

《数字图像处理》

指纹脊线增强算法实验报告

自 61

张嘉玮

2016011528

目录

1.需求分析	2
1.1 图像分块	2
1.2 判断前景背景	2
1.3 估计脊线方向	2
1.4 估计频率	3
1.5 方向图和频率图的滤波	3
1.6 对原图进行滤波	3
2.实现方法和原理	4
2.1 图像分块	4
2.2 判断前景背景	4
2.3 估计脊线方向	5
2.4 估计频率	5
2.5 方向图滤波	5
2.6 频率图滤波	6
2.7 Gabor 滤波	6
3.实验及分析	7
4.遇到的困难及解决方法	12
5.总结与收获	14
6.参考文献	14
7.附录	14
7.1 latent.bmp 实验结果	15
7.2 Phone.bmp 实验结果	19
7.3 空域求方向场和频率场的实验结果	24

1. 需求分析

根据题目要求以及用 Gabor 滤波器增强指纹脊线的算法，要达到指纹图像的增强，需要通过原始指纹图像提取以下信息：

1.1 图像分块

由于指纹在局部区域内，其指纹的方向以及频率等信息相近。因此要将凸显你分块处理。根据题目要求，本次大作业将指纹分为 8×8 的小块，然后进行接下来的处理。

1.2 判断前景背景

由于原始图像上存在不是指纹以及指纹模糊到无法识别的区域，因此需要在图像分块的基础之上，判断一块图像是否属于指纹区域。

判断以及根据题目要求，使用对应块的傅里叶变换，同时，为了使得提取的傅里叶变换更加准确，选择以 8×8 的块为中心的 32×32 的区域进行傅里叶变换。然后通过其频谱的特点，判断该区域是否属于指纹区域。

在判断到该区域属于指纹区域之后，需要提取该区域的方向以及频率信息。

1.3 估计脊线方向

脊线方向表示了对应区域内的指纹的方向，该方向提取的好坏直接影响 Gabor 滤波器的方向，进而对滤波效果产生很大的影响。根据要求，方向场的提取要依据每一块的傅里叶变换频谱得到。

方向场以块为单位提取，因此最终的方向场的分辨率是原图大小的 $1/8$ 。每一像素块一个方向值。

1.4 估计频率

同样，根据每一块的傅里叶变换，求得对应块当中的指纹近似的正弦波的频率，作为该块的频率。

同脊线方向，频率方向直接作为 Gabor 滤波器的参数，其提取效果直接影响最终指纹脊线增强的好坏。

频率场同样是基于之前的分块进行的，因此提取的频率场的分辨率是原图分辨率的 $1/8$ 。

1.5 方向图和频率图的滤波

对于方向场，由于噪声等因素，虽然是以块为单位提取的信息，但是同样有些地方是错误的，因此需要对方向场进行滤波。而滤波的依据是指纹的方向在一定的范围之内变换缓慢且相似，因此可以使用一般的低通平滑滤波即可。

对于频率场，除了噪声的干扰，区别于方向场的是由于指纹的不连续以及与正弦波的差异有较大的区域，一些指纹块并不能提取到频率信息，因此在滤波之前，需要对指纹区域内没有提取到频率信息的块进行插值补全。然后进行低通滤波。滤波的思路同方向场的滤波，使用低通滤波即可。

1.6 对原图进行滤波

根据 Gabor 滤波器的滤波原理，在提取了方向以及频率信息后，就可以构建一个 Gabor 滤波器，然后对其进行滤波。

每一个块有一个方向信息和频率信息，因此每一个块 (8×8) 便对应一个 Gabor 滤波器，然后用该滤波器对该领域内的每一个像素进行滤波。

将原图所有的像素点用对应的 Gabor 滤波器进行滤波之后，便可以得到

最终的脊线增强的指纹图。

2. 实现方法和原理

实现方法根据指纹脊线增强的几个步骤展开。

2.1 图像分块

为了使得接下来的图像处理方便，首先原始指纹图像的大小进行调整，`resize` 到`[499,499]`。

每一块的大小为 8×8 ，同时为了考虑指纹之间的关联性。在分块时，将相邻两块之间的一行或者一列重叠。最终得到的块共 71×71 个。

2.2 判断前景背景

以 8×8 的块为中心，选取 32×32 的块进行 DFT，根据二维正弦波的 DFT 特点可知，对于二维正弦波的 DFT 的幅度谱，存在两个峰值，同时这两个峰值关于原点对称(将 DFT 的幅度谱进行平移,使得中心在 32×32 的块中心)。对应的最接近的正弦波。

对应到指纹区域，分析可知也应该具有这样的特点。因此利用该特点对前背景进行判断。考虑到指纹并不是完美的正弦波，因此其存在直流分量等一些低于指纹频率的分量。因此可以用一下的算法：

步骤一：对 32×32 的进行 DFT，求得其幅度谱。

步骤二：对幅度谱进行降序排序，如果幅值较大的几个当中存在位置关于原点对称的相等的幅值，则对应正弦分量。

步骤三：判断该正弦分量对应的频率高低，如果过高（对应位置离幅度谱原点（中心）较远），则是高频噪声带来的，判定其为非指纹；否则，判定其为指纹区域。

2.3 估计脊线方向

依据正弦波傅里叶变换频谱特点可知，其幅值最大的两个点的连线是和正弦波的方向垂直的，因此，根据上一步求得的关于原点对称的两个点的斜率，求余角，便是该区域对应指纹的区域。

