



图像增强

对图像中包含的亮度和色彩等信息进行增强，或者将这些信息变换成其他形式的信息等，通过各种手段来获得清晰图像的方法称为图像增强（image enhancement）。

- **不以图像保真为准则，**
- **有选择性地突出某些对人或者机器分析有意义的信息，抑制无用信息，提高使用价值。**

—— “化妆” ！



Can AI help in screening Viral and COVID-19 pneumonia?

图像：X-ray，每个类别有约2500张图像，用于训练。

方法：评估AlexNet, ResNet18, DenseNet201和SqueezeNet这四个网络。

结果：用**图像增强**后SqueezeNet最好，准确率达到98.3%，不用**图像增强**DenseNet201最好，准确率96.7%和96.1%

Discussion

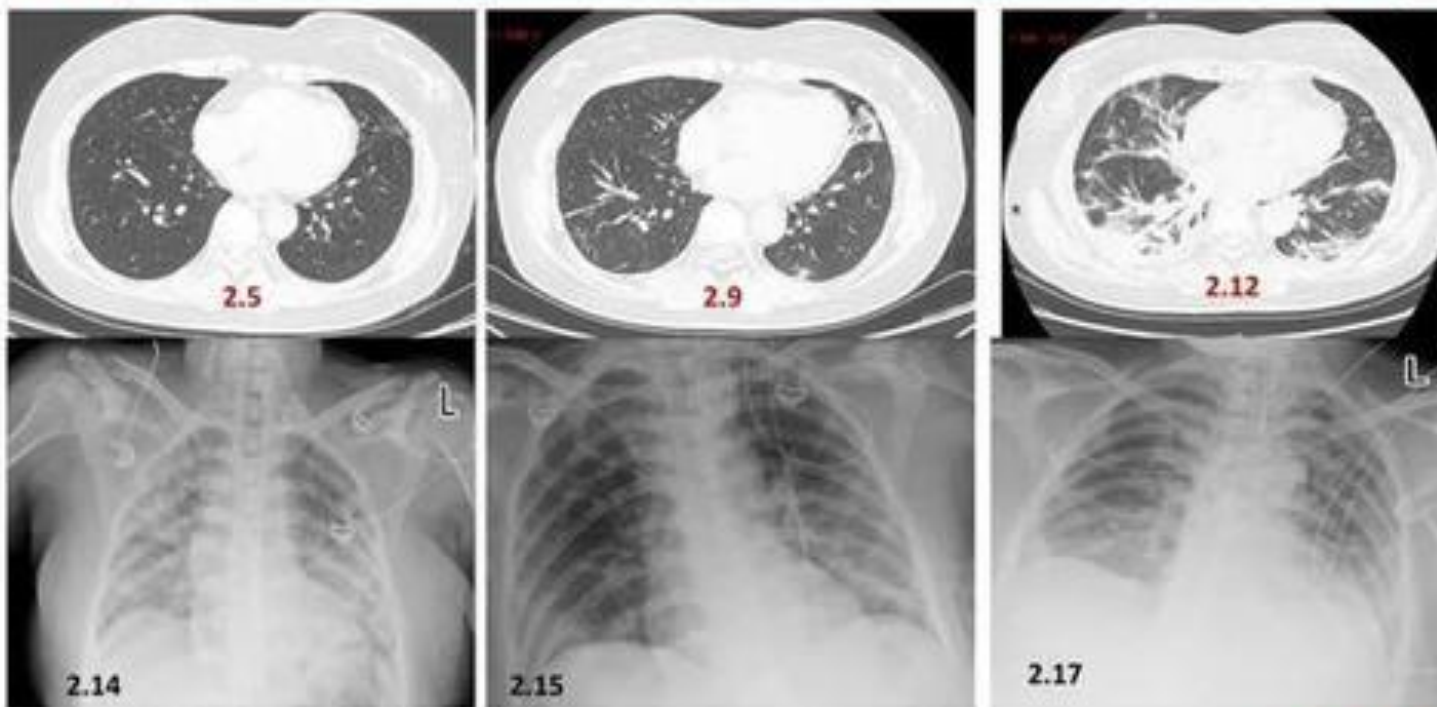
利用X-ray的认为它成本更低成像更快

经常用到的技术：**图像增强**

难点：其它肺炎被识别成新冠的可能性较高。



高风险暴露人群筛查-3



45岁, 女性, 腹泻, 发热38.2°C, RT-PCR (+), CT表现不典型

张笑春, 医学影像科 (H) 武汉大学中南医院
ZHANG XIAOCHUN, DEPARTMENT OF MEDICAL IMAGING, WUHAN UNIVERSITY ZHONGNAN HOSPITAL



