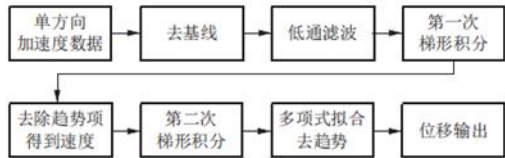
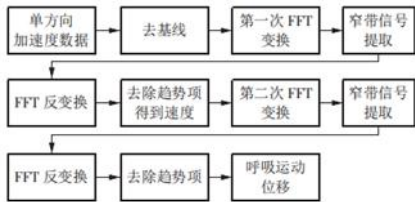
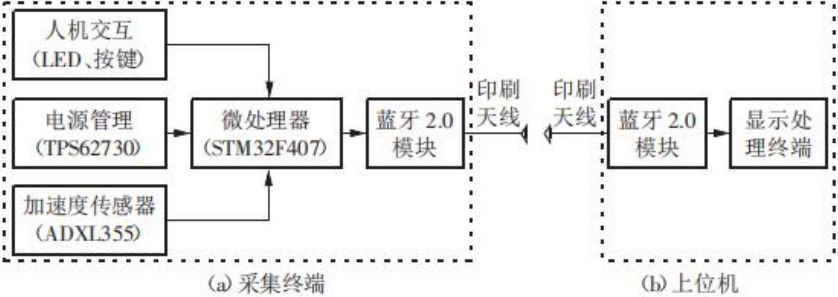


题目：基于 ADXL355 加速度传感器的人体呼吸位移测量
作者：曹 文，司高潮，姚永杰，王 伟，戴圣龙，李川涛*
关键词：加速度传感器：呼吸信号测量：加速度积分：位移计算：呼吸运动位移
<p>为什么研究这个问题：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1: 呼吸是人体的四大生命体征之一，人体呼吸信号的测量在临床监护、睡眠呼吸暂停综合征、肿瘤放射治疗时的呼吸门控制等医学方面，智能测谎、情绪状态监测等心理学方面，地震后幸存人员的发现、定位、救灾等领域都有重要意义。 2: 现有的呼吸测量方法只能测量人体呼吸运动的频率和相对大小，无法测量呼吸运动的位移。如果能以简便的方式准确可靠地测量到人体的呼吸位移，这对于呼吸暂停综合征的判断、呼吸门控制技术的发展都非常有益。
<p>研究内容：</p> <p>文章提出采用高精度加速度传感器，先测量人体呼吸运动的加速度，然后对其进行二次积分变换，从而实现呼吸运动的位移测量。</p>
<p>研究方法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 滤波加去除趋势项的窄带呼吸运动二次积分方法 <p>ADXL355 是三轴向加速度传感器，本文采用呼吸频带能量强度比的方法，选取信噪比（signal noise ratio, SNR）最高轴向的加速信号进行呼吸位移求解。滤波加去除趋势项的窄带呼吸运动二次积分方法流程如图3所示。为了消除重力分量在该方向的影响，首先对加速度数据进行去基线[17]；然后采用 FIR（finite impulse response）低通滤波器消除高频噪声，接着进行第一次梯形积分得到呼吸运动的速度；再采用最小二乘拟合得到呼吸运动速度的趋势，呼吸运动速度减去趋势项消除积分过程中的累计误差；最后进行第二次梯形积分和去趋势项就可以得到呼吸运动的位移。</p>  <pre> graph LR A[单方向加速度数据] --> B[去基线] B --> C[低通滤波] C --> D[第一次梯形积分] D --> E[去除趋势项得到速度] E --> F[第二次梯形积分] F --> G[多项式拟合去趋势] G --> H[位移输出] </pre> <p>图 3 滤波加去除趋势项的窄带呼吸运动二次积分方法流程图</p> 2. 基于 FFT 二次反变换的窄带呼吸运动位移计算方法 <p>上述方法虽然进行了去基线、滤波和 2 次去除趋势，但最终的位移信号仍存在漂移、精度下降和严重畸变的情况。在其他文献提出的 FFT 二次反变换二次积分方法的基础上，文章提出了适用于窄带呼吸运动位移积分的基于 FFT 二次反变换窄带呼吸运动的二次积分方法，首先对单向加速度数据进行去基线，消除重力影响；然后进行第一次 FFT 变换，接着进行窄带信号提取。最后接着对处理后的信号做逆傅里叶变换。由于噪声的积分误差，对得到的速度信号中有基线漂移，采用最小二乘曲线拟合消除漂移，得到呼吸运动的速度。