2.4 估计频率

根据实验要求，同样需要根据傅里叶变换的频谱求得对应块的频率。直观来看，频率普幅值最大的点里中心点的距离越远，其对应的正弦波频率越高；反之，离远点越近，其对应的正弦波的频率越低。

因此，可以根据这一关系求得每一块的频率。

二维正弦波离散傅里叶变换如下：

$$\sin(2\pi u_0 x + 2\pi v_0 y) \Leftrightarrow j \frac{1}{2} [\delta(u + Mu_0, v + Nv_0) - \delta(u - Mu_0, v - Nv_0)]$$

其中，M、N 是傅里叶变换的块的大小。本次作业当中 $M=N=32$ ，则根据上述关系，傅里叶变换的频谱当中，频率可以用下式求得：

$$f = \frac{\text{幅值最大的点到原点的距离}}{M = N = 32}$$

2.5 方向图滤波

方向图的滤波选用空域高斯低通滤波，在滤波之前需要先将方向图转换为 X 和 Y 两个方向的向量场：

$$\Phi_x(i, j) = \cos(2\theta(i, j))$$

$$\Phi_y(i, j) = \sin(2\theta(i, j))$$

分别对两个方向进行高斯平滑滤波。滤波器大小选为 5*5：

$$\Phi'_x = GaussFilter(\Phi_x)$$

$$\Phi'_y = GaussFilter(\Phi_y)$$

然后再进行反向变换，得到方向角：

$$\theta(i, j) = 0.5 * \tan^{-1} \left(\frac{\Phi'_y(i, j)}{\Phi'_x(i, j)} \right)$$

2.6 频率图滤波

频率图在滤波之前先要对之前没有提取到频率的地方进行插值补全。插值方法同参考文献[1]。为了实现对指纹区域与非指纹的区域的再次判断，在论文[1]方法的技术上，做出以下改进。

所在一个块对应的领域内（选取 7*7 的领域），提取到频率的位置数太少，则说明此区域并不是指纹，同时将该频率数置为-1。而如何衡量“多少”，取决于图像质量，若果原本的指纹间断很严重，则此下限值应该较小；否则，可以选的较大。这一环节可以很好的在之前前背景判断的基础上再次得到更加精确的前背景判断。

接着对插值之后的频率图进行滤波，选取 7*7 的高斯滤波核进行空域滤波。

2.7 Gabor 滤波

Gabor 滤波器可以根据之前求得的方向图和频率图，得到每一个块对应的滤波器，该滤波器可以增强脊线与谷线的对比度，去除极限的粘连、空洞等现象，同时连接指纹断裂的区域。

偶对称的 Gabor 滤波器的一半形式如下：

$$G(x, y, \theta, f_0) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{x_\theta^2}{\delta_x^2} + \frac{y_\theta^2}{\delta_y^2} \right) \right\} \cos(2\pi f_0 x_\theta)$$

$$\begin{bmatrix} x_\theta \\ y_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta & \cos \theta \\ -\cos \theta & \sin \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

其中 θ 为方向角, f_0 为频率, δ_x, δ_y 分别为沿 X 和 Y 方向的高斯包络线常量。对于每一块 θ 和 f_0 已经求得, δ_x, δ_y 传统方法指定为 5, 这对于频率变化较大指纹是不适合的, 因此选择一个和指纹频率相关的量 (参考文献 [2])。

根据以上偶对称的 Gabor, 对每一块得到一个大小为 11*11 的 Gabor 滤波器, 然后对原图的每一个像素点进行空域滤波。

特别地, 如果不属于指纹区域, 将其值置为白色 (将像素置为 255)。

3. 实验及分析

【以 FTIR.bmp 为例】

【原图】



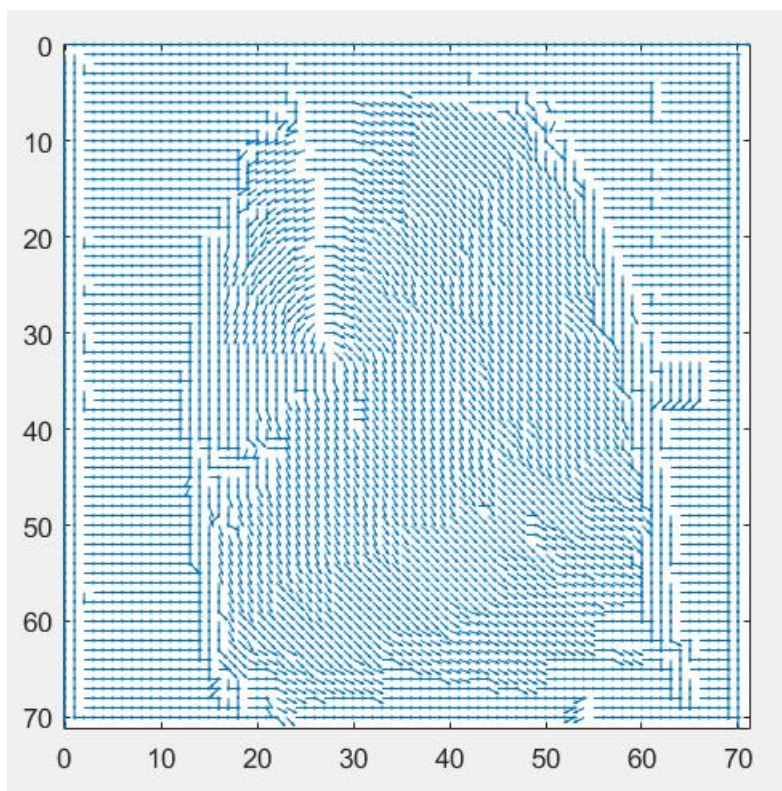
【调整大小】 图像大小调整是为了指纹频率估计的统一，这里选取了将任意大小指纹调整到大小为[499,499]的图。



