

基于动态图像差分的多维脉搏信号获取

张爱华¹, 余冬¹, 朱亮², 靳伍银³

(1. 兰州理工大学电气与信息工程学院, 兰州 730050; 2. 兰州理工大学材料科学与工程学院, 兰州 730050;
3. 兰州理工大学机电工程学院, 兰州 730050)

摘要: 传统的脉搏传感器无法实现真正的多点脉搏信号检测。该文应用新型脉搏图像化检测装置采集脉搏动态图像, 提出利用图像差分的方法获取多点脉搏信号。对不同差分方法实验结果的进一步比较分析表明, 利用选择参考帧的差分法能够获得稳定的脉搏信号。讨论了参考帧的选择, 实现了多维脉搏信号的获取。为脉搏信号检测与脉诊客观化研究提供了新的思路和方法。

关键词: 脉搏信号; 脉搏图像化检测装置; 动态图像; 图像差分法

Acquisition of Multi-dimension Pulse Waves Based on Dynamic Image Difference Method

ZHANG Ai-hua¹, YU Dong¹, ZHU Liang², JIN Wu-yin³

(1. School of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050;
2. School of Material Science and Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050;
3. School of Mechanical and Electronical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050)

【Abstract】 Traditional pulse sensors can not completely obtain multi-point pulse waves. By adopting the pulse image detecting instrument, the dynamic image of pulse is collected and the method of acquiring the multi-point pulse waves from image difference value is presented. Analysis and comparison of the experimental results obtained from the different ways indicate that the image difference method according to the referential image can acquire reliable pulse waves. How to choose the referential image is discussed, and acquiring multi-dimensional pulse waves from the radial artery is realized. It provides new idea and approach to detecting pulse wave and objective study on the pulse diagnosis.

【Key words】 pulse waves; pulse image detecting instrument; dynamic image; image difference method

脉搏是常见的生理现象, 是心脏和血管状态等重要生理信息的外在反映, 能给出许多有价值的诊断信息。长期以来, 中医诊断的主观性成为脉诊应用、发展中的制约因素^[1]。为实现脉诊的客观化, 国内外许多研究者提出了各种脉搏信号检测方法。目前使用的传感器多为单点或复合多点压力传感器^[2-4], 无法细致反映切脉皮肤表面空间各点的变化。

近年来, 随着计算机和图像处理技术的发展, 图像处理的应用领域不断扩大。而数字图像是包含丰富信息的信号, 动态图像比单一图像具有更丰富的信息。通过对多帧时序图像的分析, 可以认识和分析动态过程^[5]。因此, 可以通过脉搏动态图像获取脉搏信息。

在应用脉搏图像化检测装置采集脉搏搏动的动态图像基础上, 本文提出一种利用动态图像差分获取脉搏信号的方法, 可以检测不同切脉压力下脉搏搏动时在切脉部位皮肤表面空间任意多点的形象与动态, 从而获得多点脉搏信号。

1 脉搏图像化检测装置与动态图像采集

1.1 脉搏图像化检测装置

脉搏图像化检测装置如图1所示, 主要由软性探测触头、CCD图像采集、水平支架与立柱、切脉压力调节机构、手动气泵、压力检测与指示、气路、光路、计算机等部分组成。图中, 1为压力调节螺母; 2为压力弹簧; 3为水平支架; 4为立柱; 5为底座; 6为手动气泵; 7为气压缓冲腔; 8为压力检测与指示; 9为手腕垫衬; 10为手腕放置区域; 11为贴

紧在一起的乳胶薄膜与柔性织物; 12为软性探测触头; 13为压力密封腔; 14为毛玻璃片; 15为气路; 16为照明光源; 17为透光玻璃镜片; 18为CCD图像采集; 19为计算机。

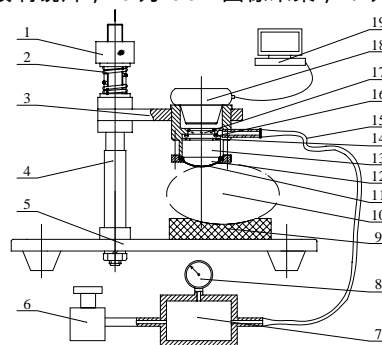


图1 脉搏图像化检测装置

软性探测触头内侧由理化性较好的乳胶薄膜制成, 乳胶薄膜内侧印制有具有均匀纹理的网格, 探测触头接触面为直径10mm的圆。密封腔压缩空气的压力模拟指内压力, 密封

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30670529); 甘肃省教育厅科研基金资助项目(0503-09)

作者简介: 张爱华(1964-), 女, 博士、教授, 主研方向: 检测技术, 智能信息处理; 余冬, 硕士研究生; 朱亮, 教授、博士; 靳伍银, 副研究员、博士

