

# 2019 年《数字图像处理》大作业

## 作业说明

本次大作业题目分为基础题和综合应用题。基本题主要是考察大家对教材涉及的一些基本图像处理技术的理解和实现。而综合应用题主要是考察大家综合利用图像处理的若干技术来解决实际问题的能力。

注：所有实验用图均可从网络学堂下载，文档中的图片只是示例。

## 作业要求

编程工具：不限（建议使用 Matlab、VC、python 等）。

因为很多基本的图像处理算法已经集成在很多的编程工具中，而编程训练中基本题的目的是让同学们加深对这些算法的理解，所以基本题要求同学们**只能使用图像读取和显示相关函数**（例如 Matlab、OpenCV 中的 `imread`, `imshow`, `imwrite`），而不要直接调用相关的 API（例如二维 DFT，图象均衡等等），否则分数会有一定影响，但在综合应用题中则无此限制。如果不确定是否可以使用某函数，可以与助教联系。

上交的作业包括：**实验报告**和**程序**。其中实验报告要求写出算法分析（必要时请附上流程图），函数说明（给出主要函数的接口和参数说明），实验结果（附图）及讨论分析。提交的程序，一定要确保可以运行，适当添加注释，最好能写个使用介绍。

基本题一共有 13 道，可以从中任选 2 道题来完成。综合应用题有 3 道，参加小测验的同学，从三个题目中选 1 个即可；未参加小测验的同学，从三个题目中任选 2 题。

请各位同学务必独立完成，切忌抄袭！

本课程助教联系方式：王志国 [wzg16@mails.tsinghua.edu.cn](mailto:wzg16@mails.tsinghua.edu.cn)

李闻天 [li-wt17@mails.tsinghua.edu.cn](mailto:li-wt17@mails.tsinghua.edu.cn)

## 基本题

### 一、直方图变换（第 2 章）

对“基本题”目录下“his-1.jpg”和“his-2.tif”图像做直方图均衡化变换、直方图规定化变换。直方图规定化目标为教材 2.4.6 (b) 所示，采用 SML 和 GML 两种映射规则。

要求给出：

- 1) 均衡化、SML 规定化、GML 规定化的结果（包括图像和直方图）
- 2) 分析比较上述三个结果的差异。

### 二、模板操作（第 3 章）

先对“基本题”目录下“Lena.bmp”添加高斯噪声和椒盐噪声（参数自定），对上述含有高斯噪声和椒盐噪声的两幅图像分别采用均值滤波和中值滤波进行消噪处理。

要求给出：

- 1) 给出添加高斯和椒盐噪声后的图像，并说明所加噪声的相关参数；
- 2) 给出两种噪声图像分别采用两种方法消噪后的图像，分析滤波参数对结果的影响；
- 3) 计算消噪前、消噪后图像的均方根误差 ( $e_{rms}$ ) 和峰值信噪比 (PSNR)。

### 三、频域图像增强（第 4 章）

实现对“基本题”目录下“Lena.bmp”图像的巴特沃斯低通滤波器、梯形低通滤波器、指数低通滤波器和理想低通滤波器进行频域增强，滤波器的参数自定。

要求给出：

- 1) 原始图像和上述各个滤波后图像；
- 2) 给出各个滤波器的参数设置，并说明参数如何影响滤波效果；

### 四、有约束恢复（第 5 章）

使用平滑函数  $h(x) = \exp[\sqrt{x^2 + y^2}/240]$  与“基本题”目录下“Lena.bmp”图像卷积产生模糊，然后利用维纳滤波器实现对有模糊图像的恢复。

要求给出：

- 1) 原始图像、有模糊图像以及恢复后图像；
- 2) 在有模糊图像上再叠加均值为 0，方差为 16 的高斯随机噪声后再次进行实验，给出有噪声模糊图像及恢复后的图像。