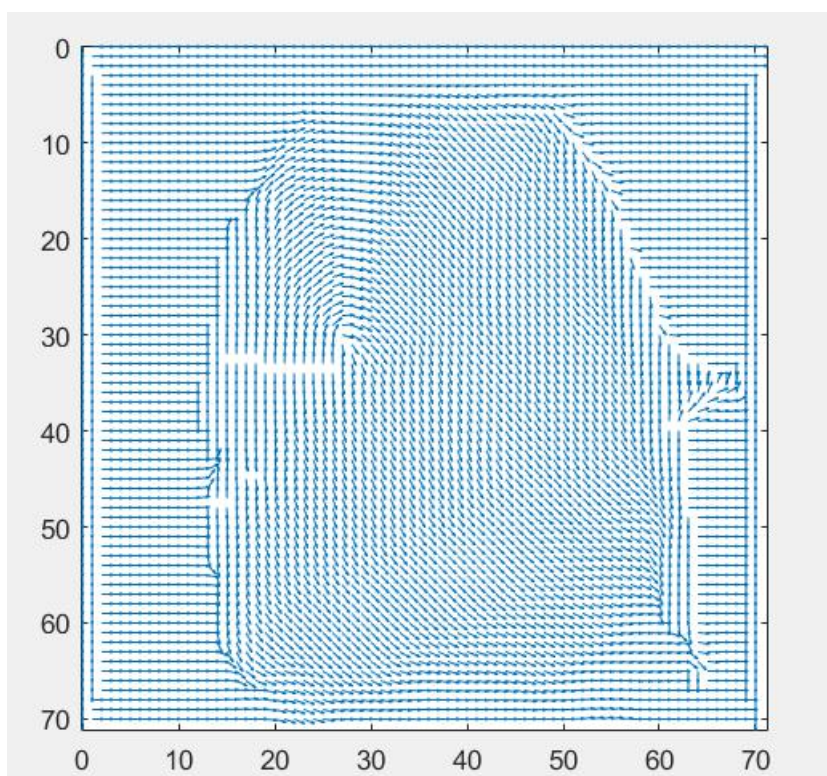
【分块、求方向图】 将调整之后的图分为 71×71 个小块，每块大小 8×8 ，相邻两块重叠 1 个。

前背景分割时设置当幅度最大的波形对应的频率大于 4 时为高频，认为其为非指纹。

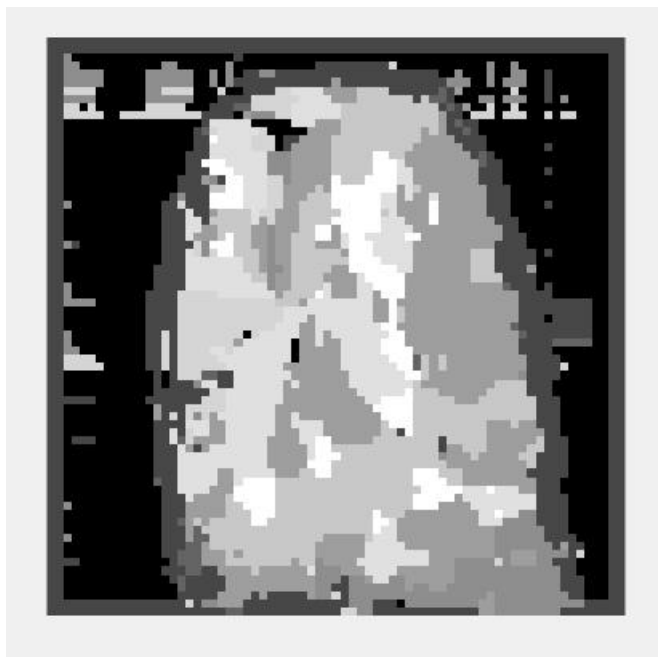
脊线方向根据傅里叶变换的频谱求得。



【方向图滤波】方向图滤波时，使用高斯平滑滤波器在空域滤波。X，Y 方向分别进行。此处滤波器为低通高斯滤波器，大小为 5，方差为 4.



