

生理声信号分析的进展

Progress in Physiological Acoustic Signal Analysis

徐泾平

(西安交通大学生物医学工程与仪器系, 博士研究生 西安 710049)

程敬之

(西安交通大学生物医学工程与仪器系, 教授 西安 710049)

人体各器官在运动时会产生各种各样的生理声信号, 如脉搏信号、心音信号、肺音信号、关节音信号、肌音信号、脑血管音信号等。这些生理声信号在临床诊断与监护上有着极其重要的应用价值。近年来, 这些生理声信号的分析受到国际医学界、生物医学工程界等的广泛重视, 并将成为发展无创诊断技术研究的重要课题之一。

本文以生理声信号检测、处理、产生模型与传播模型以及应用为主线, 讨论生理声信号分析这一分支学科研究的基本问题及最新进展。

一、生理声信号检测方法

生理声信号大都是十分微弱、常常伴有强干扰的声信号, 因此在检测方面主要有两个方面的要求。首先, 检测信号需用高灵敏度、微型、轻量、高精度、高稳定性的传感器; 其次, 由于强干扰噪声的存在, 需采用先进的滤波技术来消除信号中的加性或乘性干扰噪声。

生理声信号检测最初多用一般的工业用换能器。近年来, 研究者根据检测对象的不同特点分别设计出适用于人体生理声信号检测的专用传感器。目前, 检测生理声信号主要应用两类传感器, 接触式的加速度计或聚偏二氟乙烯(PVDF)材料构成的软接触面传感器和非接触式的空气耦合式驻极体电容传声器。后者主要用于检测属于音频范围内的声信号, 而前者可检测很高频率的振动信号。

用来检测脉搏的传感器有多种固态的和液态的压力传感器, 也有光电、超声、压电晶体等不同形式的换能器。其中, 刚性触头测力脉象换能器是目前国内外普遍采用的检测用传感器。但是, 近年来, PVDF 压电薄膜材料或其它材料(如单晶硅等)构成的软接触面脉象换能器也逐渐开始广泛应用。国外学者在研究脉象时, 使用了一种空气耦合电容传声

器来检测信号。这种传感器检测灵敏度高, 稳定性好, 是一种值得注意的新型脉象传感器。针对中医脉象是立体的、多维的这一特点, 许多研究者开展了点(线)阵换能器多路脉象信号检测研究, 如中医寸、关、尺三部脉象换能器, 七个探头式的脉象换能器, 多功能复合压力换能器, PVDF 压电薄膜构成的多维脉象换能器。

检测肺音信号时需用高灵敏度、微型、轻量的传感器。常用加速度计与驻极体电容传声器作为探头核心部分。为了检测气管音, 有学者设计了专用传感器。采用接触方式的优点是它对环境噪声不敏感。采用电容传声器时, 通常要设计合理的空气耦合腔, 这是实际应用中要解决的问题之一。最近, 国外采用 PVDF 压电材料作成传感器, 很适合于肺音及其它生理声信号(如心音、肌音、肠鸣音、脑血管音等)的检测。

检测到的生理声信号中常包含着许多干扰噪声, 如肺音信号中的心音信号干扰、关节音或关节振动信号中的肌肉收缩干扰等。这些干扰常使信号处理结果有很大的变异性, 很难从处理结果中寻找规律。由于干扰噪声与信号在频域上有部分重叠, 采用一般的滤波器往往不能有效地消除干扰噪声, 自适应滤波技术在一定程度上有效地解决了这种干扰噪声的消除问题, 这是生理声信号分析中值得注意的重要研究课题之一。

生理声信号检测用传感器存在的主要问题是使用不太方便和较难校准等。另外, 还需要建立标准的检测方法。生理声信号检测用传感器发展的方向是微型化、阵列化、多功能化、智能化。

