

项目报告：数图大作业 1——指纹增强

自 82 聂祎昕 2018011471

目录

一、算法步骤介绍	2
二、相关算法实现方式的介绍	2
(一) 前背景分割	2
(二) 方向和频率矩阵	5
(三) 脊线增强	8
三、心得与思考	12
(一) 项目心得	12
(二) 改进方向思考	14

一、算法步骤介绍

在本次项目中，指纹的脊线增强算法的步骤如下：

- (1) 对图像进行前后景分割的处理，将指纹从整体图像中选取出来。
- (2) 对图像进行分块并计算方向图和频率图。
- (3) 对方向图和频率图进行平滑操作
- (4) 使用 Gabor 滤波器对指纹脊线进行增强。

二、相关算法实现方式的介绍

(一) 前背景分割

(1) 统一操作

在空域中，有指纹的区域方差较大而背景区域由于亮度相同方差较小，因而将图片分成 4*4 的小块计算方差，对方差设定阈值进行二值化获得初步的蒙版，然后对于不同的图片使用不同的参数进行腐蚀和膨胀可以获得初步的蒙版。腐蚀和膨胀操作的参数说明如表 1 所示。

表 1 腐蚀和膨胀操作的参数表

图片	腐蚀圆半径	膨胀圆半径
1.bmp	1	8

2.bmp	1、2	15、30
3.bmp	18	22

(2) 特殊操作

由于图片特性的不同，单纯通过调节方差二值化的阈值和腐蚀膨胀圆半径的方式不能完美做到分割出前景指纹图片，因而对于情况较为复杂的 2.bmp 和 3.bmp，笔者又做了一些特殊处理。

对于原始图 2：2.bmp 像是一个人在指纹采集器上留下的指纹，一圈黑色的圆环无法通过单纯的空域方差计算滤去。笔者利用了图中亮度差的特效，将图片中亮度 120 以下的区域蒙版全部置为 0，并调节腐蚀膨胀参数与之对应，取得了很好的前后景分离的效果。前后效果对比如图 1 所示。



图 1 对原始图 2 前景分割

(左：未通过亮度限制蒙版阈值，右：通过图像亮度限制蒙版阈值)

对于原始图 3：由于 3.bmp 的图像质量实在很不乐观，因而除了考虑空域方差获得蒙版，还考虑过通过频域方差的阈值获得蒙版，将得到的两个蒙版相点乘，产生的蒙版可以滤去大部分的后景图 (如图 2 左图所示)，但是由于右下方一块区域的污渍实在和指纹太过相似，笔者尝试了多种调参方案都没能滤去右下角的污渍，因而笔者通过限制矩形框选取范围的辅助方式对靠近四边的蒙版做了置零操作。

此外，笔者根据图片较为模糊的特性，调整了空域局部方差的计算范围 (改成 12×12) 的区块，并在多次尝试后设定了方差值 (2500) 作为图片三前后景分割的阈值。操作之后的蒙版如图 2 右侧图所示，可以看到，指纹图像被较好、较完整的分割了出来。

