

智舌信号的数字滤波设计

胡晓晖,毛岳忠,田师一,邓少平*

(浙江工商大学,食品感官科学实验室,浙江杭州 310035)

摘要:智舌是一种新型智能感官分析仪器,它以快速、简便、安全等特点迅速在食品质量与安全、生物、环境等领域得到广泛应用。智舌在检测茶、酒等物质时信号强度高,受背景噪音影响较小,但在检测糖、水等某些弱电解质溶液时,信号十分微弱,受背景噪声干扰明显,直接影响测量值的准确度与精度。实验借助 LabVIEW 开发平台,提出了一种适合智舌检测信号的数字滤波方法。通过对水、蔗糖溶液、绿茶饮料的滤波前后信号比较,证明此方法方便、灵活、可靠,能很好地滤除智舌信号的背景噪声干扰。

关键词:智舌,数字滤波,LabVIEW

Design of digital filter for the signal of Smartongue

HU Xiao-hui, MAO Yue-zhong, TIAN Shi-yi, DENG Shao-ping*

(Zhejiang Gongshang University, Food Sensory Science Laboratory, Hangzhou 310035, China)

Abstract: Smartongue is a new intelligent sensory-analyzing instrument. With its characteristics of robustness, simplicity and safety, it is widely applied in the fields of food quality and safety inspection, biological and environmental studies. When Smartongue was used for inspecting tea and wine, the signals would be strong and more immune to the background noises. However, when it was used for inspecting sugar, water and other weak electrolytic liquid, the signals would be weak and susceptible to background noise, and thus it would affect the accuracy and precision of the measurement. This article, based on the LabVIEW development platform, aims to propose a digital filtering method, which is suitable for the Smartongue inspection signal. Experiments were conducted on the pre- and post-filtering signals on the tested liquids, such as water, cane-sugar solution and green tea, and it proved that it was convenient, flexible and reliable in filtering the background noise of the signal in Smartongue.

Key words: Smartongue; digital filter; LabVIEW

中图分类号:TS201.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2010)12-0352-04

智舌^[1-2]是浙江工商大学食品感官实验室研究的一种新型智能型电子舌。它是一种以惰性金属传感器为基础,结合电化学、模式识别算法以及专家数据库对被测样品整体品质分析检测的现代化仪器^[1-3]。因其具有检测信息量丰富,测试时间短,传感器使用寿命长,稳定性好等特点,在污水监测、微生物生长期检测、茶类、酒类鉴别等应用领域,智舌已经显示出巨大应用潜力^[4-7]。茶、酒等物质电解质含量较高,信号强度较大,受外界噪声影响不明显,而检测糖、纯净水等弱电解质物质时,信号强度很弱,受到周围电、磁场、人类活动所带来的噪声影响也就相对较大。如果不对信号进行有效的滤波,就会使有用信号受到较大干扰,影响信号测量的可靠性与精度,甚至给后期的数据处理结果带来严重影响。传统的处理方法往往借助于硬件电路的滤波,

但这种方法很难保证较窄的通带宽度,且中心频率固定,灵活性较差,调试过程也较为复杂。随着近来数字滤波技术件的发展,应用数字滤波软件对信号进行滤波处理,越来越多地被人们所接受采用。LabVIEW 作为一种图形化的编程语言和开发环境,被公认为是标准的数据采集和仪器控制软件。它基本上不需要编写文本式的程序代码,而是使用工程技术人员所熟悉的术语、图标和概念,可以方便快速地建立自己的虚拟仪器。LabVIEW 软件开发平台中信号处理单元的 Filters 模块能面向对象编程,其先进、灵活、强大的功能让设计者只要适当改变滤波器的参数,就能方便地改变滤波特性,满足我们对信号准确度、精度的要求。