疑似病例典型征象之二

- 罹患多种基础性疾病且机体自身状态差老年患者双肺弥漫性网格或蜂窝样间质改变、以双肺下叶为著



83岁,女,发热(最高体温达38.8℃)、咳嗽、畏寒,伴咽痛、干咳1周,胸闷和气短,冠心病、高血压、糖尿病

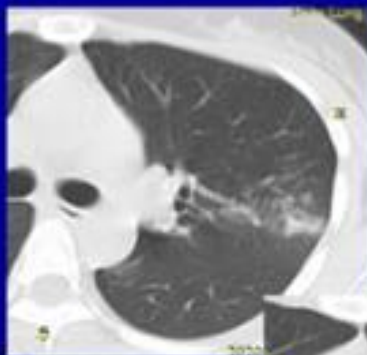
2020-3-5

张笑春,医学影像科 (H) 武汉大学中南医院
ZHONGNAN HOSPITAL OF WUHAN UNIVERSITY

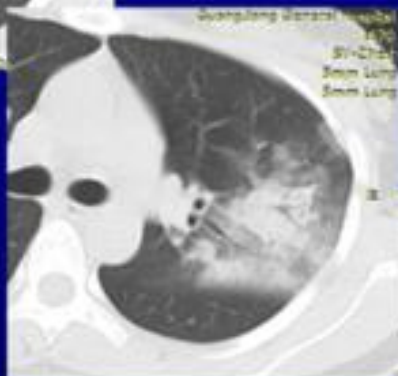


图像增强

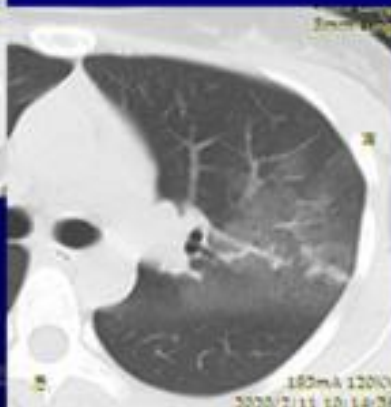
细菌感染变化—磨玻璃-密度增高-磨玻璃影



20-2-02



20-2-06



20-2-11

38/45







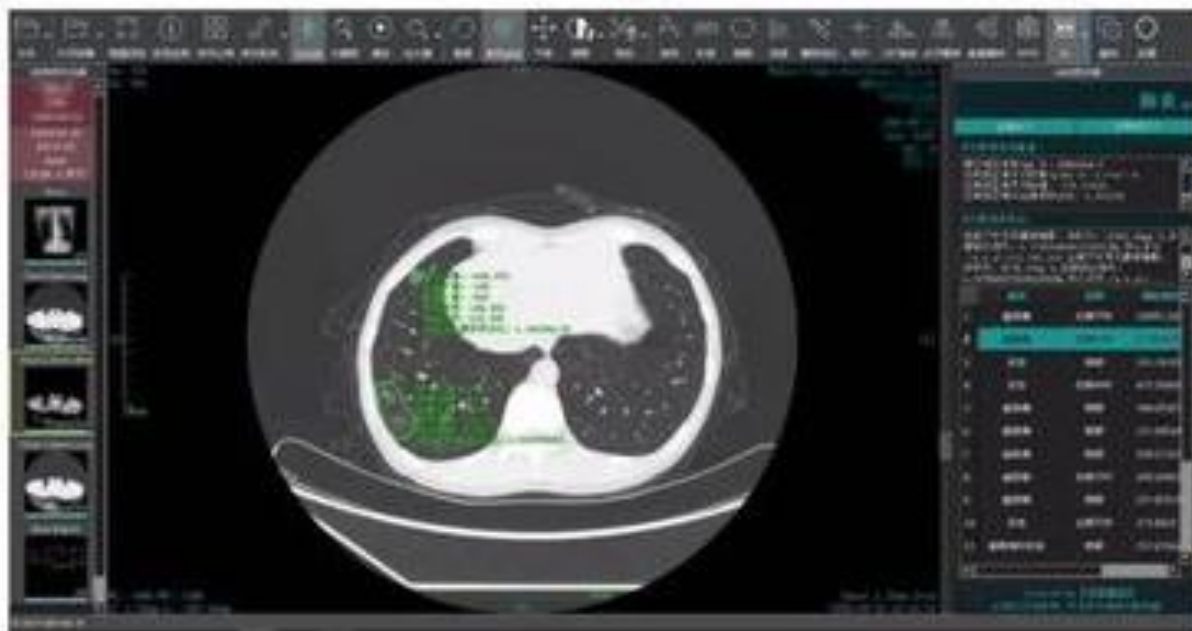
中国地质大学

China University of Geosciences

图像增强

新冠肺炎CT-人工智能(AI)阅片

运用人工智能阅片软件与系统，为2000多位病人进行了智能阅片，15秒左右出具智能分析结果，**准确率高达90%以上。**





中国地质大学
China University of Geosciences

图像增强



图像增强的方法：

- 空(间)域法 (in spatial domain)
- 频域法 (in frequency domain)