### 五、仿射变换（第 6 章）

#### 1. 仿射变换

实现对“基本题”目录下“Lena.bmp”图像的仿射变换，包括平移、放缩和旋转（各一次变换），参数自定，但是应能较明显看出变换效果，且需要在文档中说明。

#### 2. 灰度插值

要求将“基本题”目录下“Baboon.bmp”的尺寸放大到 500×500。采用零阶插值、双线性插值、三次线性插值三种方法，并对结果进行对比。

要求给出：

- 1) 给出原始图像和变换后图像；
- 2) 对灰度插值的三种插值方法进行对比说明。

### 六、暗通道先验去雾（第 7 章）

根据教材 7.1.1 节的基本方法与 7.1.4 节的二叉树法，对“基本题”目录下“aerial-input.bmp”进行去雾，参数自拟。

要求给出：

- 1) 原始图像及去雾后的图像。
- 2) 对两种算法进行对比说明。

### 七、图像投影重建（第 8 章）

图像重构的一个现实应用是 X 射线断层摄影术。X 射线断层摄影术是通过在不同角度测量经过身体标本射线的衰减来形成投影的。投影可以通过特殊的医学成像设备来专门收集，然后标本的实际图像可以利用投影进行重构。

请编程模拟该过程：请使用 Matlab 中的 phantom 函数生成头部模型图片，利用拉东变换生成头部模型的投影，再通过逆拉东变换完成重建。

要求给出：

- 1) 给出原始头部模型图片和重建后的图片；
- 2) 改变投影角度的步长大小再次进行试验，分析不同的步长大小对重建结果的影响。

### 八、图像编码（第 9 章）

#### 1. 哈夫曼编码

实现对“基本题”目录下“Lena.bmp”图像的哈夫曼编码；

#### 2. 香农-法诺编码

实现对“基本题”目录下“Lena.bmp”图像的香农-法诺编码；

要求给出：

1) 分别给出哈夫曼编码和香农-法诺编码后每个灰度值的概率值及每个灰度值对应的相应编码及码字长度，比如：灰度值为 72，概率值为 0.006409，哈夫曼编码为 1101101，码字长度为 7；

2) 比较这两种编码，即给出这两种编码的图像信息熵，平均码字长及编码效率。

## 九、图像变换（第 10 章）

### 1. 离散余弦变换

实现对“基本题”目录下“Lena.bmp”的离散余弦变换；

### 2. 小波变换

实现对“基本题”目录下“Lena.bmp”的 3 级小波变换；

要求给出：

1) 给出离散余弦变换的结果，并通过结果分析说明该变换的特点；

2) 给出 3 级小波变换的结果，并通过结果分析说明该变换的特点。

## 十、预测编码（第 11 章）

### 1. 不同预测器的对比

分别用教材式(11.3.20)~式(11.3.23)的四个预测器，结合德尔塔 2 级量化器，实现对“基本题”目录下“Lena.bmp”的预测编码及解码。

### 2. 不同量化器的对比

采用教材式(11.3.20)的预测器，分别采用三种不同的量化器级数 5、9 和 17，实现对“基本题”目录下“Lena.bmp”的预测编码及解码。

要求给出：

1) 给出如教材“图 11.3.4(a)~(d)”所示的 4 种解码图像，并通过比较分析编码效果与预测器阶数的关系。

2) 给出如教材“图 11.3.6(a)~(c)”所示 3 种解码图像。并通过比较分析量化器对 DPCM 编码的影响。

## 十一、图像水印（第 12 章）

### 1. 单幅迭代混合

以“基本题”目录下“Lena.bmp”为载体图像，“Baboon.bmp”为隐藏图像，实现混合参数为 0.7 的迭代混合，并计算此时恢复图像的均方根误差；

### 2. 混合图像质量与混合参数的关系

以 0.05 为间隔，计算如教材图 12.6.2 和图 12.6.3 所示的曲线。

要求给出：

1) 给出 8.1 中要求的混合迭代图，并给出恢复图像的均方根误差

2) 给出混合图像质量与混合参数的关系曲线图，并分析说明混合参数与图像隐藏效果的关系

## 十二、彩色图像处理（第 13 章）

### 1. 彩色模型

将“基本题”目录下原始彩色图像“Lena\_color.bmp”从 RGB 空间转换到 HSI 空间；

### 2. 伪彩色处理

使用上述转换后的 I 通道图像，自选变换函数，进行伪彩色处理；

### 3. 饱和度增强

对原始图像的 S 通道图像进行饱和度增强；

要求给出：

- 1) 分别给出原始彩色图像在 RGB 空间和 HIS 空间中的 3 幅单通道图像;
- 2) 给出伪彩色处理的效果图;
- 3) 对比原始图像与饱和度增强后的彩色图像。