1 智舌系统简介

基于虚拟仪器所构建的智舌系统(见图1),主要由传感器阵列、信号调理单元、NI 数据采集卡以及基于 LabVIEW 开发环境的测试软件和基于 Matlab 开发环境的模式识别软件等四部分构成。其工作过程:首先由 PC 控制数据采集卡(USB-6251)的数模转换接口(D/A Converters)产生激励信号,并通过恒

收稿日期:2010-06-08 *通讯联系人

作者简介:胡晓晖(1985-),男,工学硕士,主要从事仿生舌(鼻)模型机研究。

基金项目:省自然科学基金(Y3090523)。

电位模块稳定地施加于传感器阵列驱动待测溶液发生电化学反应,同时传感器产生微弱的电流信号,经程控电流跟随器模块放大、滤波,输入至数据采集卡的模数转换接口(A/D Converters)进行采集,最后传输至计算机进行处理。

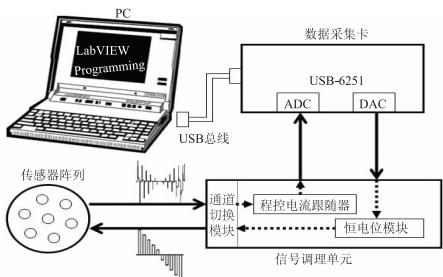


图1 基于虚拟仪器平台的智舌系统框图

智舌的硬件处理单元包括恒电位模块、通道选择模块、信号放大模块等几个功能区块。如采用硬件滤波,需要加入特定的滤波器件单元,不仅增加了整体电路布局的复杂性,而且这一滤波方案要适用于不同样品的智舌信号,调试复杂、周期长,不利于对智舌系统的整体研发。数字滤波技术与数字滤波配套软件的飞速发展,使得我们完全有能力利用软件数字滤波方式替代硬件滤波。

智舌的软件测试单元是整个系统的关键部分,该测试软件模型最大的特点是能够根据测试的不同需求,在原型基础上通过简单快速地配置就能满足新的研发需求,而所有的操作基于 LabVIEW2009 开发平台并结合 NI-DAQmx 8.9.5 设备驱动程序完成的。因此,采用基于 LabVIEW 虚拟仪器平台来实现智舌信号滤波,只需要增加相应的滤波程序,不需要增加外部设备,灵活可靠,大大降低了开发时间和成本。

2 智舌信号滤波设计

2.1 智舌信号的激发与采集

智舌检测的对象一般是水溶液,需要在外部电势激发下驱动样品溶液发生电化学反应,从而获得其响应信号并进行后期数据处理分析。使用不同的激励信号,将产生不同的响应信号,并决定了不同检测要求^[8-9]。智舌的激发信号是在常规大幅脉冲激发信号的基元上进行改进与扩充,利用 LabVIEW 开发环境构建了一种新型的组频率脉冲信号,每个大幅脉冲的脉冲幅度从 1V 开始,每次变化-0.2V,直到-1V。同时,增加了 1、10、100Hz 三个不同频率段的变化;使传感器不仅反映物质在不同电势下的电化特征的同时,还呈现出物质在不同频率段(如图 2 所示)的响应特征。

2.2 智舌信号数字滤波器设计

根据智舌信号的特点以及采集程序的要求,选用滤波速度快,对相位没有要求的 IIR 滤波器。本程序采用的巴特沃斯滤波器的幅度平方函数为:

$$|H(\Omega)|^2 = \frac{1}{1 + (\Omega/\Omega_c)^{2N}} \quad \text{式(1)}$$

式(1)中:整数 N 为滤波器的阶数,Ω_c 为其-3dB 频率(通常称为截至频率)。此滤波器的特点是在截

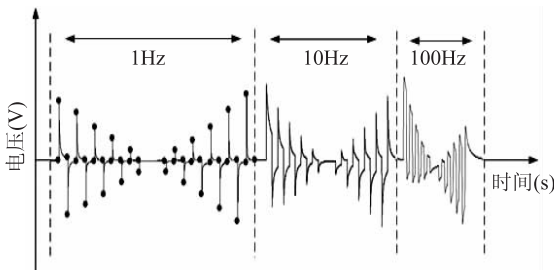


图2 智舌响应信号

至频率内,它拥有最平滑的频率响应,在截至频率以外,频率响应单调下降。在通带中特性波动小,是理想的单位响应,在阻带中响应为零。提高滤波器的阶数可以明显地提高滤波效果,但有时会造成信号的连贯性不好,局部失真,且增加算法的复杂度,所以一般不建议在满足低频段阻带衰减要求的情况下增加滤波器的阶数,本滤波设计定义滤波器阶数为 3 阶。关于截至频率以及通带类型的考虑,由于智舌信号分处于三个频率段,若对整体的信号采用同种滤波方式显然效果将不太理想。因此本滤波程序针对 1Hz 频率段采用低通滤波器,截至频率为 10Hz;针对 10Hz 频率段采用低通滤波器,截至频率为 50Hz;针对 100Hz 频率段采用带通滤波器,低截至频率为 50Hz,高截至频率为 400Hz。这样既能避免 50Hz 频率噪声的干扰,又能把高频的电磁波信号很好的滤除。

2.3 智舌信号数字滤波程序实现

数字滤波的软件设计主要是通过 LabVIEW 中信号处理单元的 Filters 模块来实现的。滤波器接受来自采集卡采集并经过前端处理的信号,经滤波处理后,得到更符合原采样信号的处理信号。

智舌信号数字滤波的程序框图(见图 3),采样率为 1k,即每毫秒采集一个点。1Hz 频率段的信号需要 23000ms 采集完成,10Hz 频率段的信号需要 2300ms 采集完成,100Hz 频率段的信号需要 230ms 采集完成。程序定义每个循环用时 1ms,故在程序编写中用循环次数进行 Case 结构的判断,使每个频率段采用不同的滤波参数。程序的核心部分是数字滤波器可编程模块单元。可以方便地对滤波器的种类、通带类型、截至频率、滤波器阶数、传递模式、频谱响应等进行修改,界面简单友好^[10]。在实际的测量测试项目中,根据采集到信号的具体情况,对以上参数进行修改调试,就能很好地实现对信号滤波去噪的工作。为了直观、准确地表征滤波前后的处理结果,对于每一次实验,测试软件可以分别保存原始数据与经数字滤波处理后的测试数据,避免了两次

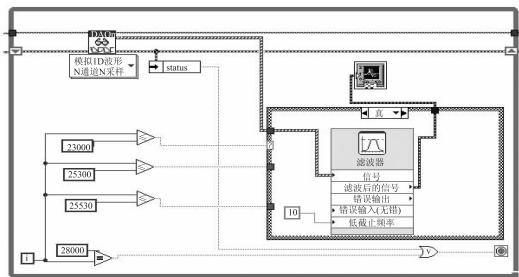


图3 智舌数字滤波程序框图

测试实验带入的误差。

3 智舌信号数字滤波效果比较

3.1 材料与设备

测试样品 市售四种常见的纯净水(a、b、c、d); 0.001mol/L 蔗糖溶液,市售某品牌绿茶饮料;样品直接测试,无需前处理过程。

智舌 本实验室自行研究开发的设备,工作电极和辅助电极均选用铂电极,参比电极为银-氯化银电极,外盐桥使用的为饱和氯化钾。

3.2 实验方法

本研究先取纯净水样品 b、0.001mol/L 蔗糖溶液和市售某品牌绿茶饮料这三种样品。分析对比其滤波前后的原始信号。再对四种纯净水样品做了特定的模式识别算法分析,进一步反映数字滤波对智舌结果分析的影响。

