,并借助短时傅里叶变换,详细分析了ElCentro波和Taft波的概率非平稳性,比较充分地揭示了这两个地震动主要频率分量所对应的频率随时间的变化规律,并与穿零率所对应的频率随时间变化的曲线进行了对比,发现主频与穿零率所对应的频率还是有较大不同的。作者认为差别显著的原因有几点:(1)定义不同。“主频”是指某一小段时间内,能量最大的频率分量所对应的频率,而穿零率所对应的频率是由某一时段内穿零数经近似换算得到的频率;(2)用穿零率随时间的变化只能粗略反映出地震动频率的非平稳性,而不能反应相应频率成分能量的大小或比重。(3)用某一时段内穿零数换算得到的平均频率所对应的分量,其能量不一定是所有频率分量中最大的。因此作者认为穿零率(数)只能间接反映地震动频率的非平稳性,而主频随时间的变化曲线,不仅反映了地震动的频率非平稳性,而且给出了地震动某一时段内能量最大的频率成分所对应的频率(主频)随时间变化的规律。

本文又从集系角度,对台湾集系地震大量近断层强震记录归一化功率谱及其自相关函数进行了统计分析,提出了自相关函数噪声部分的数学简化模型:①自相关函数噪声部分 $R_n(\tau)$ 可视为零均值的条件平稳过程,在 $\tau=0$ 时, $R_n(0)=0$, 振幅在0.10~0.20左右。②自相关函数噪声部分的归一化功率谱

(我们称为二阶归一化功率谱)与原地震动加速度信号的归一化功率谱(我们称为一阶功率谱)形状相似,只是自相关函数噪声部分的二阶归一化功率谱与一阶归一化功率谱相比,有更窄的频带,在频域的能量分布更为集中。如果用Penzien谱来表示地震动加速度信号归一化功率谱的平滑化部分,谱参数为 ω_g 、 ω_f 、 ξ_g 、 ξ_f ,那么可用谱参数为 $\omega'g=\omega_g$ 、 $\omega'f=\omega_f$ 、 $\xi'g=0.5\sim 0.7\xi_g$ 、 $\xi'f=0.5\sim 0.7\xi_f$ 的Penzien谱来表示自相关函数噪声部分的初始归一化功率谱。③可以只考虑一次自相关函数或功率谱的超随机部分,即认为地震动自相关函数超随机部分的二阶初始功率谱是平滑的,不必考虑更高阶次的超随机部分。

本文将反应谱放大系数分解为光滑部分和波动部分,并对反应谱放大系数及其分解出的二部分进行了统计分析,认为反应谱放大系数光滑部分的方差所占比例较大,是主要部分;波动部分的方差所占比例较小,仅在周期段约0.1~0.5s之间占相当的比例,是次要部分。这两部分的标准差,实际上是对反应谱放大系数两个部分波动范围的量度。对一般工程,用光滑谱作为抗震设防标准是可以的,但对于重大工程,则需要考虑反应谱放大系数的波动成分,如可用提高反应谱放大系数的平台值(平均值加一倍标准差等)简单加以考虑,也可用合适的实际地震动进行抗震验算。

本文定义了离散指数来度量衰减关系的离散程度,1999年台湾集集地震加速度峰值和平方和衰减关系离散程度的对比计算结果显示加速度平方和衰减关系的离散程度较加速度峰值衰减关系的离散程度约小30~40%,这说明就这次地震而言,平方和衰减关系更能表示地震动剧烈程度随断层距的衰减特征,更好地描述了地震动强度的衰减规律。本文基于对大量地震动加速度功率谱的统计分析,认为集集地震时断层错动发出的地震波,主频在0.25~0.30Hz左右,具有明显的长周期特征。

本文对两随机信号间互相关特性进行了分析,定义了影响两随机信号间互相关函数的三个控制函数:互幅值谱函数、互相位谱函数和互相位差谱函数,这三个控制函数完全控制了两信号的互相关函数。通过分析几条典型地震动记录的互相关函数以及这三个因素的数值特征,本文认为真实地震动记录不同分量之间有一定的互相关性,互幅值谱的面积一般在0.7以上(最大为1.0),互相位谱近似为 $(-\pi, \pi]$ 的均匀分布,互相位差谱近似为零均值的高斯分布。