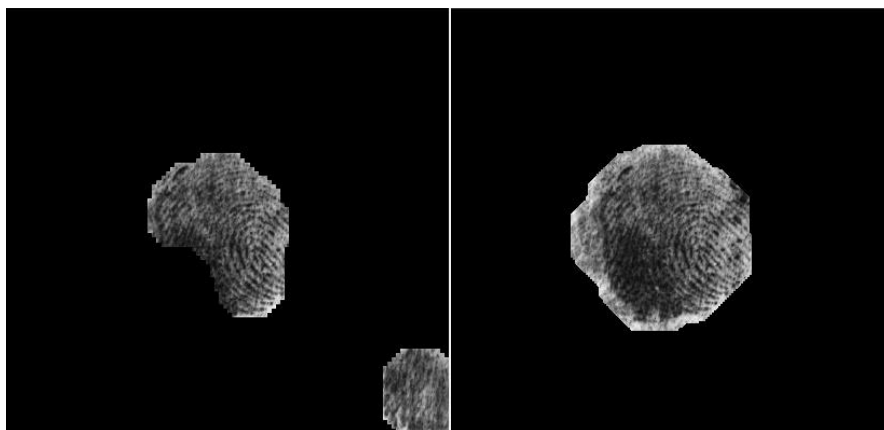


图 2 对原图 3 限制蒙版框选范围和调参前 (左) 后 (右) 蒙版效果对比

(二) 方向和频率矩阵

(1) 方向和频率（波长）矩阵的获取

将小作业 3 的指纹方向和周期估计的程序代码中 “16” 和 “32” 的部分用变量代替，使代码更有可移植性和通用性，并封装成函数 `Get_angle_array`，用于将前景图片进行逐像素局部直方图均衡，并计算分割后图形上每一个区块（16*16 或 8*8）的 FFT 频谱图，得到方向和频率矩阵。程序中相关变量和参数的说明如表 2 所示。

表 2 方向和频率（波长）矩阵求解相关变量参数说明表

图片 \ 参数	Part_piece (图像分块后的边长)	extend (做 DFT 的扩展图块的边长)
原图 1	8	16
原图 2	16	32
原图 3	8	32

(2) 方向和频率图的平滑操作

按照作业要求中的建议对方向图和频率图进行平滑操作，具体步骤如下：

对于方向图：

- ①将方向图中所有角度乘以 2
- ②计算方向图的正弦图并使用 Gauss 滤波器进行滤波光滑操作
- ③计算方向图的余弦图并使用 Gauss 滤波器进行滤波光滑操作