二、生理声信号处理方法

应用于生理声信号分析的方法主要有时域分析、谱分析、高阶谱估计、信号的时-频表示方法

(包括小波和小波包分析)等。以下介绍谱分析、高阶谱估计和时—频分析三种方法。

1. 谱分析

谱分析是从频域上揭示信号韵律的有力工具,它在生理声信号分析中有着广泛的应用,如心音、肺音、肠鸣音、脉搏、关节音、肌音、心血管音、脑血管音等。

谱分析方法主要分为以傅里叶分析为理论基础的经典谱分析法和以非傅里叶分析为理论基础的现代谱分析法。应用这些谱分析法于生理声信号时,应密切结合各种生理声信号的特点来合理地选取信号处理参数,这是在具体应用时要解决的关键问题之一。

2. 高阶谱估计

功率谱只反映信号的幅频特性,丢失了相位信息,这是功率谱的先天局限性。理论上,相频特性(相频谱往往蕴含着有关信号细节的信息,它也是信号特征的重要表征。近年来,以双谱(Bispectrum)为代表的高阶谱逐渐在生理声信号分析中得到应用,如在心音、肺音中的应用已取得了很好的结果。高阶谱方法是生理声信号分析中应注意研究的重要课题。

3. 时间—频率分析

对于非平稳信号,由于不同时刻有不同的频率成份,仅单纯在时域或频域都不足以表征信号特征。这样,就导致了在时—频联合域表示信号的思想。实践表明,时—频分析(包括小波变换)是研究这种非平稳信号的有力工具。

时—频分析已应用于许多学科及信号处理的许多领域,在生理声信号分析中也有广泛的应用,如肺音、心音、肌音等。可以预料,时—频分析将在生理声信号分析中发挥更大的作用。

三、生理声信号的分类与自动识别

在对生理声信号处理的基础上,可提取表示信号的主要特征,利用这些特征可进行信号的自动识别。

可供选择的特征很多,有平均能量、平均过零率、频谱(包括:10至30个通道的滤波器组的平均谱、DFT谱、模仿人耳听觉频率特性的MEL谱等)、共振峰(包括:共振峰频率、带宽、幅值)、倒谱、AR模型系数、基于小波变换的特征参数以及基于时—频表示的特征参数等。

在具体实现上,模式识别中的一般方法是可行的。近年来,人工神经网络为这类识别问题的解决提供了一种可供选择的极其有效的新方法,它已应用于心音、心杂音、肺音、关节音等的自动识别。估计这种人工神经网络方法将广泛应用于生理声信

号的分析与识别。

四、生理声信号的发生机理

生理声信号的发生机理是一个非常重要的研究课题。这方面的工作有可能构造生理声信号产生的各种模型,还可进一步揭示生理声信号声源的特性。因此,该研究具有重要的理论意义和应用价值。

发生机理的研究成果与组织学、解剖学、X射线解剖学、功能学、生物力学等学科的有关知识相互印证,将使人们逐渐认识各种生理声信号的发生机理。

五、生理声信号的传播机理

生理声信号是音源经过人体某一系统而传播至体表的声信号(或振动信号),因此人体相应系统对音源的传播具有怎样的作用,一直是各种生理声信号研究中的基本问题。

声传播特性研究主要从两个方面进行。一方面是研究人体某系统(如肺胸系统、心胸系统等)的声传递函数或频率特性,另一方面是研究系统中的声传播速度。由于系统声传递函数或频率特性是系统结构与状态及有关特性的一种综合反映,因此这方面的研究有可能开拓出系统疾病诊断的新方法。

目前,获得生理系统声传递函数或频率特性的方法主要有三种类型。

1. 基于测试信号的生理系统辨识方法。这种方法常采用的测试信号有正弦声波、脉冲声波、白噪声等。

2. 生理系统的理论建模。主要应用生物力学和声学理论对某一具体系统进行分析,提出表征这一系统的简化模型。

3. 基于生理声信号的生理系统建模方法。这种方法的基本思想是分离音源与传播路径的效应,进一步研究生理声信号音源特性与生理系统声传播特性。

近年来,生理系统声传播的非线性模型研究受到广泛重视,生理系统的非线性建模对于人们认识人体特殊的生理病理现象有十分重要的意义,这是有待于进一步深入研究的重要课题之一。