2. 期刊论文 [杨森斌,陈硯圃,李真, YANG Senbin, CHEN Yanpu, LI Zhen 一种改进的自相关函数基音检测算法 -现代电子技术2008, 31 \(9\)](#)

提出了一种改进的自相关函数基音检测算法:首先利用清浊音自相关函数幅度值的不同性质进行清浊音判决,然后仅对浊音段检测基音周期。在基音检测前用带通滤波、中心削波和数值滤波等方法进行预处理,去除共振峰和高频噪声的影响;在基音检测过程的后端用搜索平滑方法进行后处理,平滑掉半、倍频点和随机错误点。实验结果表明,改进算法的效果优于传统自相关算法,而且在信噪比低至5 dB时仍有良好的清浊音判决和基音检测性能。

3. 学位论文 [高波 非特定人的汉语数字语音识别系统 2001](#)

该文的主要工作分为两部分:非特定人汉语孤立数字语音识别系统的设计及其汉语连续数字语音识别系统的研究。论文全面系统地论述了语音识别的发展历史、现状、方向和应用前景;在对语音识别常用方法进行比较后根据汉语数字音的语音特性选择了音素分类方法进行识别;并对分类步骤作了较深入的研究,提出新的分类过程,使识别混淆的可能性大大降低;在三分类识别中,第二步就能极为准确地分辨出“4”和“9”;介绍了现有的语音识别系统所面临的一系列问题。采用自相关函数求基音周期,用中值平滑与线性平滑的两级滤波滤除测量和计算误差,最后对滤波后的周期用最小二乘法进行曲线拟合,使声调的变化趋势更加清晰,为声调的准确识别提供了重要依据。

4. 学位论文 [陈小利 含噪语音基音周期检测算法的研究 2007](#)

在语音信号数字处理的各个领域,无论是语音分析与合成、语音压缩编码,还是语音识别和说话者确认等,准确可靠地检测语音信号的基音周期都至关重要,将直接影响到整个系统的性能。

噪声环境下常用基音检测方法的检测效果都不理想,而实际语音在产生过程中,不可避免地要受到背景噪声的影响。为此,本论文就含噪语音进行基音检测算法的研究,力求寻找准确性和鲁棒性都相对较好的基音检测算法。

本论文介绍了语音信号的产生过程、产生的数学模型、语音信号的特性及分析方法,简要阐述了小波分析理论,并对现有的基音检测方法进行了分类、归纳和总结。在深入研究小波分析理论和现有基音检测方法的基础上,提出了以下几种基音检测算法:

(1)基于小波变换在信号消噪方面具有的不但能消除噪声,而且保持信号的阶跃或突变点位置不变的性质,提出了小波变换与二次谱相结合的基音检测算法。

(2)基于小波变换的带通特性,提出了小波变换与时域波形相结合的基音检测算法。该算法首先利用小波变换提取包含基音信息的低频子带信号,并通过数值滤波器加以平滑,得到周期性较强的信号。然后综合利用信号波形的多种特征,如波峰的宽度、面积、幅值大小等信息,并根据这些信息的匹配程度检测基音周期。

(3)基于小波变换的多分辨率分析特性,提出了小波变换与加权自相关函数相结合的基音检测算法。该算法将语音多级小波变换的近似分量加权求和以突出基音信息,并将此加权求和量作为基音检测的基础,采用改进的平均幅度差函数加权自相关函数的方法进行基音检测。

(4)利用小波变换的突变检测原理,提出了一种新的基音检测算法。该算法采用线性预测分析和截止频率为500Hz的低通滤波器作为语音信号的预处理,以去除声带共振峰和噪声的影响。其次,采用不同的方法对浊音帧和清浊音过渡帧进行基音检测。对浊音帧,采用加权自相关法进行检测;对清浊音过渡帧,则利用小波变换的突变检测原理进行检测。最后,采用搜索试探的平滑算法,并加入一个增加或者消除周期的判断机制,对基音轨迹曲线中出现的个别错误进行纠正。