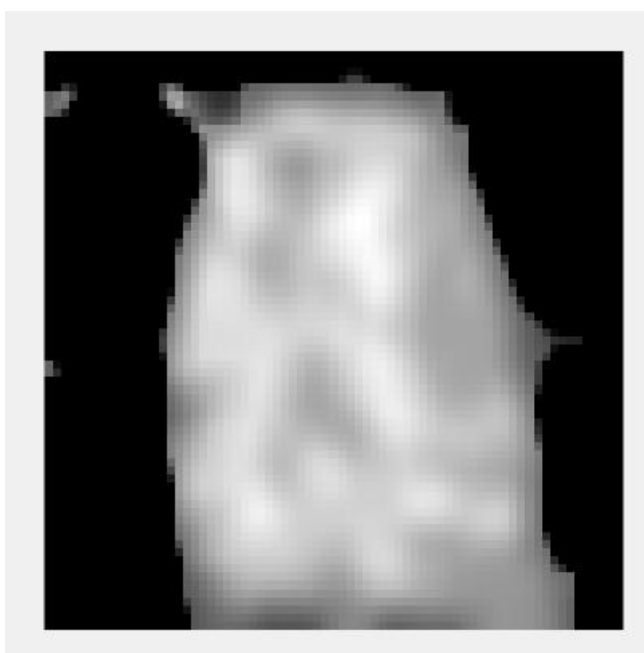
【频率图】 频率图同样根据第二部的傅里叶变换频谱求得。



（黑色点表示该位置未提取到指纹频率，为-1）

【插值滤波之后的频率图】频率图滤波的第一步是插值，“补全参数”根据原指纹图像的质量进行调整。具体到这次的三幅图。FTIR 为 10；latent 为 35；phone 为 4. 用于插值的高斯滤波器大小为 7。

之后进行高斯低通滤波，高斯滤波器大小为 7，方差为 3.



(黑色区域是-1, 表示不是指纹区域)

【Gabor 滤波+直方图调整之后】Gabor 滤波器大小为 11。高斯核的参数 σ_{\max} 和 σ_{\min} 根据指纹图像频率变化大小而定。像 FTIR 和 latent 这样频率变化不大的, 可以直接设置为定值, 实验时为 5, 可以得到粗细较为均匀的指纹增强图。但是想 phone 这样指纹频率变化比较大的, σ_{\max} 和 σ_{min} 选取一个和频率有关的值, 实验中选取了: $0.5 \times \text{频率的倒数}$ 。这样获得的指纹粗细符合原图的比例。

使用了和频率相关的 σ 参数, 因此图像的指纹的粗细不均匀信息得到了较好的保留。但这样的弊端是部分块的指纹频率异常, 便会导致一些脊线相交。



(增强之后的原图)



(增强之后进行直方图调整)

下面的指纹增强选取的 Gabor 滤波器 sigma 参数选取的是定值 5, 可见指纹脊线粗细较均匀。



4. 遇到的困难及解决方法

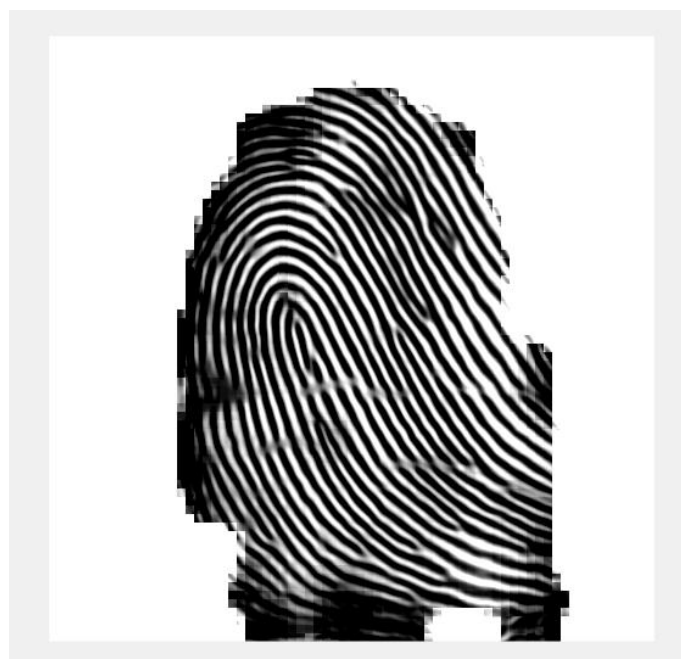
4.1 MATLAB 不熟悉

由于之前并不是很熟悉 matlab 的一些函数一个矩阵运算，在刚开始入手大作业时，思虑是有的，但就是写不出来。写出来的代码和很繁琐。

只好先写伪码，然后通过上网查阅等手段搜索有没有相关的函数，结果发现，matlab 真是太强大的，大多数函数都以及内置。并且发现一个之前从来没有用过的元胞，在分块处理时，使用特别方便。

4.2 审题不严，使用了 LinHong 等人的算法提取方向图、频率图

这一点实在是难受，大作业第一周我认为是复现论文算法，最终成功的复现了算法，得出了如下的增强图：



效果还算可以，和同学交流之后发现，题目要求是根据傅里叶变换求取方向场和频率场，这也表明之前自己根据梯度求得的方向场以及旋转方块统计得到的频率场是不能用了，之后重新开始研究傅里叶变换的结果。

最终也按时成功的实现了。等同于用了两种方法。过程虽然有点艰难，但也让自己掌握了另一种算法。

4.3 部分区域频率求不出

由于在之前阅读论文时没有在意频率图插值的好处，导致没有提取到频率的地方虽然经过滤波之后有了一个频率，但是明显低于原本应该的值，后来仔细阅读论文后发现，需要插值，同时这个过程能减少噪声，使得频率图得到了较大提升。算法的效果也好的许多。

4.4 Gabor 滤波器方向错了

这一点虽然是一个小错误，但是我整整 DeBug 了一整天，求取的方向图是对的，频率图也是对的，但是滤波之后的图像之后一些倾斜的指纹区域是对的，水平和垂直的区域就会出现凌乱。最后发现，求得的方向角在生成滤波器时，由于是通过旋转 0° 的 Gabor 滤波器得到的，因此需要取余。解决这一点之后，效果便一下好了。