收稿日期: 2006-11-27 **E-mail:** zhangah@lut.cn

腔内压力可以连续调节并通过气压表进行显示。切脉压力调节螺母调节压力弹簧弹力，控制固定探测触头的水平支架的位置，使探测触头与手臂接触面间的作用力达到一平衡状态，实现不同切脉压力。CCD 摄像头调至有效焦距后，垂直放置在探测触头上方。采集乳胶薄膜随脉搏搏动的动态图像信息。

CCD 摄像头的技术规格为：分辨率：640×480(VGA)；采样频率：30 帧/s；最大光圈：F2.0；成像范围：1cm~∞；信噪比 > 42db。

1.2 动态图像的采集

采集脉搏动态图像时，要求被试者处于平静放松状态。手腕放在手腕垫衬上面的手腕放置区域，调节软性探测触头的位置，使其正对于桡动脉处，与皮肤紧密接触。摄像头拍摄图像的水平位置与桡动脉血流流向一致，这样图像的垂直方向正对应着桡动脉的截面位置，以便于多维脉象信息的分析。通过调节压力调节螺母施加不同的取脉压力，脉搏搏动最明显时的取脉压力为最佳取脉压力。在该取脉压力下，采集脉搏动态图像。

被试者为在校学生，年龄在 21 岁~27 岁之间。图 2 是所采集的某组数据中脉搏搏动时连续的 2 帧脉搏图像。

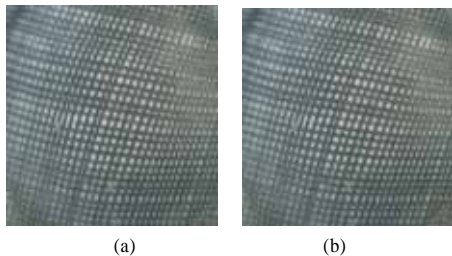


图 2 连续的 2 帧脉搏图像

2 图像差分分析方法

2.1 图像差分

图像运动往往表现为图像强度的变化。运动估计算法中的一个基本依据是图像强度的变化，可以用图像序列中相邻时间的一对图像的差值来表示强度的相对变化，图像差运算定义为

$$f_d(x, y, t_1, t_2) = f(x, y, t_2) - f(x, y, t_1) \quad (1)$$

其中， f_d 是差分图像。式(1)运算只涉及对应像素强度的相减运算，因此，这种算法是相当简单的，并且适合于并行实现。

2.2 累积图像差分方法

上面的图像差分运算中应用了时变图像序列的 2 幅连续时间样本(或帧)。重复使用差分方法，计算出的输出图像表示了感兴趣的时间间隔上的累计运动历程^[6]。

累积图像差分可以考虑 2 种不同的方法：(1)将连续 2 帧图像的差分与前次累积差分进行叠加；(2)将连续 2 帧图像的差分与前次累积差分进行相减。以下分别将这 2 种方法简称为方法 A 和方法 B。通过脉搏图像化检测装置采集动态图像的主要目的是获取脉搏波形信号，因此，需要分析图像的差分变化。图像累积差分量的计算公式为

$$d_1 = \iint_{\zeta} (f(x, y, t_2) - f(x, y, t_1)) dx dy \quad (2)$$

$$d_k = \iint_{\zeta} (f(x, y, t_{k+1}) - f(x, y, t_k)) dx dy \pm d_{k-1} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

其中， ζ 表示所选取的图像区域； $f(x, y, t_k)$ 是第 k 帧时间序列图像； n 为所分析的图像序列数。

2.3 选择参考帧的图像差分方法

这种方法是在动态图像序列中选取某一帧图像作为参考

图像或参考帧，将动态图像序列中的每一帧图像与其进行差运算，可以得到时间序列中每一帧图像相对于参考帧图像的图像强度变化量。这个变化量在具有周期性的运动中能够反映周期性的运动规律。

对于所要求的差分量的计算公式为

$$d_k = \iint_{\zeta} |f(x, y, t_k) - f(x, y, t_r)| dx dy \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

其中， ζ 表示所选取的图像区域， $f(x, y, t_r)$ 是参考帧图像， $f(x, y, t_k)$ 是第 k 帧时间序列图像， n 为所分析的图像序列数。该方法也是判断图像相似程度的一种差值测度，称为失配度^[7]。

脉搏搏动具有明显的周期性，而参考图像的选择是非常重要的。如参考图像选择不当，虽能显示周期的波形，却无法得到传统的压力脉搏波形。因此，需要选取脉搏动态图像序列中脉搏搏动最高点或最低点时的图像作为参考帧图像。