### 十三、多尺度图像处理 (第 15 章)

#### 1. 高斯金字塔

利用 (15.2.6) 公式所示的双线性滤波器组成的  $5 \times 5$  的高斯平滑模板对“基本题”目录下“Lena.bmp”图像进行 3 层高斯金字塔分解;

#### 2. 图像重建

利用上一个步骤中得到的金字塔对图像进行重建。

要求给出:

给出 0 到 3 层高斯金字塔图像、重建过程中 0 到 2 层的拉普拉斯图以及重建后的图像。

## 综合题

### 一、超分辨率

超分辨率 (super-resolution) 是一种可以将较小尺寸图像放大并增加其分辨率的技术。根据所用低分辨率图像的数量, 超分辨率技术可分为基于单幅图像的方法和基于多幅图像的方法。本题对前者展开研究。

教材 15.5.5 节介绍了“基于稀疏表达的超分辨率重建”算法。该算法借助稀疏表达, 利用一一对应的高分辨率图像块 (patch) 和低分辨率图像块进行词典学习, 对低分辨率图像进行稀疏编码后, 利用词典重建得到高分辨率图像。

请阅读参考文献[1], 对“基于稀疏表达的超分辨率重建”算法进行理解, 并实现算法的简化版本。

#### 任务:

1. 阅读参考文献, 结合自己的理解, 在大作业实验报告中简要地回答以下问题
  - 1) 为什么说超分辨率重建是不适定问题 (ill-posed problem)? 该算法用到了哪些先验知识 (prior knowledge) 和约束 (constraint)?
  - 2) 在 2.1 节中, 式 (8) 在式 (6) 的基础上, 加入了正在处理的图像块与已经完成重建的图像的重叠部分, 这一步骤的目的是什么?
  - 3) 2.2 节介绍了全局重建约束 (global reconstruction constraint), 以改进 2.1 节的结果, 这一步骤的目的是什么?
  - 4) 写出式 (6) 中  $F$  的表达式。
  - 5) 参数  $\lambda$  取值不合理会对结果造成什么影响?
2. 根据参考文献中的式 (6), 实现该算法的简化版本 (即不考虑式 (8) 和 2.2 节的内容)。在“综合--超分辨率”目录下的图像, 以及你自己收集的两幅图像上进行测试, 并对算法进行分析和讨论。

#### 要求:

1. 附件中提供的测试图片为原始尺寸, 请自行降采样, 作为算法的输入图像。
2. 上传实验过程图像, 包括: 原图, 降采样图, 超分辨率图。

#### 提示:

- a) 超分辨率算法对图像的亮度分量 (illuminance component) 进行, 而图像的其他分量可以用双三次插值 (bicubic interpolation) 直接放大尺寸。可以将图像从 RGB 编码转换为 YCbCr 编码, 其中 Y 为颜色的亮度分量, Cb 和 Cr 分别为蓝色和红色的色度分量。
- b) 依照参考文献, 将低分辨率图像的尺寸放大为原先的 3 倍。低分辨率图像块的尺寸为 3

×3，相应地，高分辨率图像块的尺寸为 9×9。

c) 低分辨率图像块特征的字典  $FD_l$  和高分辨率图像块的字典  $D_h$  已在附件中提供。字典  $FD_l$  和字典  $D_h$  各有 1022 个向量。请注意，字典  $FD_l$  中的向量对应低分辨率的图像块特征，而非原始低分辨率图像块。根据参考文献第 4 节，需要先将原始低分辨率图像块（尺寸 3×3）用双三次插值上采样（尺寸 6×6），再提取特征。请注意，提取特征（计算卷积）时，滤波器会超出图像块的边界，超出的部分请自行处理，合理即可。字典  $FD_l$  中，每个特征向量的维度为 144，其中前 36 维对应第一个滤波器在低分辨率图像块第 1 列至第 6 列上卷积的结果，以此类推。字典  $D_h$  中，每个向量的维度为 81，对应高分辨率图像块的第 1 列至第 9 列。

#### 参考文献：

[1] Yang J, Wright J, Huang T, et al. Image super-resolution as sparse representation of raw image patches[C]//2008 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. IEEE, 2008: 1-8.

