

一种消除心电信号噪声的 数字滤波方法

□陈天华* (北京工商大学信息工程学院 北京 100037)

陈 茜 (湖南九之堂医药集团公司 长沙 410007)

摘 要:为有效滤除心电信号的工频干扰,提出了一种 FIR 数字滤波器设计方法,该方法设计简单、运算量小,能实现线性相移,对有用信号的影响小。理论分析和实验均表明,即使在严重干扰的情况下,该方法能有效抑制心电信号的 50Hz 工频干扰。

关键词:心电信号 数字医学 数字滤波 噪声消除 数字信号处理

数字人体是当今医学科学技术、信息科学技术、生命科学和计算机技术的高度交叉与融合,是近年来新兴的一门前沿交叉学科。数字人体的研究成果将直接影响未来的医学发展及对人体的科学认识,并深刻的改变未来人们的生活和工作方式。数字人体的研究既能以人体系统整体为研究基点,也能以人体各子系统(局部)研究为基点,其中包括心电信号分析在内的人体各子系统的数字,该技术是数字人体的重要组成部分。人体心电图(electrocardiogram, ECG)的检测与分析在临床诊断中具有重要价值,是了解心脏的功能与状况、辅助诊断心血管疾病、评估各种治疗方法有效性的重要手段^[1]。但是心电信号的检测过程中由于实际工况并非理想状态,检测信号中往往含有很强的背景噪

声。这些背景噪声包括工频噪声、肌电噪声、呼吸波噪声、人体动作和电极极化引起等引起的各种随机噪声^[2]。心电信号存在的噪声降低了诊断的准确性,其中对信号影响最大的是医疗仪器设备电源 50Hz 工频干扰噪声,在许多情况下其幅度之大以至于可能影响到系统的正常工作和医生对疾病的准确诊断。因此,在 ECG 的检测分析的过程中,如何抑制 50Hz 工频干扰噪声是心电信号检测中必须要解决的问题,为此,人们在信号处理领域做了大量的工作,提出了许多处理方法。

利用数字信号处理技术可以对心音信号进行有效处理,滤去不相干的杂音及环境噪音,为医生临床诊断提供稳定、清晰的心电信号,基于数字信号处理技术的数字滤波器的性能远远优于传统的模拟处理方法,能获得较好的诊断效果。

收稿日期:2004-12-01

修回日期:2005-01-06

* 联系人:陈天华,副教授,研究方向:智能信息处理,计算机网络与通信, Tel.: 010-86860898, 010-68985285, E-mail: cth188@sina.com。

[World Science and Technology / Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica] 123

一、基本原理

由于心电信号中含有各种干扰噪声会影响ECG的有用信号,因此需要对这些噪声进行滤波。传统医疗设备消除心电信号噪声方法主要是采用模拟滤波方法通过硬件电路实现,想要获得清晰稳定的心电信号,滤波器的设计很关键,而对心电信号的噪声滤波需要用到低通滤波器和 50Hz 带阻滤波器,特别是 50Hz 带阻滤波器对最终信号的质量尤为重要。实现带阻滤波器的电路比较复杂,滤波器的特性对元器件的精度很敏感,尤其受外围阻容元件影响较大,设计中需要用到精密的阻容原件,还需要多级级联来获得较好的效果。因此采用模拟设计往往不太容易获得很好的特性。

相对于模拟滤波,数字滤波方法具有许多优点^[3]。如果心电信号去噪处理采用数字滤波器,不仅能提高仪器设备的性能,并且稳定性的问题可以迎刃而解,对于不同的使用环境只需要对软件进行修改就可以了。例如我国市电是 50Hz 而许多国家是 60Hz,数字滤波只需重新设置很少的参数就可以方便的适用这一特点,因而可以大大降低硬件设计复杂程度和成本、提高产品的通用性。

为有效滤除心电信号的工频干扰,可以采用一种 FIR 数字滤波器,即梳状滤波器,它是一种比较简单的 FIR 滤波器,不仅容易实现,而且具有很好的滤波效果。可以选择数字滤波器的单位抽样响应 $h(n)$ 全为 1,即:

$$h(n) = \begin{cases} 1 & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0 & n \leq 0, n \geq N \end{cases}$$

