

# 脉搏动态图像的光流运动分析

张爱华<sup>1</sup>, 李向群<sup>2</sup>

(1. 兰州理工大学 电气与信息工程学院 甘肃 兰州 730050;

2. 兰州理工大学 计算机与通信学院 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 采用一种自主研发的图像化脉搏传感器, 在单个 CCD 摄像头固定的情况下采集脉搏动态图像. 以 Lucas-Kanade 算法为基础建立运动估计方程, 并使用图像金字塔结构快速有效地搜索反映脉搏运动的光流场, 获取多维脉搏信号. 实验结果表明了该方法的有效性, 为进一步实现脉搏触觉信息分析奠定了基础.

**关键词:** 脉搏传感器; 动态图像; 光流法

**中图分类号:** TP391.41

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-0366(2007)04-0074-04

## An Analysis of Optical Flow Motion in Pulse Dynamic Images

ZHANG Ai-hua<sup>1</sup>, LI Xiang-qun<sup>2</sup>

(1. School of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Science and Technology, Lanzhou, 730050, China;

2. School of Computer and Communication, Lanzhou University of Science and Technology, Lanzhou, 730050, China)

**Abstract:** An image sensor developed independently is used to collect movement images of the pulse. Under the situation of a single fixed CCD camera, the motion estimation equation is built based on Lucas-Kanade algorithm. Together with the use of the structure of image pyramids, the optical flow can be searched to reflect the pulse motion quickly and efficiently. The experimental results show the validity of this method which has laid the groundwork for pulse sensor information analysis.

**Key words:** pulse sensor; dynamic image; optical flow

脉诊是我国传统医学中最具特色的一项诊断方法. 当前随着传统医学的振兴, 脉诊作为无创检测的手段和方法, 逐渐引起人们的关注. 为了提高其客观性和科学性, 众多工程科技人员运用现代科学技术研制出多种不同形式的换能器, 将脉搏搏动时的变化记录下来, 测绘出一些常见的脉图. 通过对脉图的广泛测试和深入研究, 人们已认识到脉图是一项灵敏的生理信息, 被逐渐引入生理检测的指标而运用于临床<sup>[1]</sup>.

光流表达了图像的变化<sup>[2]</sup>, 它在机器视觉运动研究中有非常重要的作用. 我们采用一种基于图像化的脉搏采集方法, 使用自主研发的新型脉搏传感器采集脉搏动态图像<sup>[3]</sup>. 基于光流场研究如何从序列脉搏动态图像中提取脉搏波形及其运动趋势<sup>[4]</sup>.

脉搏传感器触头模拟人手指的触觉, 在不同切脉压力下, 用单个 CCD 摄像头直接采集脉搏跳动图像. 再以 Lucas-Kanade 光流算法为基础<sup>[5]</sup>, 得到脉搏运动光流场来分析人体脉搏信息.

## 1 脉搏图像采集及分析

我们所使用的脉搏采集装置从仿生学角度出发, 设计软性探测触头, 模仿人的表皮和真皮, 参考搏动力和取脉压力的最佳采集原理<sup>[1]</sup>. 其中密封腔内的压力可调节并用气压表显示. 高分辨率摄像头在灯光下采集三维的脉搏跳动图像, 通过高速 USB 接口送入计算机, 利用计算机技术对脉搏图像的每一帧进行数据分析处理. 其中目标图像(薄膜)采取黑白相间网格化, 当脉搏跳动时, 血管壁弹起并传输

作用于薄膜上,薄膜网格在脉搏的搏动下进行三维空间形变,其变形量能够反映出脉象的多维波形特征.脉搏采集装置如图 1 所示.

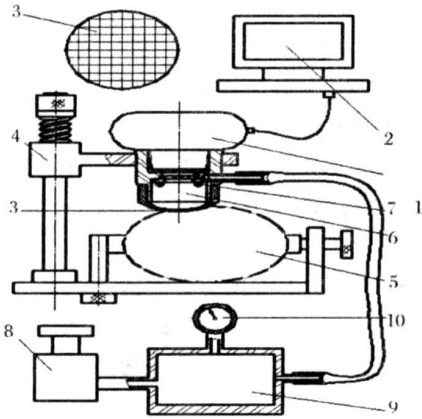


图 1 脉搏采集装置结构

- 1. 高速摄像头; 2. 计算机; 3. 网格化薄膜;
- 4. 加压调节机构; 5. 手腕; 6. 密封腔; 7. 照明装置;
- 8. 充气装置; 9. 储气袋; 10. 气压表