3.3 结果与分析

3.3.1 原始信号的滤波效果比较 由图4、图5可以发现,纯净水 b 样品信号的最大峰值小于 0.08V,而 0.001mol/L 蔗糖溶液信号更小,最大峰值只有 0.035V 左右。受背景噪声干扰比较明显。滤波前,信号在上升沿及下降沿的迟豫部分出现明显毛刺,而此部分的信号在电化学上能很好地表征溶液法拉第电流的响应特性,如果这部分的信号的准度与精度受到干扰,将直接影响最终的实验结果。滤波后,信号的噪声基本滤除了,而有用信号的整体响应并没有因为滤波的关系发生缺失与畸变。由图6可见,某品牌绿茶饮料信号强度较高,受背景噪声干扰不太明显,滤波后的信号幅值比滤波前的稍小,但整体信号响应还是保存得非常完整。

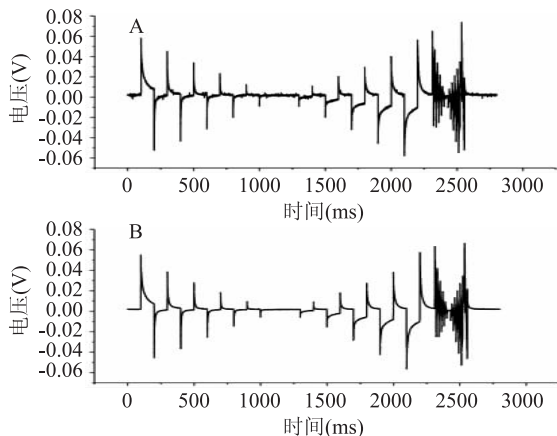


图4 纯净水 b 样品滤波前(A)滤波后(B)信号对比图

3.3.2 由模式识别 PCA 算法处理后的滤波效果比较

主成分分析(PCA)方法,是一种考察多个数值变量间相关性的模式识别处理算法。将 PCA 应用于智舌分析检测的目的就是保证尽可能多地表征原始信息的前提下进行降维处理,用少数几个新变量来代替较为庞大的原始数据。PCA 的结果往往用主成分得分图来直观地表征,横纵坐标分别代表第一主成分和第二主成分承载的样品信息量,图中每个点代表一个样品的一次检测,点与点之间的距离代表不同检测次数之间的差异。滤波前后的 PCA 得分图如图7所示,滤波前 a、b 样品区分效果较好,但 c、d 样