N 为梳状滤波器的节数;

因此, FIR 滤波器的系统函数为:

$$H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} z^{-n} = \frac{1-z^{-N}}{1-z^{-1}} \quad (1)$$

$$\text{上式可以表示为: } H(z) = H_1(z) H_2(z) \quad (2)$$

$$\text{其中: } H_1(z) = 1 - z^{-N}, \quad H_2(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}}$$

$H_1(z)$ 也是 FIR 子滤波器,是由 N 节延时单元组成的梳状滤波器,系统函数 $H_1(z)$ 的频率响应为:

$$H_1(e^{j\omega}) = 2je^{-j\frac{\omega N}{2}} \sin\left(\frac{\omega N}{2}\right)$$

$N=8$ 时相应的幅值响应曲线如图 1 所示。

由图 1 可知,子系统 $H_1(z)$ 的幅值响应由许多按一定频率间隔相同的通带和阻带组成,它只许一些特定频率范围的信号通过而阻止另一些特定频率信号通过^[4]。其特性曲线形状如梳子,故称为梳状滤波器。梳状滤波器一般由延时、加法器、减法器、带通滤波器组成。在电视技术中可以使用梳状滤波器解决干扰光点、干扰花纹问题,以提高图像质量;在医疗仪器中,梳状滤波器可以对特定信号进行滤波处理。除电视、医疗领域之外,梳状滤波器还在航空、航天、雷达、军事等诸多领域具有广泛的应用。

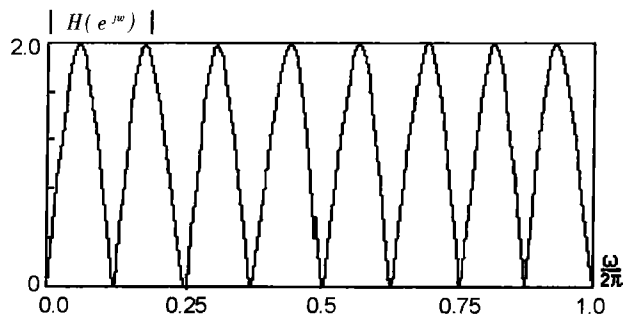


图 1 梳状滤波器幅频响应

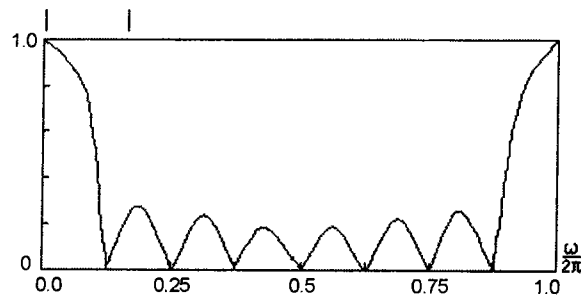


图 2 线性相位 FIR 滤波器的幅频响应特性

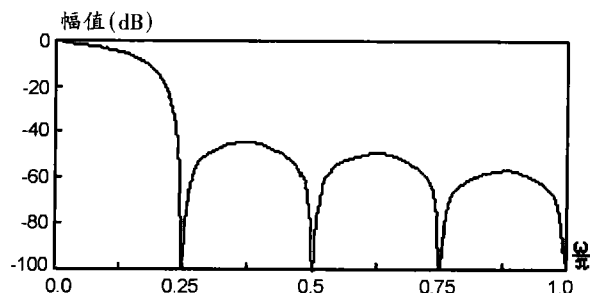


图 3 经修正以后的梳状滤波器幅频响应

二、数字滤波器设计

根据式(2),系统函数 $H(z)$ 由 FIR 梳状滤波器 $H_1(z)$ 和 $H_2(z)$ 表示的一阶 IIR“谐振子”级联组成,由此可以求得其频率响应为:

$$H(e^{j\omega}) = \frac{\sin \frac{\omega N}{2}}{\sin \frac{\omega}{2}} e^{-j\omega \frac{(N-1)}{2}} \quad (3)$$