六、生理声信号分析的应用

根据生理声信号分析的研究成果,研究者已开发出了新型的诊断仪或监护仪。同时,在生理声信号分析时,人们也研究了生理声信号特征与其它生理参数之间的相关性,利用这种相关性可开发出生理参数测量仪等新型测量仪。在这里,要完整地讨

论生理声信号分析的应用比较困难,主要讨论三种生理声信号的主要应用。

1. 肺音信号

主要用于呼吸系统疾病的诊断与呼吸监护等方面。如由于肺泡呼吸音振幅与局部换气功能有良好的相关性,就可根据肺泡呼吸音振幅推断出每次呼吸的局部的相对换气量。近年来,肺音与通气关系研究一直是肺音学中的热点问题之一。研究表明,流率是影响肺音变化的最主要因素,因此有关肺音与通气关系的研究主要集中在流率与肺音特征之间的相关性这一核心问题上。已发现,气管音包络面积与流率有很好的线性相关。同时,气管音振幅与流率之间有明确的函数关系,不仅如此,气管音频域参数也与流率之间有确定的函数关系。根据上述研究成果,人们普遍认为,利用肺音信号作为参数实现肺通气功能无创监测方面具有良好的前景。

最近,我国学者探讨了以肺音参数作为量化指标对高频喷射通气(HFJV)进行定量化管理的可能性,取得了较好的结果,拓宽了肺音应用研究的领域,受到国际肺音学研究专家的重视。

2. 关节音

关节音是关节活动时发出的生理声信号。早在17世纪胡克(Hooke)就提出利用关节声发射(关节音或关节振动)来诊断关节病的方法,其后许多学者从事了这方面的研究。美国马里兰州一家医学研究所研制了一种根据检测人体关节音来诊断关节炎的仪器。该仪器能帮助医生准确地查出关节炎,从而使病人免去关节穿刺或静脉抽血之苦。

近年来,为了进一步研究关节音的发生机理、关节音特征与关节病理生理之间的相关性以及肌肉收缩干扰对测试结果的影响,许多研究者应用多路检测系统来检测关节振动信号,并应用谱分析技术、自适应滤波技术、人工神经网络等研究这些振动信号。目前,这方面的工作正在深入开展,该方法有望成为一种简单、方便、无创伤性的关节疾病

的诊断方法。

3. 叩击牙齿的振动信号

龋齿看似一种微不足道的牙齿小病,却严重损害人类的健康。每年有成千上万的人患上各种牙病。为了使牙科医生更快更准确地作出诊断,专家们设计出了牙齿叩击测量仪。诊断时,医生只要让仪器的金属小槌子轻轻叩击牙齿,各种振动信号便会通过检测系统传到该仪器,具有先进信号处理技术的测量仪可帮助医生更快更准确地诊断牙病,如龋齿、牙周病、冠周炎、牙髓炎、牙槽脓肿等。

除以上介绍的三种生理声信号(或振动信号)之外,其它许多生理声信号在临床上也具有十分广泛的应用。如肌音分析对儿童神经肌肉疾病诊断具有潜在的应用价值。睡眠中的呼吸异常时会产生鼾音信号(snoring signals),它与阻塞性呼吸暂停有密切关系,是睡眠时上呼吸道阻塞的重要体征。已证明,可利用鼾音信号进行阻塞类型判别及阻塞程度评价等。吞水音是近年研究的一种用于消化道功能状态诊断的新型方法,而肠鸣音分析在消化道疾病诊断中也具有重要的应用价值。

从学科发展的角度来看,生理声信号分析还处于不够完善的初级阶段。由于生理声信号检测处理、发生机理及传播机理等方面的许多问题没有圆满解决,生理声信号分析仍然是非常活跃的、正在发展的研究领域,有许多重要问题有待于各个学科领域的科学工作者通力合作来解决。国家自然科学基金委员会已经资助了多项有关生理声信号分析的研究课题,如肺音、肠鸣音、脉搏等,极大地推动了我国在这一学科领域内的发展,取得了很好的效果。

