

病理性肺音信号的分析识别方法

裴飞霸¹, 尹军¹, 何庆华², 毕玉田²

1. 第三军医大学大坪医院野战外科研究所医学工程科, 重庆 400042; 2. 第三军医大学大坪医院野战外科研究所创伤烧伤复合伤国家重点实验室, 重庆 400042

【摘要】目的:通过研究肺音与肺部疾病的内在联系,分析识别肺音信号的特征值,为人体肺部器官的器质和功能性病变等肺部急性病诊断提供重要依据。**方法:**对病理性肺音分类及肺音检测系统中肺音信号噪声干扰的来源进行阐述,并对目前存在的短时傅里叶变换、小波分析识别、高阶谱分析法等病理性肺音分析识别方法的优缺点进行归纳总结。**结果:**短时傅里叶变换应用于肺音信号分析识别降低了对肺音信号平稳性的要求;小波分析识别是典型的肺音分析识别方法,对肺音中混入的心音等非相同频率段噪声的消除效果较好;高阶谱分析有效地抑制高斯噪声的同时保留了肺音信号的相位特性,且能提取同类肺音信号模式特征的相似性和异类肺音信号模式特征的差异性。**结论:**完善的肺音信号分析识别方法,对于肺部病理性肺音的特征提取及完整的系统肺音特征参数数据库建立,以及对于肺部疾病相关基础研究及临床诊断与数据统计日益显示出重要性。肺音信号分析识别在临床上具有重要的研究价值,通过本文的综述对借助于肺音信号特征值检查人体肺部病理信息具有重要的借鉴意义。

【关键词】肺;肺音信号;短时傅里叶变换;小波分析识别;高阶谱分析法;综述

【中图分类号】R318.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)07-0739-04

Analysis and recognition method for pathological lung sound signal

CHANG Fei-ba¹, YIN Jun¹, HE Qing-hua², BI Yu-tian²

1. Department of Medical Engineering, Institute of Field Surgery Research, Daping Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China; 2. State Key Laboratory of Trauma, Burns and Combined Injury, Institute of Surgery Research, Daping Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China

Abstract: Objective To provide an important basis for the diagnosis of acute lung diseases such as organ and functional lesions of pulmonary organs by studying on the intrinsic link between lung sounds and lung disease, analyzing and recognizing the eigenvalues of lung sounds. **Methods** The classification of pathological lung sounds and the noise sources of lung sound signals in the lung sound acquisition system were described, and the advantages and disadvantages of the current existent analysis and recognition methods such as short-time Fourier transform, wavelet analysis to identify, higher order spectral analysis for pathological lung sounds were summarized. **Results** The application of short-time Fourier transform in lung sound signal analysis and recognition reduced the stability requirement of lung sound signals. Wavelet analysis and recognition was typical lung sound analysis and recognition method, and the elimination effect on heart sound and non identical frequency noise mixed in the lung sound was better. Higher order spectral analysis effectively restrained Gaussian noise and kept the phase characteristic of lung sound signals, and extracted the similarity of similar lung sound signals model characteristics and difference of heterogeneous lung sound signals model characteristics. **Conclusion** The improved analysis and recognition methods for the lung sounds show increasing importance in the extraction of pathological lung sound feature, the establishment of complete and systematic database of the lung sound feature parameters, the basic research related to lung disease, clinical diagnosis and data statistics. The analysis and recognition of lung sound signal has important research value in clinic. The summary in the paper provides an important reference for examining human lung pathological information by using the eigenvalues of lung sound signal.

Key words: lung; lung sound signal; short-time Fourier transform; wavelet analysis recognition; higher order spectral analysis method; review

【收稿日期】2016-02-19

【基金项目】重庆市科委国际科技合作项目(cstc2012gg-gjhz0023)