式中 $\omega = 2\pi f/f_s$; f_s 为抽样频率

根据式(3)所表示的频率响应可知,梳状滤波器是一种线性相位 FIR 低通滤波器,相移常数 $\tau = (N-1)/2$,为了使滤波器的直流增益为1,可以考虑在系统函数 $H(z)$ 中乘以常数因子 $1/N$,于是归一化后的幅频响应为:

$$|H(e^{j\omega})| = \left| \frac{\sin \frac{\omega N}{2}}{N \sin \frac{\omega}{2}} \right| \quad (4)$$

图2为 $N=8$ 时系统的幅频响应曲线。

根据图2所示的幅频曲线,梳状滤波器在频率点 $\omega_k = 2\pi k/N$, $k=0, 1, 2, \dots, N-1$ 处的幅值响应为0,因而在 $\omega_k = 2\pi k/N$ 附近形成了多个阻带,对这些频率成分的信号具有很好的抑制作用。

由于梳状滤波器的系数相等且都为1,因而容易实现,然而,根据图2,其阻带衰减小,其幅频响应第一旁瓣峰值处的衰减在20dB以内,不能满足心电信号对干扰信号衰减的要求。为此,对式(1)所表示的梳状滤波器进行如下形式修正:

$$H(z) = \left[\frac{1-z^{-N}}{1-z^{-1}} \right]^k \quad (5)$$

$$\text{其频率响应为: } |H(e^{j\omega})| = \left| \frac{\sin \frac{\omega N}{2}}{N \sin \frac{\omega}{2}} \right|^k \quad (6)$$

式(5)中的 k 为梳状滤波器的阶次,对比(4)、(6)式可知,修正后的滤波器其衰减速度为修正前的 k 倍,从而使滤波器的性能更优越。图3为 $N=8$, $K=2$ 时梳状滤波器的幅频响应曲线。

三、滤波效果

取系统的采样频率为: $f_s = 400\text{Hz}$, 工频干扰 $f_g =$

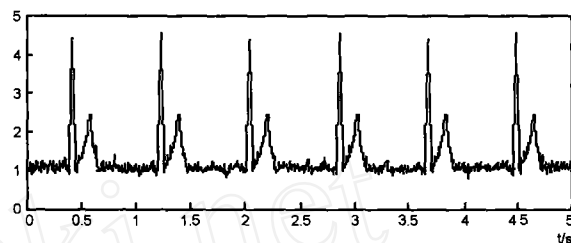


图4 未经滤波处理的心电信号

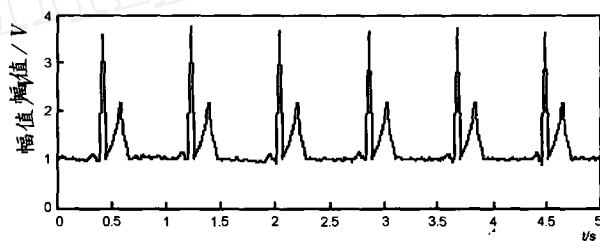


图5 FIR梳状滤波处理后的心电信号

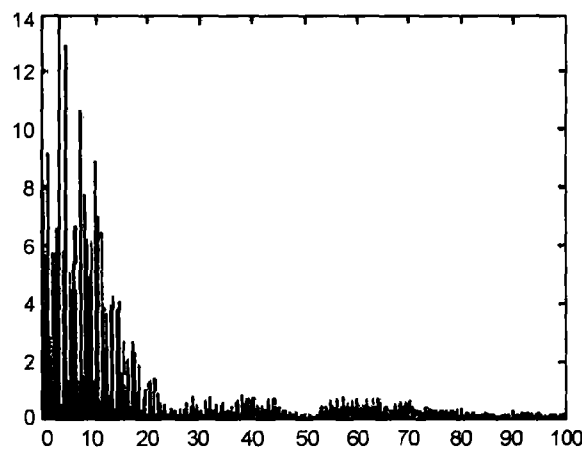


图6(1) 滤波前 ECG 频谱(f/Hz)