论文还完成了算法的程序设计,对语音信号用所提算法和传统算法在不同信噪比下做了对比实验。实验结果表明,与传统算法相比,所提算法基音估计准确性较高,对噪声具有较好的鲁棒性,性能得到明显提高。

5. 期刊论文 [潘丹青,戴宪华,潘矜矜, PAN Dan-qing, DAI Xian-hua, PAN Jin-jin 一种高效语音基音检测方法的研究 -测控技术2010, 29 \(7\)](#)

根据语音信号产生的机理,综合考虑基音频率检测的准确性与高效性,提出了一种基于下采样的基音检测方法。该方法以传统的自相关函数法为基础,结合线性预测逆滤波及下采样技术,有效地提高了抗噪性,降低了计算复杂度。通过Matlab软件对计算结果进行仿真分析,证明新算法计算简便、准确,基音频率平滑性好,算法鲁棒性好,适用于实时语音信号的基音检测。

6. 期刊论文 [郑继明,王劲松, ZHENG Ji-ming, WANG Jin-song 语音基音周期检测方法 -计算机工程2010, 36 \(10\)](#)

针对现有语音基音检测算法抗噪能力低的问题,利用多尺度连续小波对语音信号进行预处理,基于短时平均幅度差函数和短时自相关函数,提出一种语音基音周期检测方法,在确保运算量较低的前提下,获得准确结果。使用平滑算法消除倍频点、半频点和随机点产生的误差,实现基音曲线平滑。

7. 学位论文 [王克刚 基于数字图像特征的古瓷片分类研究 2009](#)

文化遗产保护数字化已成为信息技术与考古学交叉的新兴研究方向。瓷器类物品是中国考古发现的重要元素之一,而瓷器易碎的特点导致遗存至今的古瓷器破损很多,考古过程所发掘的大量古瓷碎片往往混杂在一起,瓷器类物品的人工修复、分类管理等工作过程中面临很多困难。本文针对瓷片数字图像特征的分析与应用进行研究,利用色彩、纹理、纹饰形状等特征实现瓷片图像的模式分类,为古瓷碎片的类别自动划分提供辅助手段。本研究得到了国家自然科学基金的支持,主要研究进展如下:

- (1)研究提出了一种简便易行的图像自适应平滑与增强算法,实现了图像区域内部平滑和边缘增强的同步处理,强化了瓷片图像的视觉观感特征。
- (2)改进了基于RGB空间上的色彩对聚类算法,使算法的时间复杂度由 $O(n^2)$ 提升到 $O(n\log n)$;定义了基于HSI颜色空间的一种非均匀色彩量化方法,对瓷片图像色彩特征进行提取并应用于瓷片分类,取得了好的效果。
- (3)从结构化方法、统计性方法、频域变换方法三个方面实现了瓷片图像的基元纹理以及灰度共生矩阵、自相关函数、边界频率、二维直方图、Gabor变换等纹理特征的提取。提出了瓷片图像色彩—纹理特征的提取模型与具体方法,对色彩信息和纹理信息进行了有机融合,与其它方法相比较,瓷片分类的正确率得到了大幅提升。
- (4)研究提出了一种KFCM彩色图像分割方法。通过提取彩色图像的基元纹理特征,并引入核函数思想,实现了彩色图像的有效分割。利用该方法,得到了瓷片纹饰区域的准确划分,为纹饰形状特征的有效表示提供了良好基础。
- (5)应用支持向量机(SVM)分类方法,对瓷片图像的色彩、纹理、纹饰形状等多种特征的分类识别能力进行了测试、分析和比较。Matlab与VC结合

，开发了基于数字图像特征的古瓷碎片分类原型系统，为古瓷碎片的自动分类提供了辅助平台。

8. 学位论文 [周福昌 基于循环平稳信号处理的滚动轴承故障诊断方法研究](#) 2007

滚动轴承是机械设备中常用、关键的零部件,其工作状态是否正常直接关系到整机机组乃至整条生产线的生产质量和安全. 研究滚动轴承的监测和诊断技术,对于避免重大事故及变革维修体制等具有重要的理论研究价值和实际应用意义.