5. 总结与收获

这次大作业算是我第一次比较系统的使用 MATLAB 完成一个任务，之前都是画图什么的用一下 MATLAB，现在发现 MATLAB 真的很强大。

除了使用 MATLAB 的技能有所提升，主要的还是对数图学过的东西有了更进一步的认识。之前的任务大多是在连续域以及一维上进行的，这次使用二维离散域，刚开始确实有点难理解。

这次大作业反映出的另一个问题是自己码代码的能力急需提升，特别是在验证自己的想法的过程中，码代码花费了大量的时间。

调参数也不是一个容易的事情，在刚开始做时，只是按照自己的主观猜测设

置了一些滤波器以及上下限的参数，发现效果很差。之后阅读另外的一些文章，这个过程也学到了一些优化模型的方法，收获很大。

6. 参考文献

- [1] Hong L, Wan Y, Jain A K. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 24(8): 777-789.
- [2] 夏振华, 石玉, 于盛林. 基于 Gabor 滤波器的指纹图像增强[J]. 工程图学学报. 2006-5
- [3] 黄静, 李开宇. 基于小波域的 Gabor 函数指纹图像增强[J]. 电子科技. 2010-7

7. 附录:

7.1 latent.bmp 实验结果

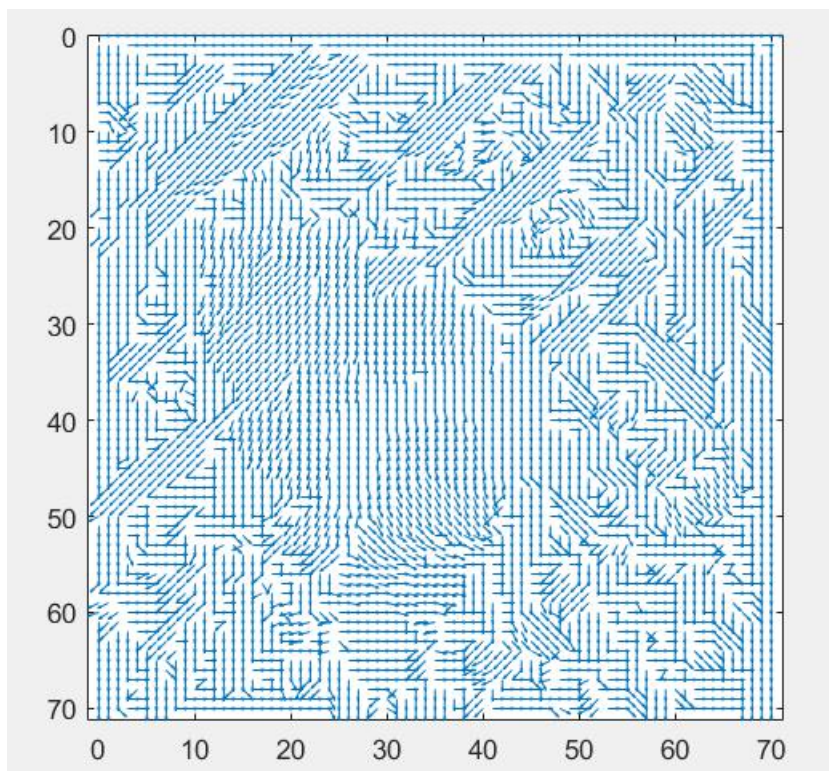
【原图】



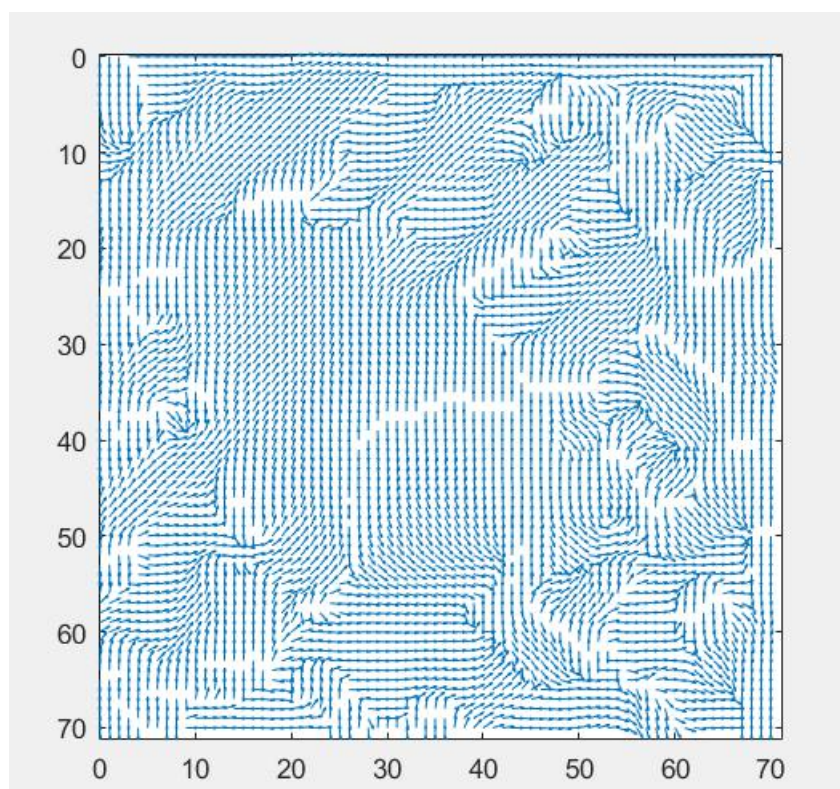
【调整大小】



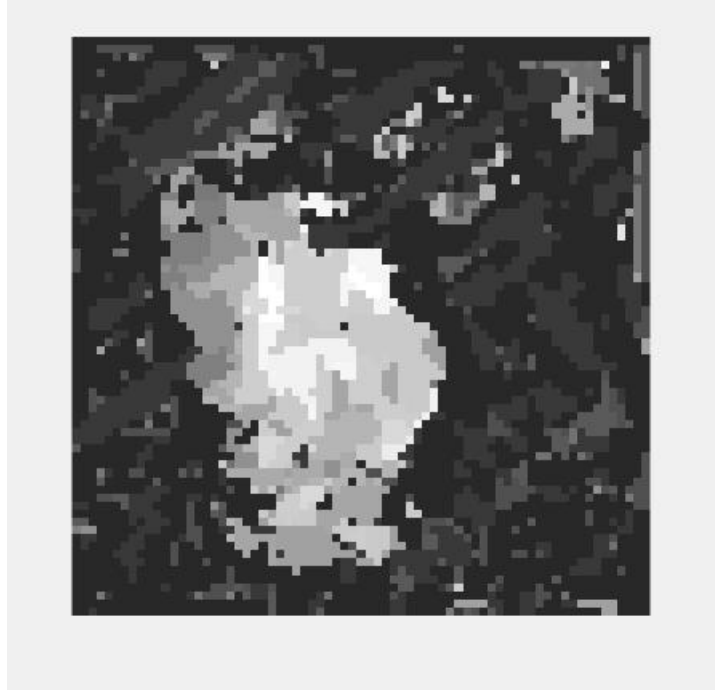
【未滤波方向图】



【滤波之后的方向图】



【未滤波的频率图】



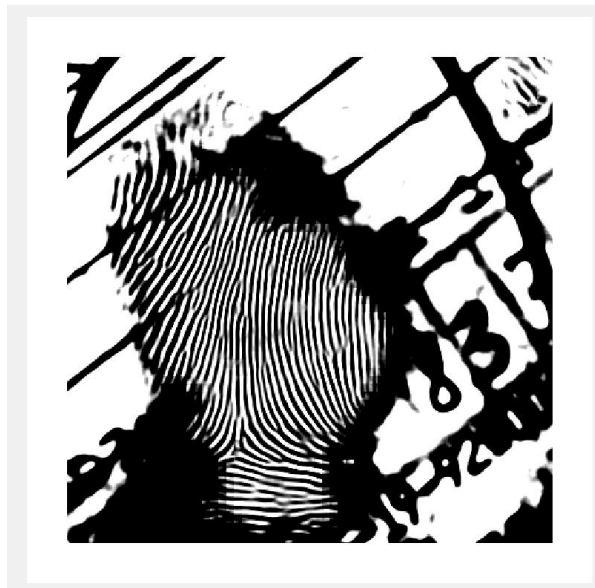
(黑色点表示未提取到指纹频率, 为-1)

【插值滤波之后的频率图】



(黑色区域是-1, 表示不是指纹区域)

【Gabor 滤波+直方图调整之后】



(调节参数，将高频噪声当做背景)



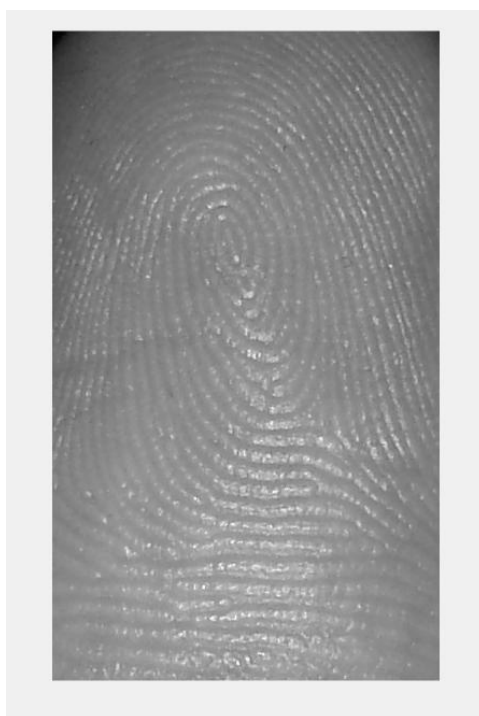
(调节参数，将高频低频同时当中背景图)