【作者简介】裴飞霸,男,硕士,研究方向:生物医学信号检测、传输及信息编码技术,E-mail:chang573788260@163.com

【通信作者】毕玉田,男,副主任医师,副教授,研究方向:内科学(呼吸系病),E-mail:biyutian2@163.com

前言

肺音是反映肺部病理特性和诊断肺病相关疾病的重要指标,肺音信号特征值的分析和识别为人体肺部器官的器质和功能性病变等肺部急性病诊断提供了重要的依据。传统的检测工具(如听诊器等)分辨率低、频率响应范围窄以及受到医生区分不同肺音模式的经验和能力等影响。而数字化肺音采集及分析识别方法克服了许多简单听诊器的局限性,不但可以量化肺音的变化,而且测量结果可以永久记录及实时图形表示,协助医生诊断和管理患者的胸部疾病,近年来关于肺音数字化采集与分析识别的研究也明显增加^[1-3]。但是目前肺音分析在临床的应用还缺乏实践指导,所以数字化肺音分析技术有着重要的临床研究意义^[4-6]。

国内外肺音的研究主要集中于肺音信号的传导机理和获取技术,对获得的肺音进行去噪滤波预处理、肺音周期分段、肺音信号时频特性分析、肺音信号特性提取和模式识别的数字信号处理。通过分析,从而更准确地观察肺音的时频特性与肺病之间的关联,也就是建立肺音特性与肺病的关联关系,进而识别正常和异常的肺音,预测病人可能患有的呼吸系统及肺部相关疾病。但目前还没有标准化的肺音检测设备和分析方法,根据肺音研究结果来直接判断呼吸系统及肺部相关疾病比较困难,因此需要不断改进肺音信号检测设备,并标准化肺音信号的分析识别方法^[7-9]。

基于肺音在临床肺部急性病诊断中的重要作用,肺音信号的分析识别在临床上具有重要的研究价值。基于完善的肺音分析方法、肺部病理性肺音的特征提取及临床数据统计,建立一个较完整、系统的特征参数数据库在肺部疾病相关基础研究及临床诊断中有着重要的意义。本文阐述了病理性肺音的分类及肺音检测系统中肺音信号噪声干扰的来源,并归纳总结目前存在的病理性肺音分析识别方法的优缺点,本文的综述对借助于肺音采集系统检查人体肺部病理信息具有重要的借鉴意义。

1 病理性肺音的分类

肺音是人体在呼吸时,气体流经人体呼吸系统所产生的生理性信息,而病理性肺音信号含有丰富的肺音病理生理信息。肺音包括正常肺音和异常肺音,正常肺音包括肺泡呼吸音、支气管呼吸音和气管音,主要是由于气流流经人体呼吸系统的主支气管、细支气管及肺部所产生的;异常肺音包括连续或非连续附加音即哮鸣音、喘鸣音、罗音和嘎音等,异常

肺音按肺音频率、持续时间、开始偏移宽度等物理特性划分,可分为以喘鸣音为特征的连续性肺音和以爆裂音为特征的断续性肺音。

爆裂音是非连续短暂突发音,持续时间短于20 ms,主要是由呼吸气流与人体气管壁摩擦而产生的,但常产生于肺底部的吸气相,如支气管扩张症病人产生的爆裂音,肺间质纤维化及慢性支气管炎病人临床表现也常伴有爆裂音。哮鸣音产生于气管壁周期性震荡,持续时间超过250 ms、频率在400 Hz以上的高音调连续性附加音,产生原因为人体气道平滑肌的痉挛、粘膜水肿或者分泌物堵塞等,哮鸣音是支气管哮喘的重要特征,支气管哮喘及囊性纤维化等阻塞性肺部疾病中常伴有哮鸣音。

2 肺音信号噪声干扰的来源

肺音信号是一种频带较宽且微弱的生理信号,频带宽度为60~3 000 Hz,而人体的心音频带为5~600 Hz,所以肺音与心音有重合的频率范围。肺音还受到肌肉与皮肤摩擦音、肠胃蠕动音等人体自身生理参数的影响。对于肺音与人声频谱重叠,可以利用小波滤波消除一定范围的人体生理噪音。肺音传导至人体前胸皮肤、胸腔和胸腔后背处时所采集的肺音混有环境的随机噪音及仪器自身噪声的干扰等,图1为所采集的人体原始肺音信号。