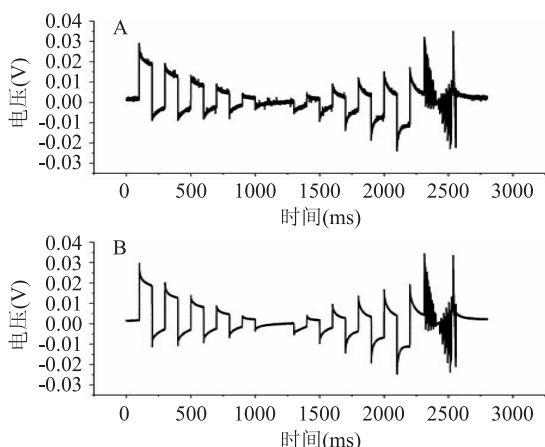


图5 0.001mol/L 蔗糖溶液滤波前(A)滤波后(B)后信号对比图

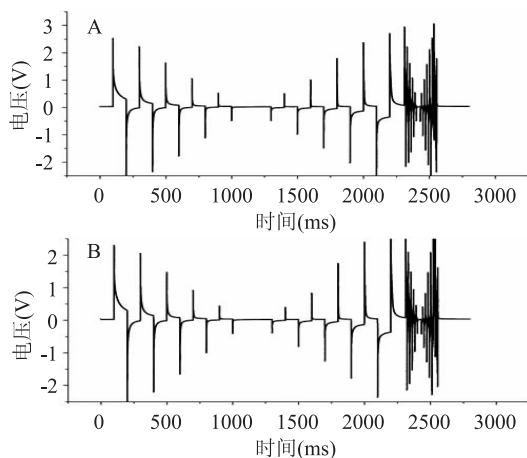


图6 某品牌绿茶饮料滤波前(A)滤波后(B)后信号对比图

品有小部分的重叠,区分效果不是很理想。滤波后,四种纯净水所表示的区块各自独立,区分效果就比较理想了。可见本文所述,针对智舌信号的数字滤波方法设计是完全可行的。

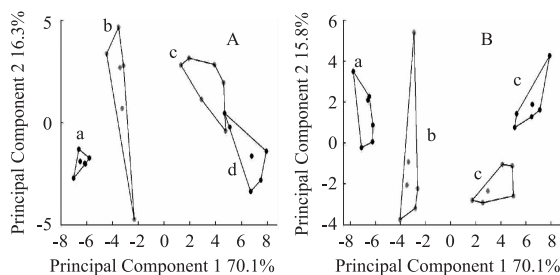


图7 四种纯净水样品滤波前(A)滤波后(B)PCA 得分图比较

4 结论及展望

本研究在 LabVIEW2009 开发环境下,结合智舌信号采集程序,提出了一种适合智舌信号的数字滤波方法。由原始信号散点图和 PCA 处理主成分得分图可以证明此方法方便、灵活、可靠,能很好地滤除智舌信号的背景噪声且完整地保留了有用信号的响应特征。针对不同背景噪音下的信号,也只需要适当改变数字滤波器的参数就能实现不同的滤波方法,因此这一开发具有很好的工程应用价值。

(下转第 357 页)

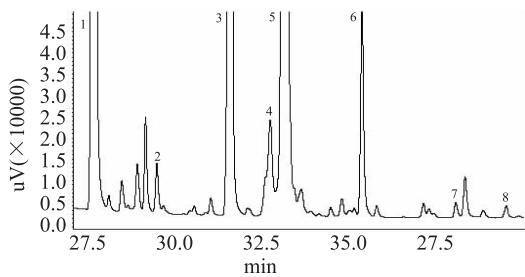


图2 乳脂样品气相色谱图(未加 C17:0 内标物)

注:1:C16:0;2:C17:0;3:C18:0;4:C18:1-11t;

5:C18:1-9c;6:C18:2-9c,12c;7:C18:3-9c,12c,15c;

8:C18:2-9c,11t,图3同。

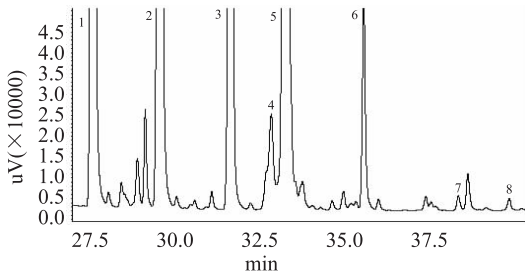


图3 乳脂样品气相色谱图(加 C17:0 内标物)

56.36%。同时,乳脂样品中 C18:2-9c,11t 的质量百分比仅为 0.11%。

目前国际对食品中反式脂肪酸含量的限量标准为少于 2%,而通过本实验的测定可知,纯牛奶中仅 18 碳反式脂肪酸的质量分数就达到约 2.27%,其含量还是偏高,共轭亚油酸由于其具有提高机体免疫功能、防止动脉粥样硬化、抗氧化等作用,故在牛奶中应提高 CLA 的含量,通过本实验的检测可知,牛奶中 CLA 的含量远少于 TFA,因此对于牛奶中反式脂肪酸消解技术的研究迫在眉睫,而这其中尤其是对 C18:1-11t 的消解。在反刍动物体内,C18:1-11t 可在肝脏和乳腺细胞中被 $\Delta 9$ 脱氢酶脱氢,生成 9c,11t-CLA。Pollard 等人^[6]曾从大鼠的肝脏微粒体中分

离得到 $\Delta 9$ 脱氢酶,据此,可进一步研究利用 $\Delta 9$ 脱氢酶将 C18:1-11t 转化成 9c,11t-CLA 的体外实验过程,从而达到既减少牛奶中 TFA 含量,又增加 CLA 含量的效果。