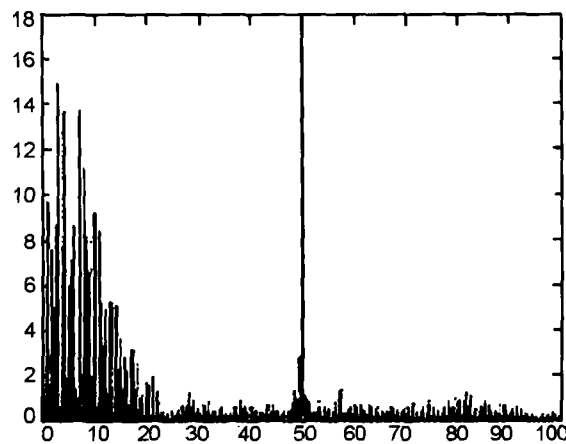


图6(2) 滤波后 ECG 频谱(f/Hz)

50Hz, 因此对应数字频率 $\omega = (50/400) \times 2\pi = \pi/4$, 所以, 梳状滤波器的节数 $N = 8$ 。这样梳状滤波器在频率点 $\omega_k = \pi k/2, k = 1, 2, \dots, 7$ 处的幅值为 0。

图 4 为未经滤波的心电信号, 存在较大的干扰噪声。

经过梳状滤波器滤波处理后的信号波形如图 5 所示。比较图 4 和图 5 的信号波形, 可以看出, 采用 FIR 梳状滤波器以后, 心电信号的干扰得到明显的改善, 数字滤波系统对消除 50Hz 工频干扰取得了很好的效果。

根据图 6 所表示的 ECG 频谱可以看出, ECG 信号在滤波前存在较强的 50Hz 工频干扰, 经过梳状滤波器进行数字滤波处理后, 其频谱已经没有 50Hz 工频成分, 工频干扰信号被有效地抑止。

四、结 论

信号的噪声滤波处理是心电信号分析的重要步骤, 数字滤波已经成为消除噪声的一种重要方法^[5]。梳状滤波器是一种简单的 FIR 滤波器, 设计简单、运算量小、具有线性相位特性, 在抑制工频干扰的同时能很好的保持原有信号, 适合于心电信号的各种分析和处理。理论分析和实验均证明该方法能彻底消除 50Hz 工频干扰信号, 而且由于采用了数字方法进行滤波处理, 相对于传统设备的模拟滤波方法, 不仅稳定性问题迎刃而解, 而且避免了仪器设备老化带来的性能漂移问题, 对于不同的使用环境只需对软件的参数进行少量修改即可, 从而大大降低了设备其它硬件的复杂度和成本, 提高了产品的通用性。

参考文献

- 1 刘毅, 张彩明, 邵庆余等. 基于小波变换的心音信号研究[J]. 计算机应用研究, 2004, 5: 52 - 53.
- 2 张立新, 丁北生等. 用 IIR 算法消除 ECG 基线漂移[J]. 天津大学学报, 1998, 1; 31(1): 120 - 124.
- 3 王建军, 陈日新等. 数字信号处理在医学上的应用——心电图的抗干扰测量[J]. 计算技术与自动化, 2000, 6. 19(2): 45 - 47.
- 4 程佩清. 数字信号处理教程[M]. 清华大学出版社(第二版). 2001.
- 5 高清维, 李海鹰, 庄镇泉等. 基于平稳小波变换的心电信号噪声消除方法[J]. 电子学报, 2003, 2; 31(2): 238 - 240.

(责任编辑: 毕思文 张志华)

126 [World Science and Technology / Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica]

英将开展治疗前列腺癌新技术实验

英国科学家将采用一项具有革命性的新技术治疗前列腺癌, 临床实验不久即将开始。

报道称, 医生们相信, 这项技术采用高强度集中超声波消除前列腺癌, 同常规手术或无线疗法一样有效, 且不会带来任何令人痛苦的副作用, 出现阳痿或失禁的风险要小得多。而且, 治疗费用低廉, 对其他部位影响小, 手术时局部麻醉 3 小时即可结束。

目前, 英国每年大约有 3 万人患前列腺癌。即将参与这项手术实验的 150 人将于明年 1 月接受治疗。

美科学家发现肠道细菌导致肥胖

美国科学家发现实验鼠肠道内的某些细菌控制着与脂肪吸收与存储有关的酶, 抑制这些细菌的作用可以治疗肥胖症。

美国华盛顿大学的科学家在新一期美国《国家科学院学报》上说, 他们新近发现, 有一类称为拟杆菌的细菌会阻碍一种酶的作用, 正常情况下这种酶能抑制脂肪的吸收与储存。拟杆菌过于活跃, 会导致身体吸收更多脂肪, 变得肥胖。