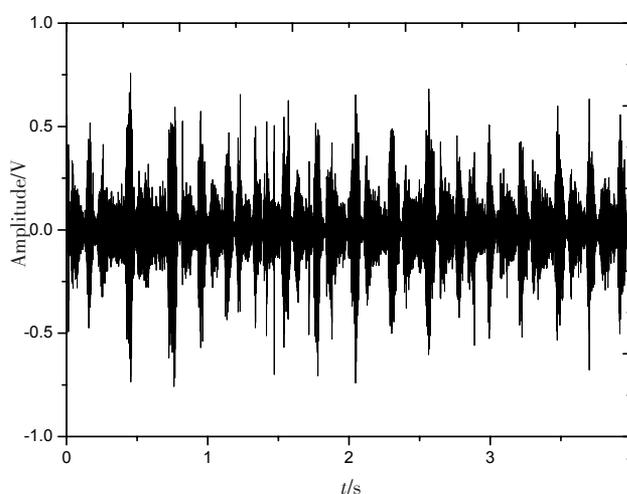


图1 原始肺音信号

Fig.1 Original lung sound signal

目前肺音采集仪器可以完成对人体单通道以及多通道肺音数据的采集,但是除人体自身发声干扰外,采集仪器的传感器自身缺陷及随机噪声、工频干扰、仪器自身噪声等采集环境噪声都会对肺音采集造成干扰,这些噪声不仅影响肺音信号的准确性,甚至可能覆盖掉肺音信号的有效成分。因而在分析辨

别肺音前,必须先对采集到的肺音信号进行滤除和弱化噪声等预处理。

随机噪声主要是因为肺音测量系统中选用的声电传感器的灵敏度较高,肺音检测环境中微弱的随机人为噪声或肺音测量系统中的听诊器与人体皮肤摩擦产生的噪声都有可能被声电传感器接收,被处理电路放大,从而影响整个肺音采集系统,使采集到的肺音信号受到这些环境随机噪声的干扰。工频干扰主要来源于肺音采集系统中的电压模块或者系统存在环境中的电气设备,工频干扰会造成肺音信号带有 50 Hz 毛刺信号,而在对肺音信号分析处理前,有效的 50 Hz 陷波电路可以抑制一定的工频干扰。仪器噪声主要来源于仪器中元件离散噪声及热噪声等,这些噪声会降低肺音信号的分辨率。由于人体生理信号的复杂性,在肺音信号的采集过程中,除了心音及肠胃蠕动音外还会受到许多其他生理信号的干扰和影响,以及嘈杂的医院环境对肺音采集系统造成的影响,需要通过屏蔽滤波等技术提高肺音采集仪器的抗噪声性能,并对肺音仪器采集到的肺音信号进行去噪处理。

3 病理性肺音的分析识别方法

肺音信号是一系列非平稳的随机信号,去除噪声干扰时不要消除异常肺音,否则会影响后续病情的判断。肺音信号采集系统在采集肺音信号时也要尽可能避免噪声的混入,所以信号输入要经过性能好的高阶滤波器进行滤波预处理,选择隔音性好的听诊器,采用多传感器测量,把其中一路信号作为源信号,其余路信号作为参考信号。对采集的肺音信号提取信号特征值时,要考虑肺音信号的非高斯随机特性。采用时域与频域方法分析识别肺音信号,主要以短时傅里叶变换(STFT)、小波分析识别、高阶谱分析法等分析识别方法为研究前沿。

3.1 STFT

对于采集到的原始肺音信号,单纯的时域分析不能充分反映肺音信号特征,所以需要时域到频域的变换,仅适用于平稳的连续信号。肺音信号的傅里叶变换只能得到肺音信号整个时间段的频率分布特征,无法得到肺音信号的频谱随时间变化的规律。因为肺音信号由多频率成分构成并呈现明显的周期性波动且具有较强的时变性,属于频谱随时间变化的非平稳随机信号。所以利用傅里叶变换对断续性异常肺音信号进行分析识别具有局限性,不能对病理性肺音进行动态分析,无法针对性地分

析相应时间区域内信号的频率特征。为解决传统傅里叶变换缺乏局部分析能力的缺陷,STFT把时域信号划分为很多小的时间间隔,再对其中每个时间间隔分布单独进行傅里叶变换以确定该时间间隔存在的频率。取时间函数 $g(t)$ 作为窗口函数,用 $g(t-\tau)$ 同肺音信号 $f(t)$ 相乘,然后进行傅里叶变换,如公式(1)所示。

$$\text{STFT}_f = \int_R f(t)g'_{w,\tau} dt = \int_R f(t)g(t-\tau)e^{-j\omega t} dt = \langle f(t), g_{w,\tau}(t) \rangle \quad (1)$$

