

鼾音与喘鸣音信号的声学分析及其应用

徐泾平 吴延军 程敬之*

(西安交通大学生物医学工程与仪器系 西安·710049)

鼾音和喘鸣音是上呼吸道阻塞的重要体征,鼾音与阻塞性睡眠呼吸暂停有密切关系。本文综述了声学、信号处理等技术在鼾音与喘鸣音分析中的应用及研究进展。

1 引言

上呼吸道是人体肺部进行内呼吸的必要气体通道。当由于下咽部塌陷或扁桃体下坠等,发生上呼吸道阻塞时,会产生各种各样的生理声信号,如果发生在睡眠时,会产生鼾音信号。睡眠呼吸暂停会以潜在的功能障碍出现在许多疾病中。因而国际医学界日益重视发生于睡眠中的呼吸异常。

1985年, Wilson 等人^[1]提出将声学技术应用于呼吸监护,此后 Cohen^[2], Pasterkamp^[3], Beck^[4]等人开展了应用鼾音信号进行睡眠监护、阻塞类型判别、程度评价等方面的工作,许多国家建立了睡眠实验室,为这一研究工作奠定了物质基础。总体上看,研究工作在以下4个方面展开。

- (1) 研究这些声信号的声压级,初步认识这些声信号的幅度特性,探讨了临床应用价值。
- (2) 应用信号处理方法,对这些信号进行谱分析,为这些声信号的发生机理与传播机理研究提供有效手段。
- (3) 应用语音信号处理中的先进方法,利用鼾音、喘鸣音估计上呼吸道的几何形状,获得声道截面函数随时间变化的动态过程,为上呼吸道阻塞程度评价、部位确定提供可能性^[5]。
- (4) 对于喘鸣音,应用数字滤波器组方法,建立上呼吸道的声学模型及基于生理学的模型。

本文综述了声信号处理方法在鼾音与喘鸣音分析中的应用及研究进展。

2 鼾音信号的数字处理

通常,在睡眠实验室或在一般的安静病房中用加速度计^[4]或空气耦合电容传声器^[6],驻极体电容传声器来检测鼾音、喘鸣音信号,用高保真录音机来记录信号,在信号处理实验室进行谱分析,或者应用计算机进行实时处理。

鼾音信号数字处理方法主要有时域波形分析与功率谱分析,而谱特征量是描述信号的重要参数。功率谱分析有两种方法,即基于FFT算法的经典谱估计方法与基于参数模型的现代谱估计方法。为了了解鼾音信号随时间的变化过程,还需要研究动态谱。

1986年 Cohen^[3], Lieberman^[7]等人应用最大熵谱估计(MEM)方法与LPC模型方法对鼾音信号进行了谱分析,获得了鼾音信号的功率谱和动态谱。他们认为:鼾音信号是一种非平稳信号,谱分析是寻找阻塞源的重要方法。

1988年 Beck 等人^[4]在5条离体狗的上呼吸道处的声门正上方、下咽部粘膜下方制造出上呼吸道阻塞,用增加气体充气量的方法来改变阻塞程度。测量了气管内气流、跨肺压、咽肌肌电图和血压。用一个 HP21050A 传感器在喉下2~3cm处的气管上检测声信

* 收稿日期 94-10-18;修回日期:94-12-15

号,发现鼾音信号的重要特征是重复的复杂波形,它包含了3~5个波和尖峰,这些波形的形状因狗而异,并随阻塞程度而变化。功率谱分析结果表明:所有这些不同的波形表现出相似的模式,它包含了多个闭合,梳齿样尖峰,这些尖峰分布在从50~100Hz开始,高达400~600Hz的频率范围内。

1989年,Beck等人^[6]又将文献[5]中的

工作发展到研究人的鼾音信号,分析了6名患有OSA的病人的鼾音信号。此时,他们采用驻极体电容传声器加空气耦合腔组成的传感器附于胸正上方来检测鼾音信号。在睡眠实验室中,对不同睡眠阶段,分别记录10~20min的鼾音信号。实验结果表明:所有类型的鼾音信号都表示出有特征的波形与谱图,如图1所示。

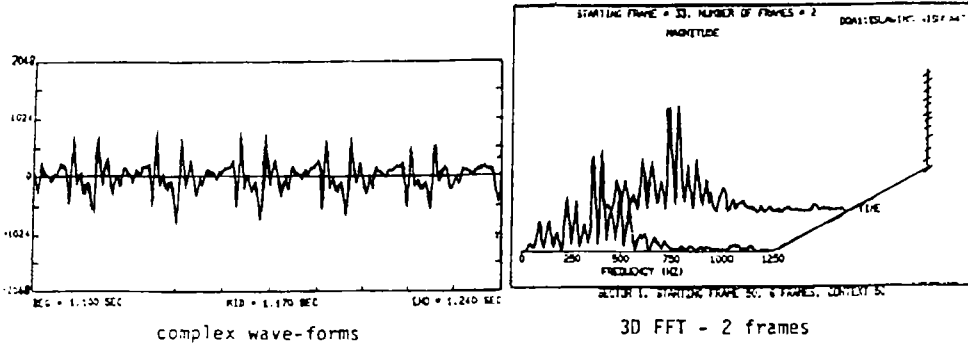


图1 鼾音信号的波形与动态谱

由波形可以看出:声信号是由一个单一振动结构或两个振动结构同时进行而产生的。

Pasterkamp等人^[3]探讨了肺音图在睡眠实验室中的应用,根据其初步研究结果,他们推测肺音图可帮助区分良性鼾音与由明显的气道阻塞和低氧血有关的恶性类型的鼾音。