3 结论

本实验通过毛细管气相色谱法,利用内标法,对纯牛奶中 18 碳反式脂肪酸及 9c,11t-CLA 的含量进行了检测,结果得出,纯牛奶中 18 碳脂肪酸的质量百分比约为 35.43%,18 碳反式脂肪酸的质量百分比约为 2.27%,而其中 C18:1-11t 的质量百分比达到 1.28%,占有 18 碳反式脂肪酸的一半以上,约为 56.36%,这离国际对食品中反式脂肪酸含量的限量标准 2% 还有一定差距。同时,牛奶中 C18:2-9c,11t 的质量百分比仅为 0.11%,其含量远少于 TFA,因此可利用 $\Delta 9$ 脱氢酶将 C18:1-11t 转化成 9c,11t-CLA,从而达到既减少牛奶中 TFA 含量,又增加 CLA 含量的效果。

参考文献

- [1] 赖晓英,武德银,伍颢,等.反式脂肪酸的危害及其检测方法[J].现代食品科技,2006,23(2):73-76.
- [2] 王丽芳,卢德勋,马燕芬.共轭亚油酸的来源及其生物学作用[J].乳业科学与技术,2008(2):93-96.
- [3] GB/T 17376-2008/ISO 5509:2000.动植物油脂脂肪酸甲酯制备[S].
- [4] 吴广臣.食品质量检验[M].北京:中国计量出版社,2008:65-67.
- [5] GB/T 22110-2008.食品中反式脂肪酸的测定气相色谱法[S].
- [6] Pollard M R, Gunstone F D, James A T, et al. Desaturation of Positional and Geometric Isomers of Monoenoic Fatty Acids by Microsomal Preparations from Rat Liver [J]. Lipids, 1980, 15 (5):306-314.

(上接第 354 页)

参考文献

- [1] TIAN S Y, DENG S P, CHEN Z X. Multifrequency large amplitude pulse voltammetry: A novel electrochemical method for electronic tongue [J]. Sensors and Actuators B, 2003, 123 (2): 1049-1056.
- [2] TIAN S Y, DENG S P, DING C H. Discrimination of Red Wine Age Using Voltammetric Electronic Tongue Based on Multifrequency Large - Amplitude Voltammetry And Pattern Recognition Method [J]. Sensors and Materials, 2007, 19 (5): 287-298.
- [3] 田师一,邓少平.对酒类品种区分与辨识[J].酿酒科技,2006(11):24-26.
- [4] 田师一.多频脉冲电子舌系统的构建及应用[D].杭州:浙江工商大学,2007:10-45.
- [5] IVARSSON P, JOHANSSON M, HÖJER N E, et al. Supervision of rinses in a washing machine by a voltammetric electronic tongue [J]. Sensors and Actuators B, 2005, 108 (1-2):

851-857.

- [6] SÖDERSTRÖM C, BORÉN H, RÜLCKER C K. Use of an electronic tongue and HPLC with electrochemical detection to differentiate molds in culture media [J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 97 (3): 247-257.
- [7] LVOVA L, PAOLESSE R, NATALE C D. Detection of alcohols in beverages: An application of porphyrin - based electronic tongue [J]. Sensors and Actuators B, 2006, 118 (1-2): 439-447.
- [8] WINQUIST F, WIDE P, LUNDSTRÖM I. An electronic tongue based on voltammetry [J]. Analytica Chimica Acta, 1997, 357 (1-2): 21-31.
- [9] CHRISTIDIS K, ROBERTSON P, GOW K, et al. Voltammetric in situ measurements of heavy metals in soil using a portable electrochemical instrument [J]. Measurement, 2007, 40 (9-10): 960-967.
- [10] 龙华伟. LabVIEW 8.2.1 与 DAQ 数据采集 [M]. 北京:清华大学出版社,2008:217-219.