其中, $g_{w,\tau}(t) = g(t-\tau)e^{j\omega t}$, $g'_{w,\tau} = \overline{g_{w,\tau}(t)} = g(t-\tau)e^{-j\omega t}$, 窗口函数 $g(t)$ 取对称函数。STFT克服了传统傅里叶变换对肺音信号需要整个时间段的频率分布特征的缺点,降低对肺音信号平稳性的要求,所以STFT可以应用于肺音信号的动态时频域研究。肺音信号时频谱图反映肺音信号的能量空间分布,肺音信号的能量空间分布的改变意味着肺音信号的特征发生改变,所以信号各频率成分能量的不同可以体现不同被测肺音信号的特征,利用STFT提取肺音信号变化的特征可以判断肺音是否正常,得到肺音疾病分类结果^[10]。

3.2 小波分析识别

小波分析是一种比较常用的肺音信号去噪方法,对肺音中混入非相同频率段噪声的消除效果较好。与利用傅里叶变换分析识别肺音信号相比,小波变换是对肺音信号的时间到频率的局部化分析,通过伸缩平移信号逐步进行多尺度细化,细化肺音信号高频处时间和低频处频率,达到自动适应时频信号分析的要求,从而可以聚焦到肺音信号的任意细节。小波变换是一种信号的时域到频域的频分析方法,具有多分辨率分析的特点,而且在时频域中具有表征信号局部分析的能力:

$$Wf(a,b) = |b|^{-0.5} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2)$$

其中, a 、 b 分别为伸缩因子和平移因子,伸缩因子 a 决定着窗口函数在信号频率轴上的位置和形状,平移因子 b 决定窗口函数在相平面时间轴上的位置。所以当信号频率较低时,可以适当调宽窗口函数时间窗,从而得到较高的频率分辨率;当信号频率较高时,可以适当调窄窗口函数时间窗,从而得到较高的时间分辨率,通过自动调整窗口函数实现对不同频率信号的截取。在非平稳时变信号处理中出现时频分辨率矛盾时,小波分析表现出较强的优势,对非平稳时变信号分析也具有较强的自适应性。

小波变换能有效地从时频域识别肺音信号的特征参数,将肺音信号按照不同频率段进行划分,使其达到最优的时间和频率分辨率,从而确定肺音信号中所包

含的有效频率成分,滤除噪声干扰信号及其他无效频率成分。较其他传统的滤波方法,小波分析对肺音信号中心音干扰信号的滤除更有效,首先对混有心音信号的肺音信号做小波变换;然后非线性收缩小波系数,收缩后的小波系数经小波反变换重构肺音信号,重构所得的肺音信号就滤除了心音信号的干扰,且滤除效果显著;最后得到较平滑的肺音信号。

对肺音信号进行分析识别的小波分析方法也存在一定的缺点:(1)对肺音采集系统的信噪比有一定要求。当干扰噪声与肺音信号处于相同频段且幅度值较大时,干扰信号就很难消除。(2)小波分析中小波基的选择也影响着肺音信号的分析结果,需要根据实验来修正小波基,使所选择小波基符合肺音特征。小波分析对肺音信号的自适应性较差,主要是由于选择的小波基只能对肺音信号进行全局分析,可能在对肺音信号全局分析上效果是最佳的,但是对于肺音信号的局部区域效果却是不明显。(3)小波变换对于肺音信号分析中小波系数选择是研究肺音信号特征值的关键,目前所用的小波系数维度较高,需要进一步降低小波系数的维度。(4)小波变换对于肺音信号分析中尺度因子 a 、 b 与肺音信号频率 f 间没有直接的联系,肺音信号频率特征的物理意义没有明显地表现出来,因此小波变换对于肺音信号的分析结果并不真正体现在时频域^[11-12]。