本文在分析了滚动轴承现有诊断技术的基础上,根据滚动轴承近似对称的结构特征及其旋转的工作方式,针对当轴承元件出现损伤时,由损伤点引起冲击调制使观测到的振动信号表现出循环平稳性这一现象,深入研究了基于循环平稳信号处理的滚动轴承振动信号特征提取方法. 具体内容如下:

1) 研究了一阶循环统计量. 基于旋转机械振动中常见的调幅振动信号模型,证明了这类信号的循环平稳性. 对比了循环均值和时域同步平均分析,指出这两者在提取信号中的一阶周期性特征信息方面具有相同的效果,但是二者的理论基石却完全不一样. 对时域同步平均方法予以改进,得到循环时变同步平均方法,该方法能够更全面地反映一阶多周期信号中的多周期特征. 研究还指出,循环均值不能实现对调幅信号的解调功能,因此不适合用来分析调幅信号.

2) 深入研究了循环自相关函数的解调性能. 对比循环自相关函数解调、基于Hilbert变换的包络解调及平方解调,指出了它们虽在解调时具有相似的功效,但却存在本质上的差异:循环自相关函数是通过非线性二次变换和循环因子的共同作用获取循环平稳信号中的周期成分,将调幅信息直接解调到循环频率轴上;包络解调法有解调功能,却忽略了载波信息;而平方解调则是通过平方变换,实现对信号解调. 包络解调和平方解调都只是实现了循环自相关函数解调的局部功能.

3) 对循环自相关函数在特定循环频率处的切片信息进行了研究. 对比了循环自相关函数的模、实部和虚部切片分析. 结果表明:循环自相关函数模的切片分析可以在不同循环频率处获取到调幅振动信号中的不同特征信息,并且在某些特定的循环频率处,可提取出单一的特征频率成分. 在理论研究和仿真分析的基础上,找出了循环自相关函数模的切片分析的一般性规律.

4) 研究了谱相关密度函数. 引入时域平滑循环周期图法,用于获取循环平稳信号的谱相关密度函数. 谱相关密度函数通常可以采用对称与非对称两种变换形式加以实现. 不同的变换形式会对谱相关密度函数的信息具体表现形式产生影响. 推导了谱机械系统与振动国家重点实验室相关密度函数的一般表达式,给出了一般变换形式下谱相关密度函数分布规律图. 同时研究指出尽管变换形式不同,但是谱相关密度函数反映的信息特征实质是一样的,都可以揭示出循环平稳信号中的全部信息.

5) 针对故障滚动轴承冲击调幅振动信号的特点,改进了循环平稳度的定义,用于判别非平稳信号中包含周期成分强弱的程度. 针对具有不同循环平稳度的非平稳信号,研究指出要采用不同的信号分析与处理方法,才能有效地识别和诊断.

6) 噪声干扰是信号特征提取中会遇到的一个重要问题,本文探讨性研究了白噪声对循环谱密度的影响,指出了二阶循环统计量对加性白噪声的渐进免疫性能.

7) 本文也研究了高阶循环统计量理论及其实现方法. 在理论研究的基础上,本文对比了二阶统计量、高阶统计量和循环统计量的一些性能指标,指出高阶循环统计量具有更好的抗噪声干扰性能. 将二阶循环统计量的切片分析理论引入到高阶循环统计量分析中,能够更加直观地将信号的高阶循环统计量分布表达出来,为高阶循环统计量的工程应用奠定了一定的基础. 但是,高阶循环统计量具有算法复杂、计算效率低等缺陷,在一定的程度上限制了其实用性.