④使用 atan2 函数处理 sin 和 cos 矩阵，得到方向图中的新角度，并对所有角度除以 2。

对频率图：

使用合适参数的 Gauss 滤波器对频率图进行平滑滤波操作。

利用 Draw_dir 函数，输入平滑处理后的角度矩阵，可以在图像上画出指纹线条的方向，三幅图片的线条方向分别如图 3、4、5 所示。

将频率图的灰度拉伸到 0~255，缩放后显示。三张图片的频率图如图 6 所示。

【注】原图 3 的指纹方向线较短，请放大后查看。



图 3 原图 1 的指纹方向绘制图片

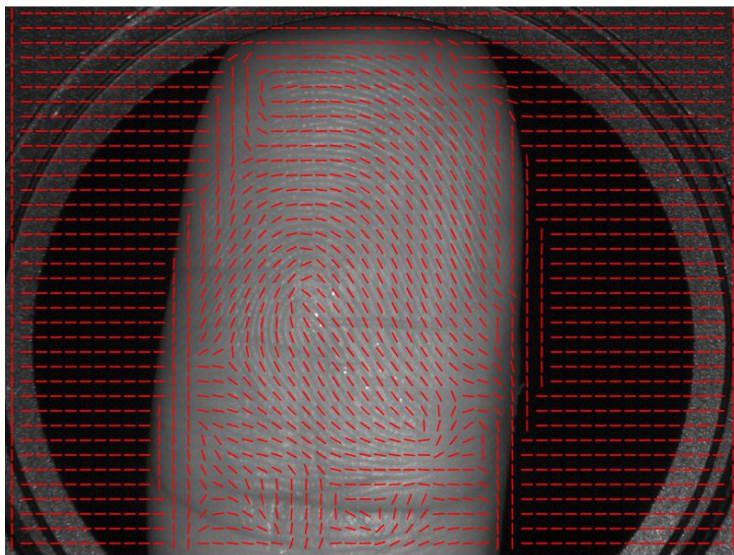


图 4 原图 2 的指纹方向绘制图片



图 5 原图 3 的指纹方向绘制图片

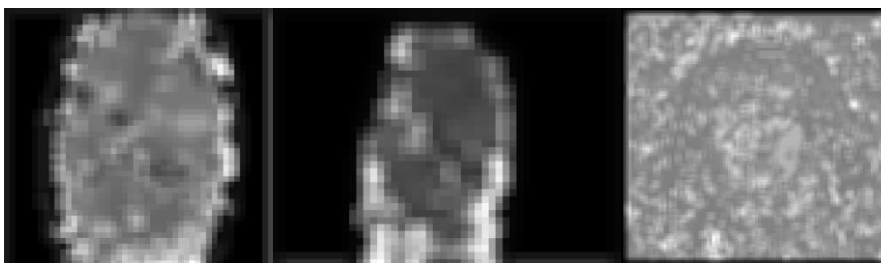


图 6 三张原图对应的平滑处理后的频率图（从左到右分别对应图 1~3）

（三）脊线增强

由于 Gabor 滤波器在指纹增强方面具有很好的效果，因而笔者考虑使用 Gabor 滤波器对图像进行增强操作。Gabor 滤波器对一块区域滤波需要两个参数：角度 $angle$ 和波长 $wavelength$ 。

利用（二）中处理得到的方向和频率矩阵计算 Gabor 滤波器的角度和波长参数，设方向矩阵为 $angle_array$ ，频率矩阵为 $frequency$ 。则有如下的计算公式：

$$angle = \begin{cases} angle_array(i, j) - 90^\circ, & angle_array(i, j) > 90^\circ \\ angle_array(i, j) + 90^\circ, & angle_array(i, j) < 90^\circ \end{cases}$$

$$wavelength = \frac{k}{frequency(u, j)}$$

经过多次的调参比较，笔者决定采取如表 3 所示的k参数，来计算波长参数¹（其中 $part_piece$ 为本题中 Gabor 滤波的小块大小，为 16*16 或 8*8）。

表 3 Gabor 滤波器波长的 k 值参数表

图片 \ 参数	k 值
原图 1	16
原图 2	64
原图 3	32

对每个大小为 $part_piece$ 的小块做 Gabor 滤波处理，并对 Gabor 滤波的图像结果进行二值化，使得图像黑白分明，进一步增强脊线的视觉效果和对比度。最后，使用 Gauss 滤波对脊线增强的图像进行滤波，一方面使图像清晰，另一方面也可以减轻微末处出现的差错，减少指纹纹线错位。三张原图的 Gabor 滤波脊线增强后图片和再经过 Gauss 滤波后的结果图分别如图 7、8、9 所示。，可以看到，Gabor 滤波器增强加上 Gauss 滤波器的处理，三张图片均取得了较好的指纹增强效果。

¹ 实际波长参数计算封装在函数 `Get_angle_array` 当中，和频率矩阵一起生成



图 7 第一张原图的脊线增强结果
(左边为未 Gauss 滤波，右边为 Gauss 滤波平滑后)





图 8 第二张原图的脊线增强结果
(上边为未 Gauss 滤波，下边为 Gauss 滤波平滑后)



图 9 第三张原图的脊线增强结果
(左边为未 Gauss 滤波，右边为 Gauss 滤波平滑后)

三、心得与思考

(一) 项目心得

(1) 调参时精益求精的工程思维

本次项目中，由于不同指纹图像具有不同的特性，因而在指纹前景分割、DFT 区块大小选择、平滑滤波器的参数选择和 Gabor 滤波器的波长参数选取上均需要分别考虑和多次调试。写数图大作业的这几天里，指纹增强图像从一上来分割蒙版和处理结果让人哭笑不得，到一步步优化调参之后，去掉边缘的黑方块、尽力让指纹图像的纹理清晰起来达到现在的效果，我在一次次参数调试的过程中感受到了作为一个工程项目的设计人精益求精的思维理念。

(2) 模块化设计和代码可移植性的重要性

在本次大作业的调试过程中，对于一个模块的参数往往需要多次测试。一开始，诸如指纹方向图和频率图估计的模块，我都是手动修改模块内每一个设计区块大小的数据，这需要每次都把数据之间的关系计算一遍。调试了多次之后，发现这样每次改一堆数据的方式效率十分低下，于是我尝试将方向图和频率图计算部分以及用 Gabor 滤波器增强指纹脊线的部分封装成函数，并使用变量代换原来的数值，每次调参只需要修改少量传入这些模块的参数即可。这样一来，调试速度大大提高，程序也更加清晰易懂。