由于人体是一个极其复杂的系统,有许多不解之谜,生理声信号分析发展的道路是漫长而又艰巨的,但一旦弄清了各种生理声信号的发生机理、传播机理、信号特征与临床病理生理之间的相关性之后,生理声信号分析一定会有更广泛的应用前景。

(责任编辑 刘先曙)

科技动态

地球深处的热能

地球上许多活火山,它们喷出的炽热的岩浆中蕴藏着很大的能量。美国夏威夷群岛的活火山,经常喷出岩浆,滚滚注入太平洋,激起的蒸汽热浪冲天而起。这些蒸汽不正好是火力发电厂用来驱动汽轮机发电所需的蒸汽吗?是否可以利用火山岩浆的巨大热能来发电呢?

美国国立桑迪亚研究所的专家最早提出了利用岩浆热能发电的设想。他们的建议受到美国能源部的支持。1975~1981年间,能源部决定投资在夏威夷岛基拉厄阿伊基熔岩湖搞一个岩浆热能发电实验场。到1984年,野外工程试验证明,在地下深处的岩浆中储有巨大

的热能,而且想办法把这种热能提取到地面上来发电。方法是在有岩浆的地方打一深井,用泵把水压入井孔直达高温岩浆,水遇到岩浆后变成蒸汽,把蒸汽引出地面驱动汽轮机发电。科学家计算后证明,单从一口井得到的蒸汽热能,就可以建一个5兆瓦的电厂。由此估算,仅美国地下岩浆中蕴藏的热能,就相当于250~2500亿桶石油的能量,比美国矿物燃料的全部蕴藏量还多。

美国现在已在加利福尼亚的隆巴列伊地区选定了第一个岩浆发电厂的厂址,开始打一口6000米的深井,计划在90年代中后期建成岩浆发电厂,并向电网供电。

日本是世界上的多火山国家之一,地下岩浆热能丰

(下转第48页)

动之中,使技术致胜的观念深入人心;关心、学习、钻研、运用技术(革新、发明、合理化建议、质量检查)成为员工的自觉行动;技术研究和推广渠道顺畅,技术管理和监督具有权威;技术研究开发和经营的比重不断加大;生产经营活动最大限度地采用新技术,又不断改进原有技术,加大产品的技术含量,从传统技术向高技术转变,实现高技术化。

目前,发达国家企业技术经营的比重不断加大,产品制造的份额逐步减少,这是企业经营结构变化的重要趋势。“现在,美国通用电器公司的营业分成三类:技术经营、服务经营与核心制造经营”;“核心制造部分的收入只占公司总收入的 1/3。”(《国外科技政策与管理》1993 年第一期第 61 页)。可见,技术经营的地位是何等重要。

需要特别指出的是,企业技术经营机制是社会经济环境孕育的产物。一个国家的经济制度、生产关系、经济政策、产业政策、技术政策等等,是决定企业技术经营机制的命运,从而决定技术转移成败的宏观因素。

二、通道:从企业到企业

发达国家技术转移的主渠道是从企业到企业,而不是从高校、科研院所到企业。企业,特别是大跨国公司是最主要的技术源。目前,国际技术贸易的 80%是在发达国家的企业之间进行的。如美国 1978 年专利使用费收入的 80%是从跨国公司的子公司获得的,而非跨国公司的子公司的收入仅占 20%。技术企业化,是发达国家技术转移成功的先决条件之一。

所谓技术企业化,就是不仅技术商品的消费在企业,而且技术商品的生产和经营也在企业,使企业成为经济现代化直接的技术源。所谓直接技术源就是经过中试、产品设计、工艺设计、工业性试验,可直接用于生产的技术的来源(高校和科研院所是科学源和间接技术源),它们为经济发展提供了有力的技术支撑。这是发达国家与我国的根本区别。