再进行上述流程可得到位移信号。该方法流程如图4所示。</p>  <pre> graph LR A[单方向加速度数据] --> B[去基线] B --> C[第一次 FFT 变换] C --> D[窄带信号提取] D --> E[FFT 反变换] E --> F[去除趋势项得到速度] F --> G[第二次 FFT 变换] G --> H[窄带信号提取] H --> I[FFT 反变换] I --> J[去除趋势项] J --> K[呼吸运动位移] </pre> <p>图 4 基于 FFT 二次反变换的窄带呼吸运动位移计算方法流程图</p>

<p>硬件设计：</p> <p>本研究设计了无线加速度信号采集系统，该系统可放置于人体的胸腹部，体积小、质量轻，对人体正常呼吸、睡眠无影响。处理器采用 stm32F4 系列芯片，加速度传感器采用高精度的 ADXL355 三轴传感器，将采集的数据通过蓝牙无线模块传送给上位机显示。</p>  <p>(a) 采集终端</p> <p>(b) 上位机</p>
<p>实验设计：</p> <p>实验设计分为仿真实验与实际对人测试。</p> <p>1. 仿真实验</p> <p>为了验证上述方法的可行性，本文使用 MATLAB 软件进行了仿真。为了逼近真实加速度传感器采集到的加速度信号，给呼吸运动的加速度信号增加随机干扰。实验分别采用研究方法1和研究方法2，分别选取 SNR 为3和-3dB 的实验数据进行说明，每次实验40s。实验将原始信号与通过二次积分求得的恢复信号作为对比，检验研究方法的有效性。</p> <p>2. 实际对人实验</p> <p>为了使实验不失一般性，该实验招募了3名实验对象。本实验将传感器系统粘贴于人体腹部，采集到的数据通过蓝牙无线传输到计算机，采样频率100Hz，每次实验40s。本研究主要进行了被测对象平躺和侧躺的呼吸运动采集实验，实验结果表明，3名对象平躺和侧躺 ADXL355 都能够测量到人体高信噪比的呼吸运动情况。</p>
<p>文章结论：</p> <p>本文采用高精度加速度传感器实现了微弱呼吸运动的波形采集和位移计算。在原有加速度到位移计算方法的基础上，提出了2 种具有抗干扰能力，并适用于呼吸运动位移的计算方法，实验表明 2 种方法的准确度、鲁棒性都比较好。该系统和方法的可行性非常强，具有广阔的临床应用前景。</p>
<p>文章的创新点：</p> <p>提出了适用于窄带呼吸运动位移积分的基于 FFT 二次反变换窄带呼吸运动的二次积分方法。</p>
<p>研究的局限性：</p> <p>本文也存在一些不足，实测实验中都采用基于 FFT 二次反变换窄带信号提取的二次积分方法，因为采用滤波加去除趋势项的二次积分方法的位移计算结果非线性漂移较严重，后续会根据实际应用需求具体解决该问题。基于呼吸门控技术对实时性要求比较高的特点，本研究希望后续能够实现呼吸位移的实时计算。ADXL355 加速度传感器的精度非常高，实验过程中发现当加速度传感器放置于距离心脏比较近的位置时，可以看出明显的心跳信号，本研究希望下一步能够实现呼吸、心跳运动的同步测量和实时位移计算。</p>
<p>我的收获：</p> <p>了解了加速度传感器测量呼吸运动位移的原理与方法。对实验的设计有了一定了解。</p>