上述研究结果对于人们认识鼾音的发生机理及客观评价OSA的性质等方面都具有重要的意义。

3、上呼吸道声道截面函数估计

鼾音信号中蕴含着上呼吸道状态的信息,利用鼾音信号判断上呼吸道的阻塞部位和阻塞程度,这是鼾音信号的一个重要应用之一。

利用鼾音信号估计声道截面函数的原理与语音信号中估计截面函数面积的原理相同,在这里略作介绍。

首先将声道模型看作是由N段无损声管连在一起组成的,每一段中的反射系数 r_k 和无损声管的面积函数有如下关系:

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_{k+1} + A_k} \quad (1)$$

式中, A_{k+1} 与 A_k 为相邻两段声管的截面积, $\{r_i\}$ ($i=1,2,\dots,p$)为反射系数, p 为LPC模型的阶数。

由LPC模型可计算出部分相关系数 $\{k_i\}$,并且有:

$$r_i = -k_i, \quad i=1,2,\dots,p \quad (2)$$

由(1)和(2)式有:

$$A_{i+1} = \left[\frac{1-k_i}{1+k_i} \right] A_i \quad (3)$$

应用(3)式可得到相邻两节声管面积之比^[8]。

Cohen等人^[2]应用上述方法,利用鼾音信号估计出上呼吸道截面面积函数。

Leiberman等人^[7]在文献[2]工作的基础上,进一步获得了截面面积函数的动态变化过程,更形象直观地获得了阻塞部位、阻塞程度以及阻塞随呼吸过程的变化情况,是这

一领域中的重大进展之一。

这种声道截面函数估计是在简化上呼吸道模型(将其当作16级等长度的不同截面面积声管的级联)的基础上进行的,因此,这种估计方法的结果应与X线扫描或CT扫描获得的数据进行比较,进一步研究这种简单方法的有效性,进而使其标准化。从理论上讲,这种方法是一种近似方法,还不够完善,有许多问题有待于进一步研究。

4 儿童喘鸣音的声学分析

喘鸣音中蕴含着大量的诊断信息,如何提取这些信息一直是人们十分关注的研究课题。随着声学技术的发展,人们采用声谱图、FFT线性预测模型^[3],滤波器组和以生理学为基础的滤波器组方法^[9]来研究喘鸣音,其研究成果有助于人们认识喘鸣音的特征及提高喘鸣音的临床诊断价值。

5 结束语

语音信号处理中的许多方法,如谱图或短时付里叶变换,LPC模型、声道截面面积函数估计等均在生理声信号(如肺音、心音、鼾音、喘鸣音等)处理中得到广泛应用,极大地促进了有关学科的发展,提高了生理声信号的临床价值。但是,应当看到在使用各种信号处理方法时,应密切结合各种生理声信号的特点来选取信号处理的参数,如LPC模型的阶数,每一帧的数据长度等,同时还应当对各种生理声信号建立标准的处理方法,便于各种处理结果之间的比较。另外,在研究各种生理声信号产生机理与传播机理的基础上,还应当发展一种适合于这种声信号处理的特殊方法,如利用LPC模型估计气道截面面积函数时,由于鼾音、喘鸣音与语音两者的发生机理与传播机理不同,对鼾音与喘鸣音而言,

直接应用LPC方法可能会产生一定的误差^[9],这种误差可能是由于不满足模型假设而引起的。当然,对于一些特殊语音,如发鼻化元音时,模型中产生零点^[10],直接应用LPC方法估计声道面积函数时会产生一定的误差。因此,在实际估计气道阻塞情况下气道截面面积时,要注意到许多特殊情况,这正是有待于进一步深入研究的课题。

参考文献

- 1 Wilson, K., et al. Snoring: an acoustic monitoring technique, laryngoscope, 1985, 95: 1174 ~ 1177.
- 2 Cohen, A., et al. Analysis and classification of snoring signals, ICASSP, 1986, 693 ~ 696.
- 3 Pasterkamp, H., et al. Application of respirosonography in the sleep LAB, 14th Int. Conf. on Lung Sounds, 1989.
- 4 Beck, R., et al. Time-expanded waveform and spectral characteristics of snores in a dog model of upper airway obstruction, 13th Int Conf on Lung Sounds, 1988.
- 5 Cohen, A. Signal processing methods for upper airway and pulmonary dysfunction diagnosis. IEEE Engineering In Medicine and Biology Magazine, Mar. 1990, 72 ~ 75.
- 6 Beck, R., et al. Time-expanded waveform and spectral characteristics of snores in human, 14th Int Conf on Lung Sounds, 1989.
- 7 Liberman, A., et al. Digital signal processing of stridor and snoring in children, Int. J. of Paediatric otorhinolaryngol, 1986, 12: 173 ~ 185.
- 8 Saito, S and Nakata, K. Fundamentals of speech signal processing, Academic Press, 1985, Lh. 10, 133 ~ 140.
- 9 Malone, M. J., et al. Acoustical analysis of infantile stridor: a review, Medical and Biological Engineering and Computing, Mar. 1993, 31: 85 ~ 96.
- 10 林其光. 声道转移函数的计算. 应用声学, 1992, 11(5): 19 ~ 24.