

基于单片机和自相关计算的胎心监测仪的实现

朱韶红^{1,2} 郭风²
1 北京工业大学
2 北京物资学院信息学院 101149

摘要
监测胎心率是保障胎儿正常发育、实现优生优育的一个重要手段。本文介绍了以AT89C51单片机为核心部件,以自相关算法处理数据为技术关键的超声多普勒胎心监测仪的实现方案。该方案由两片单片机分别担任取样和自相关计算的任务,很好地解决了低档单片机运行速度不够的问题,这也是所述方案的一个重要特点。
关键词
胎心监测仪;单片机;自相关

1. 引言
胎心率是评判胎儿状况的重要信息,正常胎儿的心跳速率大约为每分钟120次~160次。当胎儿的心跳速率低于每分钟99次或大于每分钟180次,就属于心率异常。出现胎心率异常的原因大多数是由于胎儿缺血、缺氧造成的,严重的胎儿缺血、缺氧会导致出生缺陷,出生缺陷目前已成为影响我国人口质量的一个严重问题。因此要实现优生优育,提高我国的人口质量,应该密切关注胎心率的变化情况。
随着现代电子技术的不断发展,采用超声多普勒原理的胎心检查已经普及。在为孕妇进行一般常规检查时多采用多普勒胎心监测仪,用于检查胎心率是否正常。这种产品操作简单、使用方便,价格比较便宜,不但占据着一定的医疗市场,甚至还有进一步走入家庭的趋势,特别是在我国的一些县、乡、镇医院,多普勒胎心监测仪有着广泛的应

用。
目前一些厂家所生产的胎心监测仪多采用放大、整形、计数的方法对超声探头的所接收的信号进行处理,或在放大、整形的基础上进行数字滤波,将高频部分滤除,得到包含胎儿心跳信息的低频部分,通过低频信号频率,计算出胎心率。这种基于模拟和数字滤波的方法有某些优点,但是这些方法存在从含有噪声的信号中提取信息的能力不够强的问题,因而导致测量的精度不理想。本文提出了一种基于单片机和自相关计算的超声多普勒胎心监测仪设计方案,并将测得结果通过数码管显示,极大方便了用户的使用。

信号的自相关函数是指信号与其延时信号的相似性,它是一个时间函数,无论是随机信号还是周期性信号,其自相关函数不仅与波形有关,而且还与其频率有关。利用自相关函数可从噪声中恢复有用信号^[1]。
信号 $x(t)$ 的自相关函数定义为:
$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t-\tau)dt$$

即信号 $x(t)$ 与其延时变换式相乘,然后求乘积在 T 秒内积分的平均值。对于数字系统而言,平均是指把信号以 Δt 秒为周期进行采样,然后将 N 个采样点值相乘并求和,即:
$$R_x(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x(k\Delta t)x(k\Delta t - \tau)$$

根据自相关函数的性质,当 τ 的取值刚好等于信号的周期时,其自相关函数存在峰值。因此可根据信号的带宽取不同的 τ 值(即延时值)计算自相关函

数值,利用其自相关函数峰值的位置即可确定周期性信号的周期和频率。同样,对胎心信号进行采样、存储,根据测量范围取不同的延时值,计算自相关函数值。当自相关函数值最大时,由其 τ 值即可计算出胎心信号的频率。
2. 胎心监测仪的硬件设计
超声多普勒胎心监测仪主要由超声多普勒胎心探头、前置放大器、放大检波、脉冲形成、数字处理、LED显示等单元组成,整个系统以数字处理单元为核心。
超声多普勒胎心探头所接收到的胎心信号经过放大检波和脉冲形成电路,得到胎儿心跳的脉冲信号,对该信号进行计数即可计算出胎儿的心率,但由于各种噪声干扰,导致测量数据不准确。为此,将脉冲信号送入数字处理单元做自相关计算,计算出胎心率并送到显示部分显示。
数字处理单元由采样和显示控制单元、相关计算单元组成。
采样和显示控制单元的电路主要由一片ATMEL的AT89C1051单片机构成的,其主要功能是负责对脉冲形成电路所输出的胎心信号进行采样并将采样数据组织成字节数据,以中断方式送到相关计算单元的外部数据存储器存储。同时相关计算单元计算出结果后再以中断方式将计算结果送回该芯片,由该芯片负责将结果通过LED显示出来。
在采样单元中,关键是采样频率的确定,正常的胎心率范围是120~160拍/分,为此将胎心仪的测量范围定为60~210拍/分,为了达到1拍的分辨率,

也就是使胎心仪能够区分 209 拍和 210 拍, 计算的时间分辨率应为:

$$\Delta t = \frac{60}{209} - \frac{60}{210} = 0.2870814 - 0.2857142 = 0.0013672 \text{ (秒)}$$