7.2 Phone.bmp 实验结果

由于 phone 这张图亮度分布极其不均匀，因此首先使用了局部直方图均匀和归一化。在最终显示时同样适用了局部直方图均衡。

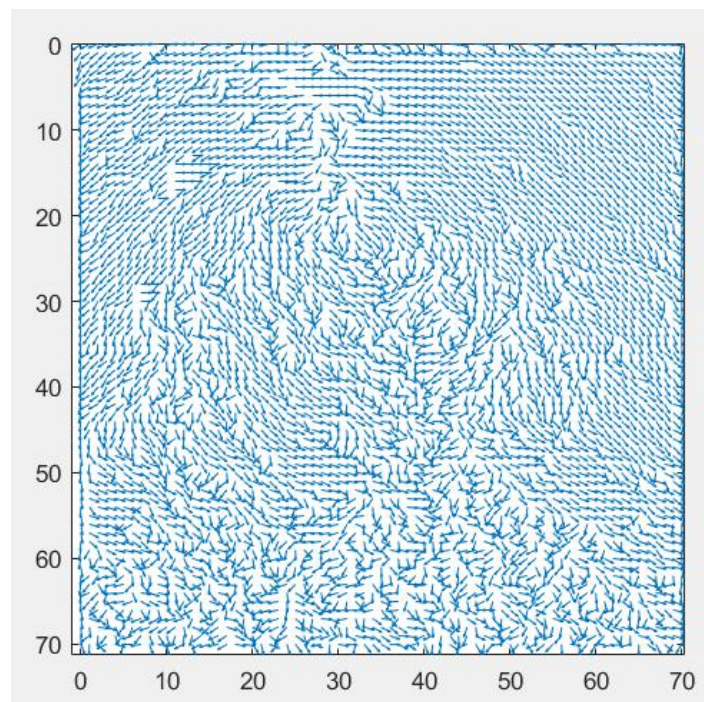
【原图】



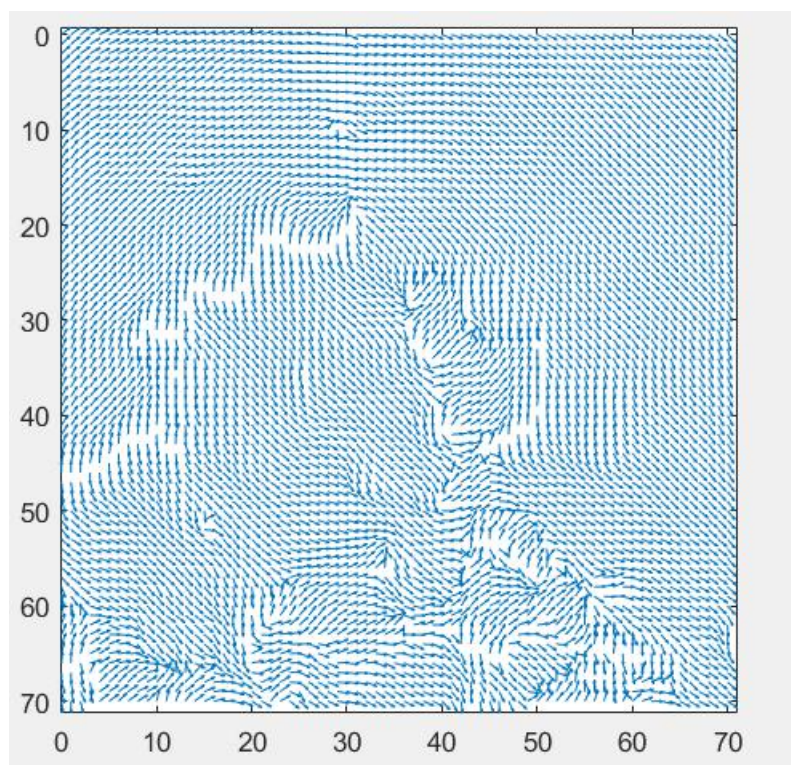
【调整大小+局部直方图均衡】



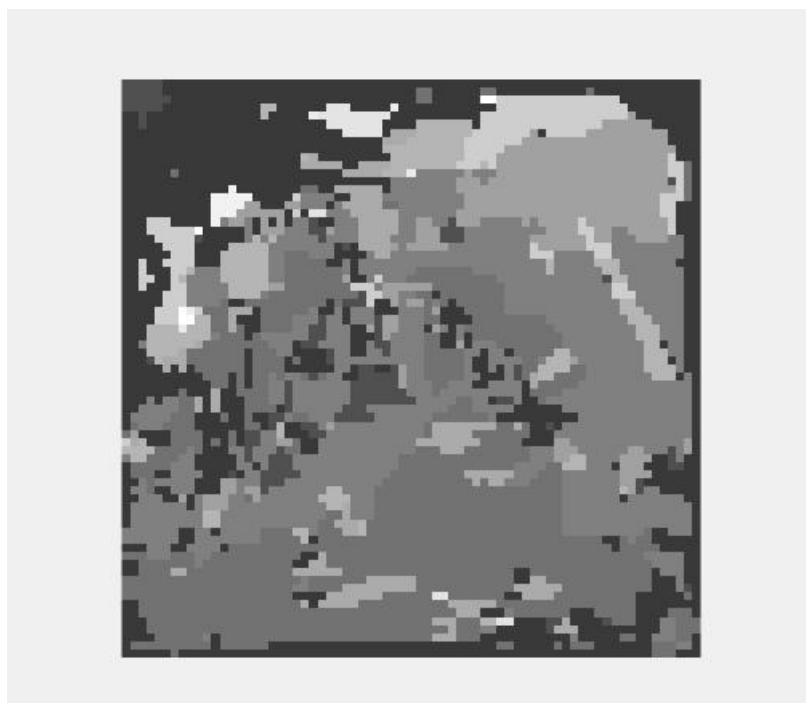
【未滤波方向图】



【滤波之后的方向图】



【未滤波的频率图】



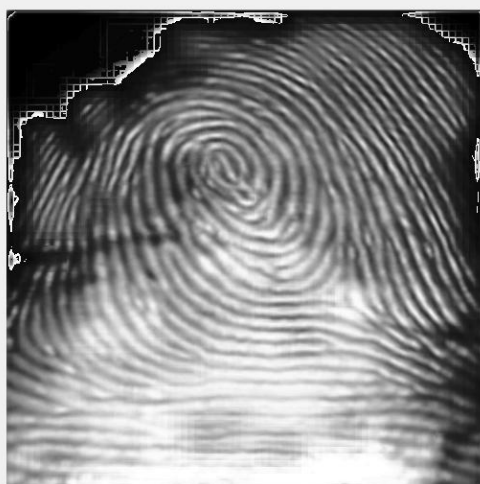
(黑色点表示未提取到指纹频率, 为-1)