2.4 参考帧图像的确定

在确定参考帧图像时要利用摄像机聚焦和散焦的特点。脉搏动态图像在变化过程中由于聚焦和散焦的原因，图像的清晰度会发生微小变化^[6]。对于脉搏搏动，这种变化是周期性的，焦距评价函数可以衡量图像的清晰度变化。

灰度直方图据是形式简单但比较有效的评价方法^[8]。该方法基于如下事实，清晰的图像反映在灰度直方图为剧烈的变化，而模糊的图像其灰度直方图的变化是渐缓的。按照这种方法求取判据值的公式如下

$$\rho = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_M \sum_N (I(x, y) - u)^2} \quad (5)$$

其中， u 为灰度分布的平均值；最大的 ρ 值对应于清晰的图像。对脉搏图像前 2 个周期进行分析，通过判据值可以快速地确定脉搏运动最高点及最低点的参考图像。由于脉搏最高点更容易确定，并且不容易误判，因此将最高点位置处图像作为参考图像。

3 利用差分方法的信号获取及分析

3.1 利用差分方法的脉搏动态图像分析

脉搏搏动区域并非均匀地分布在整個脉搏图像上，而是取决于在采集脉搏图像时脉搏所在 CCD 摄像头下的观测位置。利用差分法可以对脉搏图像上任意一个小区域进行分析。选取的区域通常不小于 30×30 像素，如果区域选取得过小得到的信号有时会出现不稳定。

利用累积差分 and 选择参考帧的差分方法计算动态图像区域的差分量，可以得到反映脉搏运动的波形。对图像任一区域进行分析得到的波形如图 3~图 5 所示。

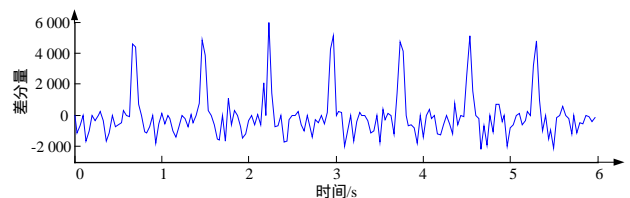


图 3 累积差分法 A 得到的波形

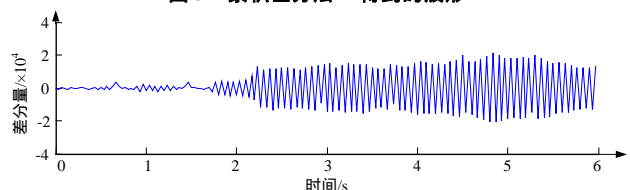


图 4 累积差分法 B 得到的波形

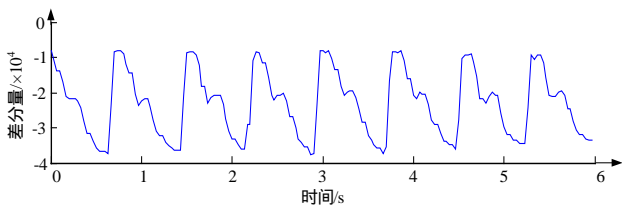


图5 选择参考帧的差分方法得到的波形

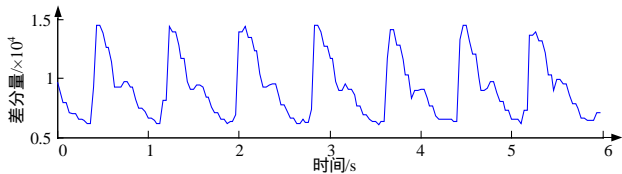
3个信号是采用不同的差分方法得到的波形。采用累积差分法获得的波形是杂乱的波形，而采用选择参考帧的差分方法得到的波形则有效地反映了脉搏搏动的变化。

对采用累积差分法获得的时域波形的进一步分析却表明二者都包含了一定的脉搏信息。采用小波方法对由累积差分法得到的脉搏信号进行分析，在时频域图中可以反映脉搏的周期变化。选择不同的小波尺度分解得到的信号波形也都体现出脉搏的周期变化，在尺度因子与脉搏频率的倒数较为接近的时候，甚至可以得到清晰的脉搏波形。

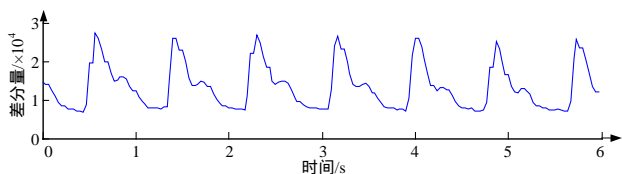
尽管累积差分法得到的信号能反映脉搏运动信息，但提取比较麻烦，结果还不够理想。而通过选择参考帧的差分法可以较好地获取脉搏信号，因此，采用选择参考帧的差分法对脉搏动态图像进行分析。