3.3 高阶谱分析

高阶谱分析即采用基于多阶累积量的非高斯自回归滑动平均(ARMR)模型参数,选择多阶递归法进行肺音信号的建模,并对人体肺胸系统声传递特征和双谱进行研究。肺音信号高阶谱分析主要包括肺音信号非高斯ARMA参数模型建立、肺音高阶谱信息提取、肺胸系统声传输特性估计和对不同类别的肺音信号进行双谱分析等几方面^[13-15]。

基于高阶累积量的非高斯肺音信号ARMA模型参数辨别可以正确而有效地反映由肺部疾病引起的肺胸系统声传递特征的变化,并根据声传递特征的变化自动识别分类肺部疾病。基于高阶累积量方法的肺音信号分析识别可以有效地抑制高斯噪声对肺音信号的影响,提取由于肺部病理造成的肺胸系统声传递函数幅度及相位信息变化,从而识别和分类肺胸系统,并对肺部疾病做出相关的快速诊断。所以利用ARMA模型参数对肺音信号进行分析识别在肺部疾病的临床诊断中有着重要价值。

4 总结

肺音是反映肺部病理特性及诊断肺病相关疾病

的重要指标,可将肺音作为肺部病理基础及肺音疾病分类研究中的一个相关考量量以揭示病理机制及评价诊断结果,所以肺音信号的分析识别在临床上具有重要的研究价值。STFT、小波分析识别、高阶谱分析法等肺音分析识别还有一定的缺点与不足,但相对于其他肺音分析识别方法,这3种方法是比较经典完善的方法。STFT克服了傅里叶变换只能得到肺音信号整个时域内的频域特性的缺陷,保证了肺音信号进行动态的时频域分析。小波分析是比较常用的肺音分析方法,对于相同频段的人体其他生理噪声消除效果好,但对于环境噪声效果一般。高阶谱分析可以抑制加性有色噪声,还可以得到肺胸系统声传递函数幅度,保留其相位特性。在开发应用于临床的肺音检测分析系统的同时,应大力开展肺音特征量与临床病例生理相关性的研究,以此确定肺部疾病的肺音特征,充分统计临床数据建立完整而系统的肺音特征参数数据库,促进肺音信号在肺部相关疾病临床诊断中的应用。

参考文献

- [1] CHARLESTON-VILLALOBOS S, MARTINEZ-HERNANDEZ G, GONZALEZ-CAMARENA R, et al. Assessment of multichannel lung sounds parameterization for two-class classification in interstitial lung disease patients[J]. *Comput Biol Med*, 2011, 41(7): 473-482.
- [2] YEGINER M, KAHYA Y P. Elimination of vesicular sounds from pulmonary crackle waveforms[J]. *Comput Meth Prog Biol*, 2008, 89(1): 1-13.
- [3] CHEN X, SHAO J, LONG Y, et al. Identification of velcro rales based on Hilbert-Huang transform[J]. *Physica A*, 2014, 401(5): 34-44.
- [4] MURPHY R. Computerized multichannel lung sound analysis, development of acoustic instruments for diagnosis and management of medical conditions[J]. *IEEE Eng Med Biol Mag*, 2007, 26(1): 16-19.
- [5] NAGGAR N A. Development of computerized recording channel of lung sound[J]. *J Med Bioeng*, 2012, 1(1): 52-55.
- [6] GURUNG A, SCRAFFORD C G, TIELSCH J M, et al. Computerized lung sound analysis as diagnostic aid for the detection of abnormal lung sounds: a systematic review and meta-analysis[J]. *Resp Med*, 2011, 105(9): 1396-1403.
- [7] KANDASWAMY A, KUMAR C S, RAMANATHAN R P, et al. Neural classification of lung sounds using wavelet coefficients[J]. *Comput Biol Med*, 2004, 34(6): 523-537.
- [8] SPIETH P M, ZHANG H. Analyzing lung crackle sounds: stethoscopes and beyond[J]. *Eur J Intensive Care Med*, 2011, 37(8): 1238-1239.
- [9] 姚小静, 王洪, 李燕, 等. 肺音信号分析及其识别方法的研究进展[J]. *重庆理工大学学报(自然科学)*, 2013, 27(12): 95-100.
YAO X J, WANG H, LI Y, et al. The research advance of analysis and identification method of lung sound signals[J]. *Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science)*, 2013, 27(12): 95-100.

(下转746页)