8) 鉴于二阶循环平稳分析对白噪声的渐进免疫性、对有色噪声的敏感性以及高阶循环平稳分析的计算复杂性,传统的循环平稳分析方法对几乎循环平稳信号的循环平稳特征提取存在缺陷. 本文根据Morlet小波自身的特点以及连续小波变换的优越性,针对弱冲击调制信号,采用最小熵Morlet匹配小波基选择原理选择适合提取冲击特征的小波基,利用最大似然估计阈值消噪方法,实现弱冲击信号的冲击特征强化. 对于旋转机械早期故障而言,因为早期故障引起的弱冲击调制导致了几乎循环平稳现象,利用基于Morlet小波的弱冲击信号冲击特征强化方法,强化这类几乎循环平稳信号的循环平稳特征,从而为这类信号有效地进行循环平稳分析奠定了基础.

9) 本文还研究了故障滚动轴承的循环平稳振动模型,在传统振动模型基础上,本文引入冲击的幅值、周期以及响应等三个时变量因子,得到了可以模拟内圈、外圈以及滚动体等故障的综合振动模型. 新模型与传统模型相比,更加贴近故障滚动轴承的实际情况. 并通过仿真实验,证明了该模型的循环平稳性.

10) 最后,本文进行了大量的实验研究,对不同类型故障的滚动轴承,对比了传统功率谱分析、包络分析、平方解调分析、二阶循环平稳分析、循环双谱分析,基于Morlet小波的循环平稳特征强化分析等分析方法的分析结果,论证了理论研究成果的正确性和有效性. 将循环统计量分析方法和改进的BP神经网络相结合,构建了一个滚动轴承故障智能诊断系统,为滚动轴承的智能诊断提供了一种新的解决思路.

9. 期刊论文 [宋建伟, 孙水发, 郑胜, 万钧力, Zhu Jianwei, Sun Shuifa, Zheng Sheng, Wan Junli 一种基于段的基音检测算法 - 三峡大学学报 \(自然科学版\)](#) 2008, 30(3)

作为语音信号处理领域一项基本、关键的技术,基音检测在语音信号处理中扮演着重要的角色,一直是语音信号处理的一个研究热点. 首先对传统的基于短时自相关函数法的基音检测进行了研究;在此基础上提出了一种能同时检测一段语音信号基音周期的方法,有效地克服了传统基音检测算法只能检测一帧语音信号基音的缺点. 进行了实验仿真,结果表明通过过去野点,中值平滑等后处理的基于段的基音检测算法比传统的基于帧的基音检测算法具有更好的抗噪性.

10. 期刊论文 [夏卫星, 叶显平, 杨晓东, 刘慧 Riccati方程在电罗经直航向误差建模与预测中的应用 - 船海工程](#)

2009, 38(6)

为减小舰船直航向运动情况下风、流、摇摆等对电罗经航向造成的随机误差影响,提高舰船直航向运动时电罗经指向精度,采用时间序列模型对其随机误差进行建模,利用随机误差自相关函数和偏相关函数特性确定模型阶数,获得了较为准确的误差模型. 同时,基于建立的模型,采用Riccati递推方程与指数平滑式结合的方式对电罗经航向随机误差进行预测. 结果表明,时间序列模型较为准确地描述了电罗经航向随机误差过程,预测精度较高,鲁棒性较强,为减小电罗经直航向误差提供一种有效的方法.

引证文献(4条)

1. [刘勇, 黄地龙, 王茂芝 基音检测过程中减小共振峰影响的算法探究](#)[期刊论文]-[铁路计算机应用](#) 2009(12)

2. [王丽 基于MATLAB的自相关函数基音检测的优化](#)[期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2009(36)

3. [杨森斌, 陈硯圃, 李真 一种改进的自相关函数基音检测算法](#)[期刊论文]-[现代电子技术](#) 2008(9)

4. [赵振东, 胡喜梅, 田景峰 基于谱减法的基音检测算法](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2008(5)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzkj200702008.aspx

授权使用: 上海交通大学(shjtdxip), 授权号: cb7dfc6b-54bc-4257-ae27-9e22014e4da1

下载时间: 2010年11月2日