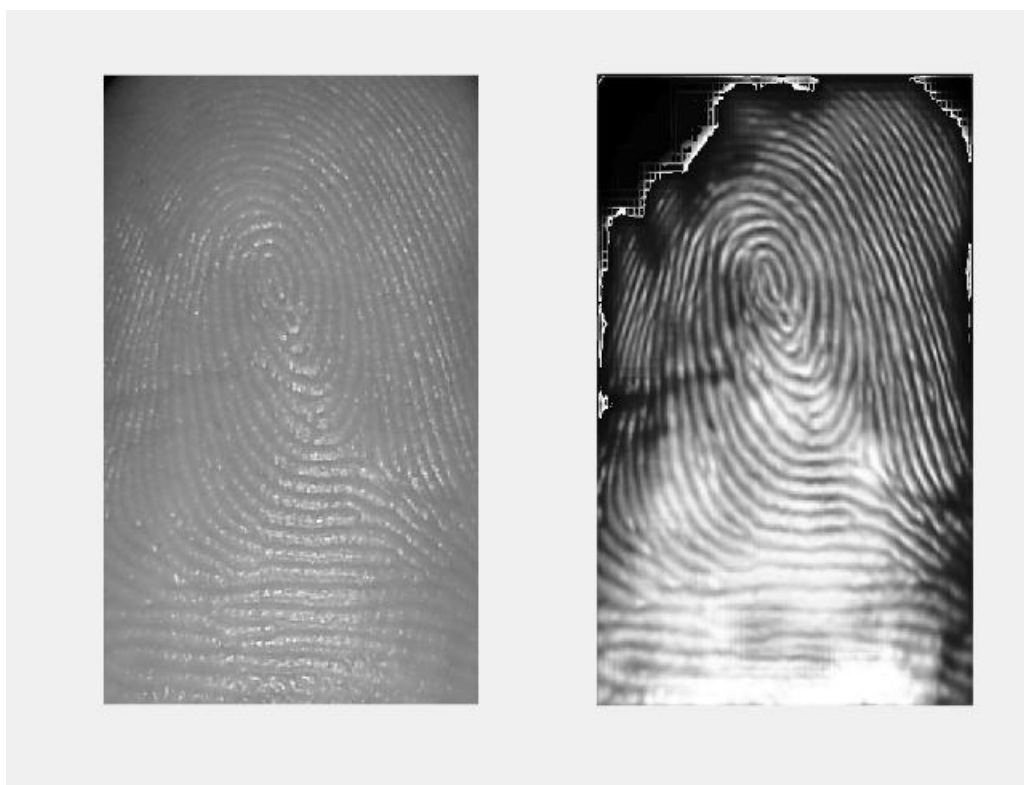
【插值滤波之后的频率图】



(黑色区域是-1, 表示不是指纹区域)

【Gabor 滤波+直方图调整之后】





7.3 空域求方向场和频率场的实验结果

由于之前对题目要求解读错误，使用了空域求频率场（统计峰值之间的距离）和方向场（根据梯度求解方向）的方法，下面是其复现图，以和频域的方法对比。

7.3.1 FTIR.bmp



【原图】

【增强图】

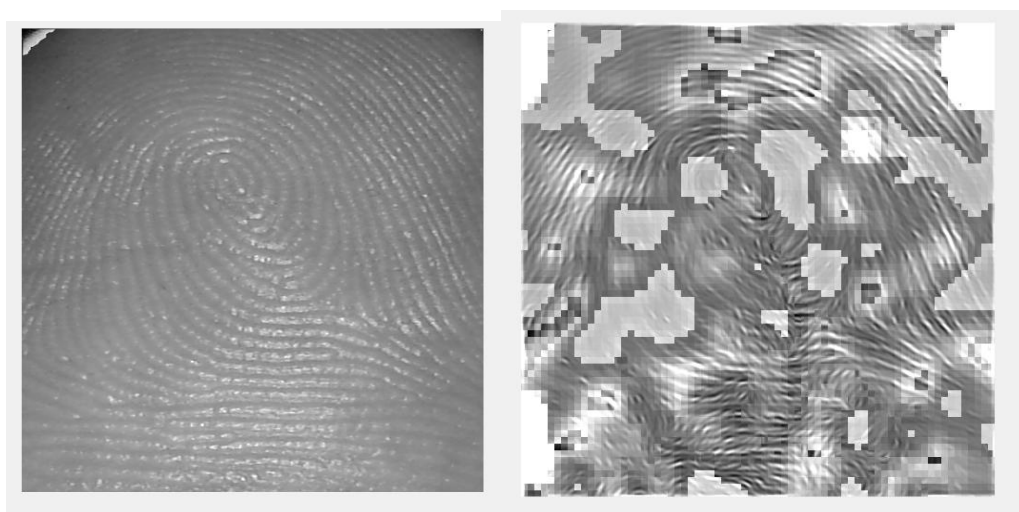
7.3.2 Latent.bmp



【原图】

【增强图】

7.3.3 Phone.bmp



【原图】

【增强图】