在之后的设计和工程项目中，我也会增强模块化封装的意识，逐步实

现从无序、无条理向有条理、有序的方向的转变。

(3) 开阔性思维对于工程的重要性

大三上的课程与大二相比强调的内容有很大不同。大二的课程更多的是一些理论性课程，强调在既定的框架内把知识弄明白，大三上的课程更多是设计性的项目课程，需要的是开阔性的思维。

具象化到本次的项目中，指纹前景分割的时候如果单单使用空域和频域方差判断的方式，得到的分割结果就不是非常理想，如果具体问题具体分析，考虑图像亮度阈值，对蒙版做一些预处理就可以获得很好的分割效果。此外，在第三张图片的方向场计算时，由于图片质量较差的原因，我想到了在方向场和频率场计算前对图片做一次全局直方图均衡，这一做法也使得第三张图脊线增强和方向场绘制效果有了极大的改善。

思维的开阔乃是工程中创新、改进的源泉，之后的项目中我会进一步强化多角度优化的思维。

(4) 对统一算法和“因图制宜”的思考

本次大作业的绝大部分时间其实都在调整各个 DFT 计算和滤波器的参数，笔者在优化之初一直期望能找到一个统一、通用的算法解决三张图片，但是经过多次试错加上和交流讨论，笔者发现这种想法是较难实现的，因而在本次项目中实则采取了处理策略和处理模式上的统一、具体处理措施和细节上的不同的处理方案。例如：对图片分块计算 DFT 的分

块大小就“因图制宜”。

由是笔者思考是不是所有的对图片的处理都要做到有统一的模式和算法，用户只需要将图片放入算法等结果的境界呢？即便是 Photoshop、扫描全能王等软件的交互界面中也有很多供用户自己调节的参数，即便是深度学习也有无法自动调节的超参数需要人手动调参。图片本就是多样化的，因而对图片的处理也应该有“因图制宜”的思想。

（二）改进方向思考

（1）本次前两张图片的指纹中心均有转向较大的部分，如图 10 所示。对于这些部分，如果进行 8×8 或者 16×16 大小分块的 DFT 处理，会导致一定程度的纹线方向不一致的情况。

笔者尝试提出了一种做法：在做 DFT 求方向矩阵和频率矩阵的时候，如果发现频谱中，除掉直流分量后第 4 大的点是第一大的点值的 90% 以上，当前区域就将被视为“急转”区域，此时 DFT 窗口会缩减为 4×4 ，从而使“急转”区域的特征能更清晰的被刻画。然而，急转效果有一定改善却带来了另外两个问题：①有一些附近靠的很近的脊线出现连在一起的情况 ② 4×4 窗口和其他 DFT 窗口大小不一致，在后续参数的对齐匹配当中会出现很大的 bug。笔者尝试再三后未能找到一个折中的合适参数算法，于是没有采用这种想法进行改进。

如果有更多时间，笔者会通过网络和文献调研的方式进一步了解这些区域的指纹处理算法，力图实现最优效果。



图 10 指纹中的急转区域（红框内所示）

(2) 本次脊线增强图片的边缘仍然存在一些纹线错乱的小块，笔者推测可能是由于方向图和频率图计算函数和 Gabor 滤波器的波长(wavelength)参数没有调节到位所致，如果有后续优化，可以考虑进一步调节两者参数适配，改善图像质量。

(3) 本次项目中采用了在网络上纹线增强领域获得一致好评的 Gabor 滤波器对指纹图像进行增强，但是就结果而言还有优化的空间，此外，笔者在和别的同学交流讨论的过程中也听说有同学使用非 Gabor 的线性滤波器取得了更好的增强效果。如果时间充裕，笔者将探索其他滤波器的性质，将其他滤波器处理指纹的结果和 Gabor 滤波器处理结果比较，选出更优的方案。

最后感谢在调试和优化过程中给予帮助和指导的同学们和助教。