对该数求倒数, 求得采样频率为:

$$\frac{1}{0.0013672} = 731.5 \text{ Hz}$$

为计算方便将取样频率定为 768Hz, 这样每秒钟可产生 96 个字节的数据, 相应的时间分辨率约为 0.0013021 秒, 能够满足测量精度的要求。

相关计算机单元主要是由一片 AT89C51 单片机、一片 8 位地址锁存器 74HC373 和一片 32KB 的 SRAM62256 组成, 其主要功能是接收来自采样单元的胎心信号数据, 将其存储在外部数据存储器中, 并对数据进行自相关计算以滤除各种干扰噪声, 达到精确测量胎心率的目的。

3. 胎心监测仪的软件设计

由于胎心监测仪使用两片单片机分别完成采样和相关计算的任务, 所以胎心监测仪的软件设计分为 2 个部分。所有程序采用 AT89C51 的汇编语言编制, 具有程序执行速度快, 占用存储空间少的特点, 其软件系统结构如图 1 所示。

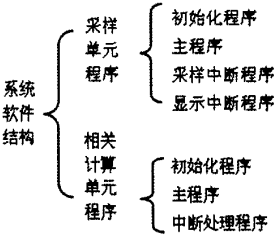


图 1 胎心监测仪的软件结构图

采样单元的关键程序是采样中断处理程序。由 AT89C1051 内部的定时器 0 按照 768Hz 的频率向 CPU 申请中断, CPU 响应中断获得定时器 0 的中断入口地址, 转去执行采样中断处理程序。该程序使用单片机内部数据存储器的 0FH 单元作“位计数器”, 其初始值为 01H, 用 0EH 单元存放采样到的字节数据, 用 00H 单元存放刚刚采样的位数据, 根据 P3.0 口的状态是 0 或 1, 将 00H 单元置“0”或置“1”, 再根据 00H 单元的内容及“位计数器”的值将 0EH 单元的相应位置“0”或置“1”, 每读入一个采样值将“位计数器”的值右移一位, 当计数器的值

再次等于 01H 时, 表示已采样到一个字节的数据, 通过 P3 口的 P3.7 向相关计算单元的 CPU 申请中断, 并将 0EH 单元的数据送到 P1 口。

相关计算单元的主程序的功能是计算自相关函数值, 根据自相关函数的峰值所对应的 K, 采用查表方法得到胎心信号的频率。由于要对不同延时值所对应的自相关函数值进行比较, 因此可将计算自相关函数值的公式简化为:

$$\hat{R}_x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)x(n-k) \quad (\text{公式 } 1)$$

$x(n)$ 为取样点值, 在计算自相关函数时可以采用直接估法或快速计算两种方法[1]。由于本文所述方案, 使用单片机作为计算工具, 做傅里叶变换有一定难度, 同时由于采样单元是对脉冲信号进行采样, $x(n)$ 和 $x(n-k)$ 的取值只能是 1 或 0, 两个信号 $x(n)$ 和 $x(n-k)$ 在做乘法运算时, 是将 $x(n)$ 和 $x(n-k)$ 在相同时刻 n 时的值对应相乘, 因此可用逻辑“与”运算代替乘法运算, 大大加快运算速度, 因此为了简化编程, 在设计胎心监测仪的自相关计算程序中采用了直接估计方法。

(1) 计算点数 N 的确定: 将胎心监测仪的测量范围定为 60~210 拍/分, (实际计算范围为 48~240 拍/分), 信号的最低频率为 1Hz (每分钟 60 拍), 所以计算周期至少为 1 秒, 为得到足够的计算精度, 每 2 秒钟计算一次自相关。因此在利用公式 1 计算自相关函数, 其中的 N, 即所取样点数为 $768 \times 2 = 1536$ 。

(2) k 的取值范围的确定: 利用公式 1 计算自相关函数时, 式中 k 的取值可根据公式 $\frac{60}{x1} \times 768$ 计算出来, 其中 768 为采样频率, x1 为胎心率, 根据实际测量范围 (48~240 拍/分) 的需要, x1 的取值分别为 48、49、50、...240, 共有 193 个值。由此可得 K 的取值为 960、940、40、...192, k 的取值有可能带小数。

(3) 自相关函数值的计算: 对每一个 k 值需要计算 $\sum x(n)x(n-k)$, 由于 N 的值为 1536, 而采样数据 $x(n)$ 是按字节组织的, 一共需要 192 个字节的数据。每次将存储在外部数据存储器某个单元中的 8 个样点值 $x(n)$ 与 $x(n-k)$ 的 8 个样点值做乘法, 需连续计算 192 个字节, $x(n)$ 的 8 个样点值一定是在同一字节中, 而 $x(n-k)$ 的 8 个样点值有可能不在同一

个字节中, 需要将相邻的两个字节中的几位做组合, 与 $x(n)$ 做乘法运算 (逻辑与运算), 将逻辑与运算后“1”的个数累加并存放在内部数据存储器中的一个字节单元中, 经过 192 (1536/8) 次循环可计算出针对某一个 k 值的 $\sum x(n)x(n-k)$, 每计算出一个结果将其保存在外部数据存储器。从 48 拍/分开始计算, 一直到 240 拍/分为止, 循环对每一个 k 值计算 $\sum x(n)x(n-k)$, 经过一轮 193 (240-48+1) 次的计算, 可得到所有 k 值的 $\sum x(n)x(n-k)$, 对计算结果进行比较, 得到 $\sum x(n)x(n-k)$ 的最大值及所对应的 k 值, 该 k 值就是自相关函数峰值的位置, 即胎儿心跳信号的周期。根据 k 的值通过查表的方法即可得到对应的胎心率。