采集时,将受试者手腕水平放置在固定支架上,调节固定装置使 CCD 镜头垂直对准手腕的桡动脉处,对密封腔充气加压,将鼓出的薄膜垂直放在桡动脉处,上下滑动加压调节机构,使触头对桡动脉施加一定的切脉压力.图像采集过程中,调节切脉压力的大小,使图像效果达到最佳.通过 CCD 摄像头进行实时采集,具体参数:(1)采集图像速度:30fps.(2)动态范围:优于 72dB.存储为 AVI 视频流形式.再逐帧提取为(640×480)像素的连续序列图像.这里共选取连续的 15 帧网格图用于以后的分析计算.(见图 2.)

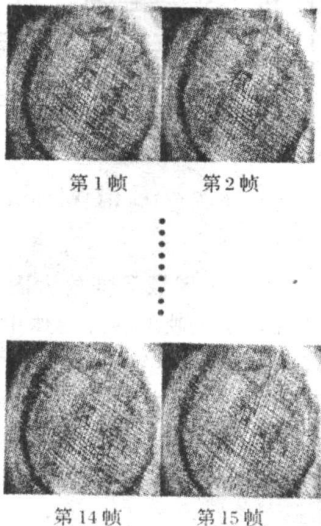


图 2 连续帧脉搏跳动

## 2 光流运动估计

光流场的计算最初是由 Horn 和 Schunck 提出<sup>[6,8]</sup>.设图像平面上有一点(x, y)在 t 时刻的灰度值为 f(x, y, t),在时刻(t+dt)时,这一点运动到(x+dx, y+dy, t+dt),对应的灰度值为

$$f(x+dx, y+dy, t+dt).$$

假设当 dt 很小时,运动物体上某点的亮度不变,它在图像平面上的投影点的灰度值也不变,则有

$$f(x, y, t) = f(x+dx, y+dy, t+dt), \quad (1)$$

将式(1)右边展开为泰勒级数,得

$$f(x, y, t) = f(x, y, t) + \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \frac{\partial f}{\partial t} dt + \epsilon, \quad (2)$$

其中 ε 包含了 dx, dy 和 dt 的二阶和高阶项.从式(2)两边减去 f(x, y, t)且除以 dt,有

$$\frac{\partial f}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial f}{\partial t} + \sigma(dt) = 0,$$

其中 σ(dt) 是 dt 的高阶项.

当 dt→0 时,上式变为

$$\frac{\partial f}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial f}{\partial t} = 0, \quad (3)$$

记

$$u = \frac{dx}{dt}, v = \frac{dy}{dt}, f_x = \frac{\partial f}{\partial x}, f_y = \frac{\partial f}{\partial y}, f_t = \frac{\partial f}{\partial t}$$

则得到运动估计方程:

$$f_x u + f_y v + f_t = 0, \quad (4)$$

或

$$(f_x, f_y)(u, v) = -f_t, \quad (5)$$

其中 (f<sub>x</sub>, f<sub>y</sub>) 为图像点灰度的空间梯度;f<sub>t</sub> 为灰度随时间的变化率;(u, v) 称为光流.

不妨记 U = (u, v)<sup>T</sup>,称 U 为光流场,显然其有 2 个变量,而基本公式只有一个,因此只能求出光流场沿梯度方向的值:  $\left[ -\frac{f_t}{(f_x^2 + f_y^2)^{1/2}} \right]$ ,而不能同时求出 u 和 v.为了解决这一不适定问题,必须引入附加的约束条件<sup>[5]</sup>.Lucas 和 Kanade 假设<sup>[8]</sup>在一个小空间邻域 Ω 上运动矢量保持恒定,然后使用加权最小二乘法估计光流.再一个很小的空间邻域 Ω 上,光流估计误差定义为

$$\sum_{(x,y) \in \Omega} W^2(x) (f_x u + f_y v + f_t)^2, \quad (6)$$

其中 W<sup>2</sup>(x) 表示窗口权重函数,它使邻域中心区域对约束产生的影响比外围区域更大,由式(6)可得

$$U = (A^T W^2 A)^{-1} A^T W^2 b, \quad (7)$$

其中在时刻 t 的 n 个点 x<sub>i</sub> ∈ Ω 可记

$$\nabla f(x) = (f_x, f_y)^T,$$

可知

$$A = [\nabla f(x_1), \Delta, \nabla f(x_n)]^T,$$

$$W = \text{diag}[W(x_1), \Delta, W(x_n)],$$

$$b = -[f_x(x_1), \Delta, f_x(x_n)]^T,$$

由于运动估计方程采用了泰勒级数,因此得到的向量存在一定的误差,通过迭代算法,即在前一次求得运动向量的基础上重新采样  $f(x, y)$ , 求得更精确的  $u$  和  $v$ , 并累加已求得运动值. Lucas-Kanade 算法在相邻图像位移比较小(几个像素)时,可得到对该特征运动的较好估计.