科学家使用在无菌环境里培养出的实验鼠, 使其感染其他实验鼠肠道里的某些细菌。大约 2 个月后, 这些实验鼠长胖了许多, 平均比仍生活在无菌环境里的同类胖 42%, 尽管它们吃的食物要少 29%, 新陈代谢速度慢 27%。

检测表明, 那些仍生活在无菌环境里的瘦鼠, 体内一种称为 FIAF 的酶含量更高。这种酶在肠道内层、肝脏和脂肪细胞里产生, 能够减少细胞里的脂肪。而受感染的实验鼠肠道里出现了活跃的拟杆菌, 它们使 FIAF 酶消失无踪, 导致脂肪堆积。

日专家尝试用纳米技术识别癌细胞

日本产业技术综合研究所四国中心的研究人员, 最近用被称为量子点的直径为数纳米的微粒, 成功地识别出了细胞培养物中的癌细胞, 并通过紫外线持续照射, 杀死了与量子点结合的癌细胞。

据《日本经济新闻》报道, 研究人员用硒化铬合成了量子点, 并用特殊试剂对量子点表面加以处理, 使其能够与生物分子结合。在实验中, 专家用这种量子点与植物凝血素合为一体, 而该凝血素能与某些癌细胞表面的特殊糖链结合。这样, 当量子点与培养物中的癌细胞结合后, 再用紫外线照射细胞培养物, 与癌细胞结合的量子点便会发出明显的荧光。如果此后用紫外线持续照射培养物中有荧光的地方, 那么约 10 分钟后与量子点结合的癌细胞便开始死亡。照射持续约 60 分钟后, 约 10% ~ 15% 的癌细胞会死亡。

据报道, 日本研究人员尚未透露借助上述量子点能识别何种癌细胞, 但他们介绍说, 他们采用的植物凝血素只和癌细胞结合, 因此, 用紫外线持续照射培养物中发荧光的量子点时, 正常的细胞不会受到影响。目前, 专家正在继续研究上述方法对于发现动物体内癌细胞和治疗癌症的意义。

(文 摘)

A Method for Elimination of Noise in ECG Signals by Digital Filter

Cheng Tianhua (School of Information Engineering, Beijing University of Technology and Business, Beijing 100073)

Cheng Qian (Hunan Jiuzhitang Pharmaceutical Corporation (Group), Changsha 410007)

To efficiently eliminate power frequency disturbance of ECG signals a method of FIR digital filter is introduced, which is simple in design and small in the amount of calculation and able to make linear phase shift and reduce disturbance to useful signals. Theoretical analysis and experiments prove that this method can be able to efficiently restrain 50Hz disturbance of power frequency to ECG signals even in case of serious disturbance.

Key Words: electrocardio – signal, digital medicine, digital filter, de – noise, digital signal processing

New Progress of Study in Engineering Area of Traditional Chinese Medicine

Shi Zhenwu and Zhao Sanqiang (The Society of Chinese Medicine Engineering, Beijing 100700)

This article Summarizes the recent studies in the engineering disciplines of traditional Chinese medicine; presents in detail new ideas about the digital system, the engineering of digital human body and the objective contents of pulse condition and tongue picture of the four methods of diagnosis (namely, the methods of observation, auscultation, interrogation and pulse feeling and palpation) in the study of the clinically diagnostic technology of traditional Chinese medicine; and generally describes the studies on the science of channels and collaterals of traditional Chinese medicine, the fine powder technology of Chinese drugs at cellular level and the expert diagnosis system, the study and sorting – out of ancient books and theses, the study of sub – health medicine and the engineering education and the fostering of talented personnel of all the disciplines in traditional Chinese medicine and materia medica. In addition, it also refers to the considerations drawn herefrom as well as the purpose and tasks of the disciplines of traditional Chinese medicine.

Key Words: engineering of traditional Chinese medicine, digital traditional Chinese medicine, engineering of digital human body in traditional Chinese medicine, objectivization of the four methods of diagnosis, expert system

欢迎订阅《世界科学技术—中医药现代化》杂志