3.2 选择参考帧的差分法得到的实验数据

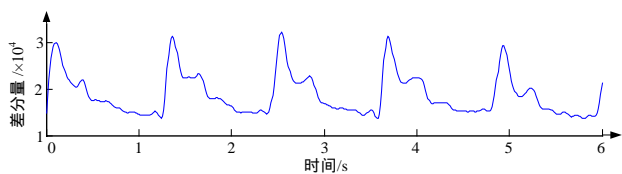
应用选择参考帧的差分法对不同人在不同状态下的脉搏信号进行提取。图6所示波形信号是不同的健康人正常状态下和疲劳状态下测得的脉搏信号。



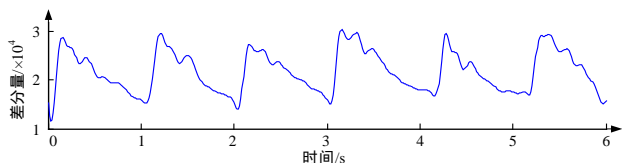
(a)健康人甲在正常状态下的脉搏信号



(b)健康人乙在正常状态下的脉搏信号



(c)健康人丙在疲劳状态下的脉搏信号



(d)健康人丁在疲劳状态下的脉搏信号

图6 不同人不同状态下的脉搏信号

4 多维脉搏信号的获取

对脉搏动态图像的分析可以选取不同的区域。得到的时域波形从表面上看很接近或者没有什么差别，但是脉搏在不同的区域搏动的强度是不同的，这能够反映在通过选择参考帧差分法获取的脉搏波形的幅值上。

在采集脉搏图像时，CCD摄像头拍摄图像的水平位置与桡动脉血液流向一致。选择一个固定大小的图像窗口，对桡动脉的截面位置连续的区域进行分析。取40×40大小的图像窗口，得到13组脉搏信号，依次为d1~d13，如图7所示。可以看出，不同的区域，信号的幅值是不同的。中心区域的信号最强，越靠近两边，脉搏信号逐渐减弱，得到空间多维脉搏信号。这样，就能够获得一般脉搏传感器无法获得的多点脉搏信号以及脉宽等脉象信息。

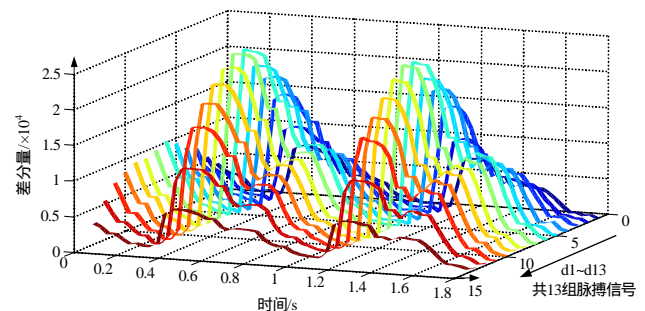


图7 多维脉搏信号

5 结束语

图像差分的方法是一种简单而有效的获取运动信息的方法。对图像差分方法的理论分析与实验结果表明，在应用脉搏图像化检测装置的基础上，利用选择参考帧图像差分方法分析脉搏动态序列图像可以方便地检测出脉搏信号，得到脉搏波形。对不同图像区域的分析，可以得到切脉皮肤表面空间多点的脉搏信号，并能反映脉宽等信息。这些都是其他的脉搏传感器所无法实现的。基于此，利用脉搏图像化检测装置有望获取全面的脉搏信息。

参考文献

- 1 李景唐. 中医脉象的客观描述和检测[J]. 中国医疗器械杂志, 2001, 25(6): 318-323.
- 2 Yoon Y, Lee M, Soh K. Pulse Type Classification by Varying Contact Pressure[J]. IEEE Engineering in Medicine and Biology, 2000, 6(9): 106-110.
- 3 Sorvoja H, Kokko V M, Myllylä R, et al. Use of EMFi as a Blood Pressure Pulse Transducer[J]. IEEE Transactions on Instrument and Measurement, 2005, 54(6): 2505-2512.
- 4 金观昌, 于森, 鲍乃铿. PVDF多点脉搏波计算机辅助测试系统研究[J]. 清华大学学报, 1999, 39(8): 117-120.
- 5 李智勇, 沈振康. 动态图像分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- 6 张广军. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- 7 陈书海, 傅录祥. 实用图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- 8 张淑芳. 基于稀疏光流场的序列图像分析研究[D]. 天津: 天津大学, 2003: 32-37.