### 3 算法实现

以下的算法是在 Matlab 环境下实现. 在 Matlab 环境下许多矩阵的运算操作都是其已具备的, 这样在很大程度上方便算法实现并节省运算时间. 脉搏图像的中心区域运动相对剧烈, 出现图像位移可达到十几或更多像素, 此时引入图像金字塔结构并利用这一结构对图像进行逐层迭代求解<sup>[9,10]</sup>. 设第  $k$  层的像素由第  $k-1$  层的 4 个相邻像素得到, 即

$$f_k(i, j) = g(f_{k-1}(2i, 2j), f_{k-1}(2i+1, 2j), f_{k-1}(2i, 2j+1), f_{k-1}(2i+1, 2j+1)),$$

其中  $i, j = 0, \Delta, 2^{k-1}$ , 式中  $g(\cdot)$  为映射函数, 算法实现如下:

①建立金字塔结构. 图像经过高斯滤波后, 任选其行(列)来构成金字塔第 1 层, 按所选择的行(列)方向来进行迭代搜索;

②用迭代方法计算最顶层计算 Lucas-Kanade 光流, 设其光流初始值为;

③在第  $i$  层, 将从第  $i-1$  层得到的光流  $(u_{i-1}, v_{i-1})$  进行双线性插值, 从而得到  $u_i, v_i$  的二次分解矩阵;

④将上一层中得到的光流值的 2 倍再作为初始值计算下一层的光流, 即将  $u_i, v_i$  都乘以 2 倍;

⑤再重复步骤④, 直至最底层得到最后的光流场.

### 4 结果分析

试验选用的 CCD 摄像头采集频率为: 30fps. 考虑到选取的连续 15 帧脉搏跳动图仅耗时 0.5 s, 连续两帧之间时间间隔很小, 为更好的实现脉搏运动估计, 以第 1 帧为基准图实现算法, 共得到 15 帧相对于第 1 帧的运动光流场, 如图 3 所示.

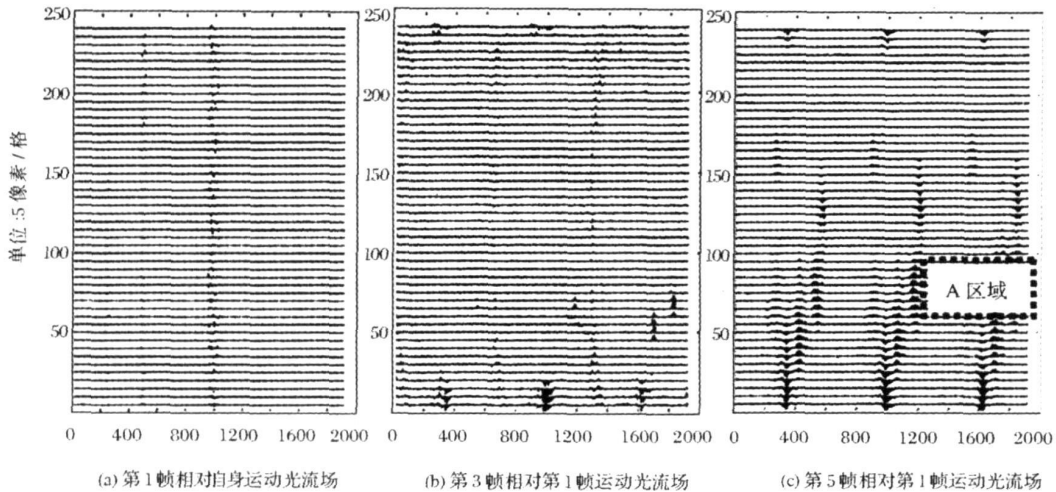


图 3 各帧运动光流场

图 3(a)所示第 1 帧相对自身各像素在脉搏力的作用下几乎没有任何变化, 从第 3 帧开始发生细微变化, 到第 5 帧变化显著增强, 到 11 帧又逐渐减弱, 完成一个搏动周期. 图 3(c)中波形可大致分为 3 个区域, 在脉搏作用下这 3 个区域的像素先后发生变化, 这也很好地反映出脉搏力的传播特性. 图中深蓝色波形是由众多箭头组成(见图 4), 它反映了脉搏图像在脉搏力作用下各像素发生的变化.