4. 结论

本文介绍了一种基于单片机和自相关计算的胎心监测仪的设计方案。根据上述原理和框架设计的胎心监测仪具有高精度、抗干扰能力强的特点, 胎心率的测量范围在 60~210 次/分, 测量误差为 1 次/分。同时该胎心监测仪还具有使用方便、价格低廉、性能价格比高和特别适合中小医院和家庭监护的特点。

参考文献

[1]徐科军主编.信号分析与处理[M].清华大学出版社.2006.4
[2]高晋占编著.微弱信号检测[M].清华大学出版社.2004.11
[3]林家瑞主编.微机型医学仪器设计[M].华中科技大学出版社.2004.9
[4]刘海英.一种新型智能型胎儿监护系统的研究与设计[J].微计算机信息.2006 6 28-30

作者简介

朱韶红, 研究生, 副教授, 研究方向: 计算机应用。

基于单片机和自相关计算的胎心监测仪的实现

作者: [朱韶红](#), [郭风](#)

作者单位: [朱韶红\(北京工业大学;北京物资学院信息学院, 101149\)](#), [郭风\(北京物资学院信息学院, 101149\)](#)

刊名: [中国科技信息](#)

英文刊名: [CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY INFORMATION](#)

年, 卷(期): 2006, (23)

引用次数: 0次

参考文献(4条)

1. [徐科军](#) [信号分析与处理](#) 2006
2. [高晋占](#) [微弱信号检测](#) 2004
3. [林家瑞](#) [微机式医学仪器设计](#) 2004
4. [刘海英](#), [赵继印](#), [周怀得](#) [一种新型智能胎儿监护系统的研究与设计](#)[期刊论文]-[微计算机信息](#) 2006(17)

相似文献(3条)

1. 学位论文 [朱韶红](#) [基于单片机和自相关分析的胎心监测仪的研究与实现](#) 2007

胎儿心率是衡量胎儿健康状况的一项重要信息。正常胎儿的心率应该在每分钟120~160拍范围。当胎儿的心率过高或过低,表示胎儿可能有缺血或缺氧的情况,严重的胎儿缺血、缺氧会导致出生缺陷,它会造成胎儿的脑损伤甚至胎儿死亡。因此应密切关注胎儿心率的变化情况。监测胎儿心率是保障胎儿正常发育,实现优生优育的一个重要手段。目前许多厂家生产的超声多普勒胎心监测仪都是采用放大、整形、计数的方法将超声多普勒探头所采集到胎心信号进行处理,或是在放大、整形的基础上再进行数字滤波,但是这些方法都存在从含有噪声的信号中提取信息的能力不够强的问题,因而导致测量的精度不理想。

根据相关检测理论,确定性信号在不同时刻的取值一般具有较强的相关性;而对于干扰噪声,其随机性较强,不同时刻取值的相关性较差,因此利用自相关技术可以将胎心心跳信号和各种干扰信号区分开来。介绍了以89C51单片机为核心部件,以自相关算法处理数据为技术关键的胎心监测仪的实现方案。该方案由两片单片机分别担任取样和自相关计算的任务,很好地解决了低档单片机运行速度不够的问题,使用两片单片机完成通常需要专用数字信号处理芯片才能完成的取样及计算工作,使成本大大降低,这也是本文所述方案的一个重要特点。

2. 期刊论文 [朱韶](#), [肖创柏](#), [ZHU SHAOHONG](#), [XIAO CHUANGBAI](#) [基于单片机和自相关分析的胎心仪的实现](#) -[微计算机信息](#) 2008, 24(5)

胎儿心率是衡量胎儿健康状况的一项重要信息。利用胎心仪对胎儿心率进行监测是实现优生优育的一个重要手段。介绍了以AT89C51单片机为核心部件,以自相关算法处理数据为技术关键的超声多普勒胎心监测仪的实现方案。该方案由两片单片机分别担任取样和自相关计算的任务,很好地解决了低档单片机运行速度不够的问题,这也是所述方案的一个重要特点。

3. 期刊论文 [艾信友](#) [基于SPCE061A的胎心监测仪的实现](#) -[中国医疗器械信息](#) 2009, 15(8)

本文介绍了一种SPCE061A单片机实现胎心信号自相关处理的检测方法。有效地解决胎心监测过程中微弱信号检测的抗干扰问题。该监测仪具有高精度、抗干扰能力强等特点,并具有语音告知功能。临床试用表明,该胎心监测仪满足对临床的实际使用要求,具有很大的推广价值。

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zgkjxx200623088.aspx

下载时间: 2010年1月6日