## 二、视频背景提取/滤除

背景提取与滤除是许多视频处理任务的主要预处理步骤。通过这一操作能够从视频中提取出前景目标，从而达到提取感兴趣区域/目标检测、降低后续计算量的目的。示例如图 1 所示。OpenCV 已经实现了几种非常容易使用的算法。



图 1 视频背景提取/滤除示例

#### 任务：

1. 调研目前有哪些常用的背景提取/滤除的算法，并介绍其基本原理。
  2. 用帧差法检测视频中的运动目标（参考教材 14.3.1 节），得到二值图 Differ1，然后用中值滤波滤除噪声得到 Differ2。
  3. 用帧平均法（参考教材 14.4.1 节）提取视频的背景图 AverageB、前景分割图 AverageS。
  4. 用 MOG<sup>[1]</sup> (Gaussian Mixture-based Background/Foreground Segmentation Algorithm) 算法，提取视频的背景图 MogB 与前景分割图 MogS。
  5. (可选)用 ViBe<sup>[2,3]</sup> 算法提取视频的背景图 VibeB 与前景分割图 VibeS。
  6. 分析以上几种背景提取/滤除算法的优缺点。
- PS: 实验数据用“综合—背景提取”目录下的视频或图像序列。

#### 要求：

1. 实验报告中包含文献调研结果，主要方法的基本原理介绍，任务中算法的优缺点分析。
2. 上传实验过程图：原图，Differ1, Differ2, AverageB, AverageS, MogB, MogS, (VibeB, VibeS)。每种过程图只需上传一幅，原图与过程图要有对应关系，如图 1 所示。

#### 参考文献：

[1] KaewTraKulPong P, Bowden R. An improved adaptive background mixture model for real-time

tracking with shadow detection[M]//Video-based surveillance systems. Springer, Boston, MA, 2002: 135-144.

[2] Barnich O, Van Droogenbroeck M. ViBe: A universal background subtraction algorithm for video sequences[J]. IEEE Transactions on Image processing, 2011, 20(6): 1709-1724.

[3] Van Droogenbroeck M, Paquot O. Background subtraction: Experiments and improvements for ViBe[C]//2012 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition workshops. IEEE, 2012: 32-37.

### 三、图像修补

图像修补是生活中常用到的图像处理技术,如从图像中去除噪声、文字、及特定景物等,如图 2 所示。



图 2 图像修补示例图

**任务：**在“综合—图像修补”中任选一图，用教材 6.4.2 节的结合稀疏表达的方法去除场景中的人（及其附属物）。

1. 制作填充标记图 `img_mark`，将场景中的人及其附属物标记为填充区（可用计算机“画图”功能制作）。

2. 制作掩码图 `mask`（二值图，填充区像素值为 0，保留区域像素值为 1）。

3. 用中值滤波优化掩码图，得到新掩码图 `Mask`。

4. 区域填充。

4.1 将原始图按 RGB 通道划分为三个单通道图像：`r`，`g`，`b`。

4.2 对每个通道分别执行基于稀疏编码的图像填充（代码参考[2]），得到填充图 `r_`，`g_`，`b_`。

4.3 通道合并。由 `r_`，`g_`，`b_` 得到填充结果图 `img_inpainted`。

**要求：**

1. 上传实验过程图像，包括：`img_mark`，`mask`，`Mask`，`r`，`g`，`b`，`r_`，`g_`，`b_`，`img_inpainted`。

2. 分析算法优缺点、执行掩码图优化的必要性。

**参考文献：**

[1] Shen B, Hu W, Zhang Y, et al. Image inpainting via sparse representation[C]//2009 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. IEEE, 2009: 697-700.

[2] <https://dictlearn.readthedocs.io/en/latest/algorithms.html#inpaint>