技术企业化是市场经济发展的内在需求和必然结果。在市场经济条件下,企业家们深深懂得,企业的生存和发展本质上取决于企业的技术能力和经营能力。19 世纪以前,重大发明和创新主要来自独立发明者和研究机构。随着竞争的加剧,新技术应用于生产的周期越来越短,仅靠购买技术而自己又没有技术优势的企业越来越被

动。因为企业的技术需求是具体而复杂的,并随市场的变化而千变万化,一个只能依赖别人,自己没有技术能力的企业,就会创新滞后,创新不全,丧失市场。因此,不断提高研究开发能力和技术能力是市场经济条件下企业永恒的主题。研究开发资源和成果向企业,尤其是向大型企业集中,是不可抗拒的潮流,是不以人的意志为转移的客观规律。因此,从本世纪初开始,企业研究开发机构迅速发展,独立发明者和研究机构不断减少。到 1921 年,美国独立实验室的科研人员只占全国科研人员的 15.2%,此后进一步下降,1979 年为 10.7%。

第二次世界大战以来,发达国家的产业集中度不断提高,大型跨国公司蓬勃发展,科研集中度随之不断提高。目前,世界上 500 家大跨国公司拥有世界 90%的生产技术和 75%的技术贸易。1982 年,美国工业科研经费占全国科研经费的 72.2%,而 100 家大公司的研究开发经费占全部工业研究经费的 75%,原西德大公司投入的研究开发经费占全国研究开发经费的 80%以上。美国通用汽车公司 1990 年科研预算为 54.8 亿美元,相当于我国 1990 年全国的科研经费。美国电话电报公司的贝尔研究所有两万多名员工,有世界上一流的科学家、工程师和实验室,自 1925 年成立以来,取得 20 000 多项专利(平均每天一项),重大科研成果 50 多项,其中包括晶体管、激光、太阳能电池等重要的发明,七人 4 次获诺贝尔奖,是世界上最权威的通讯科研机构。他们投资强度大,科研集中度高,涉及基础理论、技术原理、设计、工艺、装备、原材料、员工素质等各个环节。贝尔研究所的科研选题以市场为导向,由科研、工程、生产、销售各方共同研究决定,从研究开发到向生产转移有一套正规程序,科研的针对性、实用性、时效性、市场适应能力很强,因而成功率高。事实说明,这些大跨国公司是战后技术研究开发、技术流通和消费的“发动机”和“航空母舰”,是世界的技术源。改革开放以来我国引进的一大批重大生产制造装备和产业发展的关键技术均来自国外大公司就是证明。

技术转移受多种因素制约,归根结底,受需求与供给制约。既定的生产结构、需求结构和供给结构,决定了技术转移的速度和规模。因此,促进技术转移,必须解决企业技术需求和供给问题。发达国家通过企业技术经营机制解决需求问题,通过技术企业化解决供给问题,从而促进了技术转移和经济现代化。(执笔 刘进先)

(责任编辑 孙立明)

(上接第 22 页)

富。从 1980 年开始,在岐阜县烧岳地区就进行了高温火山岩发电的实验。方法是在花岗岩体中打两口井,往其中一口井中灌凉水,从另一口井中抽出高温热水。实验证明,每分钟灌进 1.1 吨凉水,可连续回收 0.9 吨 190℃ 的高温水。

1989 年,日本又在山形县钻了两口相隔 35 米的 1 800 米深的井,每分钟向一口井中灌进 0.5 吨凉水,从另一口井抽出的水被岩体加热到 100℃ 以上。下一步是设法使凉水变成 200℃ 的蒸汽,最终实现用蒸汽发电。

英国也在鲁斯曼诺斯的热岩地带进行实验,这里 2 000 米深处的岩体温度约为 100℃,在 6 000 米深处热岩可把水加热到 200℃,1 口井的发电能力就达 100 兆瓦,并可持续用 25 年。英国计划在 1995 年建成一个 6 兆瓦的热岩发电厂,可满足 2 万人的小城镇电力之需。

岩浆和热岩发电,目前尽管处于初始阶段,但它是能源中的一颗新星,到本世纪末,肯定有人可以用上由它们发出的电力。

(刘先曙)