现以图 3(c)中 A 区域局部放大图为例来更好的理解运动光流场所反映的在脉搏作用下各像素的变化. 图 4(a)由图 3(c)A 区域局部放大图得到. 图 4(b)和图 4(c)依次由前一图局部放大得到. 设置程序参数使上下 2 波形间隔为 5 个像素. 由图 4 可以清晰的反映出各像素在脉搏作用下的运动趋势及大小, 检测出脉搏力的作用效果, 较好的实现了运动估计.

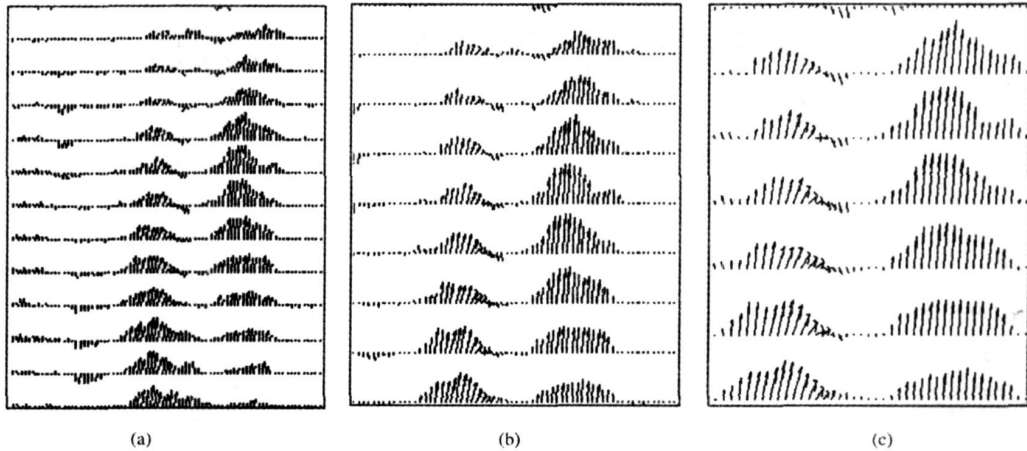


图 4 A 区域局部放大

## 5 结语

上述采用自主研发的传感器采集脉搏动态图像,引入光流法并采用 4 层金字塔结构分析脉搏运动. 研究表明所提出方法的有效性. 在求解光流的过程中,将上层光流值的 2 倍作为下一层光流的初始估计值,不仅扩大了搜索范围,而且加快了迭代运算的收敛速度,减少了迭代次数,提高了运算速度,实现了脉诊触觉图像化分析. 以上研究工作为进一步实现脉搏触觉信息分析奠定了基础.

### 参考文献:

[1] 费兆馥. 现代中医脉诊学[M]. 北京:人民卫生出版社,2003.  
 [2] 陈震,高满屯,沈允文. 图像光流场计算技术研究进展[J]. 中国图像图形学报,2002,(A).7(5):434-439.

### 作者简介:

张爱华,(1964-),女,河北省邯郸人,2006 年获得西安交通大学博士学位,现任兰州理工大学电气与信息工程学院教授,硕士研究生导师,从事生物医学信号检测与处理的的教学与研究工作.

[3] 张爱华,周义勇,朱亮. 图像化脉象采集装置的研制[J]. 传感技术学报,2006,8,19(4):1261-1263.  
 [4] 吴立德. 计算机视觉[M]. 上海:复旦大学出版社,1993.  
 [5] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2000.  
 [6] 高满屯,曲仕茹,李西琴. 计算机视觉研究中的投影理论和方法[M]. 西安:西北工业大学出版社,1998.  
 [7] Lucas B, Kanade T. An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision[R]. Proc. of DARPA IU Workshop, 1981:121-130.  
 [8] 刘晓娟. 神经网络的非平衡态热力学研究[J]. 甘肃科学学报,2005,12(1):77-88.  
 [9] 苏金明,王永利. MATLAB 图形图像[M]. 北京:电子工业出版社,2005:11.  
 [10] 吴小平,李科杰. 一种实用的嵌入式 DSP 视觉跟踪器设计[J]. 北京理工大学学报,2000,20(6):703-707.