第3章 空域图像增强

空域：是指由像素组成的空间，也称**图像域**。

空域增强：指直接作用于像素改变其特性的增强方法。

具体的增强操作可仅定义在**每个像素位置** (x, y) 上，此时称为**点操作**；

增强操作还可定义在每个 (x, y) 的某个**邻域上**，此时常称为**模板操作**或**邻域操作**。



第3章 空域图像增强

- **点操作**：可通过逐一将原始图像在 (x, y) 的 f 映射到新灰度 g 实现，也可通过对原始图像的直方图进行修正来实现。
- **模板操作（邻域操作）**：主要通过设计模版系数来实现不同的增强操作。
- **全局运算**：在整个图像空间域进行的运算，比如直方图调整法。



第3章 空域图像增强

3.1 灰度映射

3.2 图像运算

3.3 直方图修正

3.4 空域滤波

点操作

模版操作



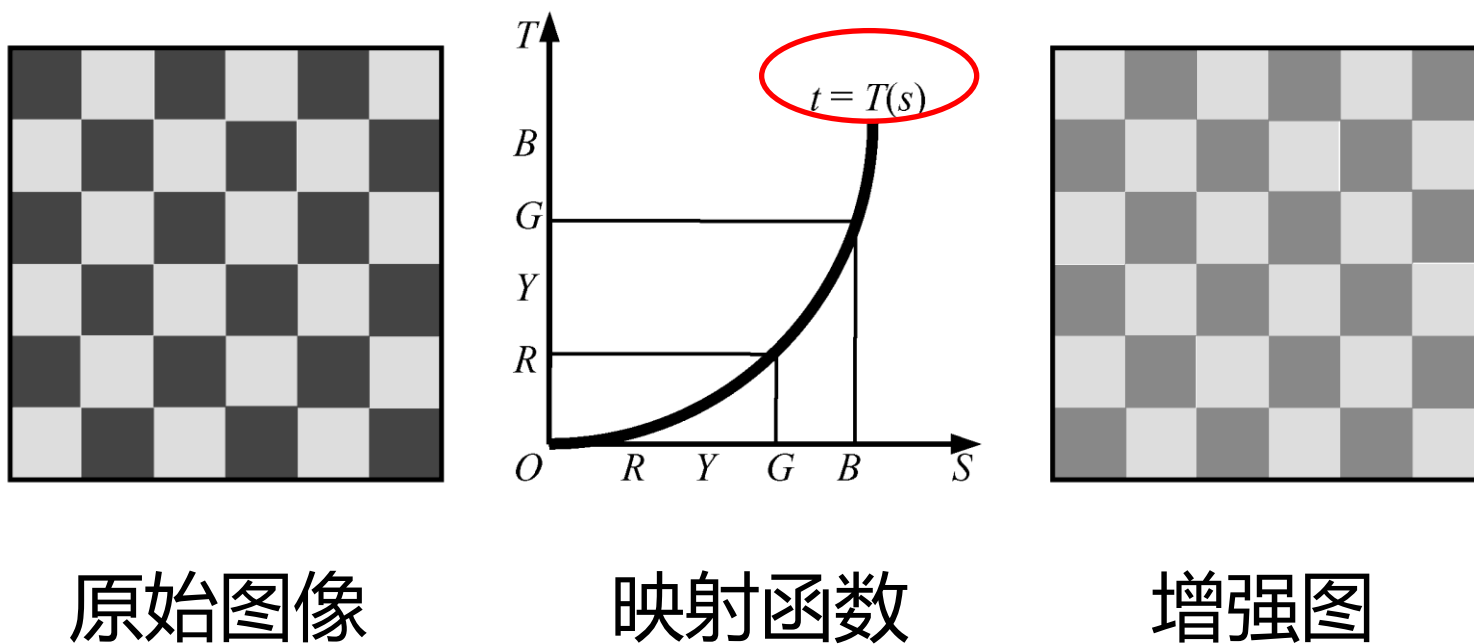
1. 灰度映射原理

灰度映射是一种基于图像像素的点操作。通过改变所有或者部分像素的灰度来达到改善图像视觉效果的目的。—— **“灰度变换”**！

实际中是根据增强的目的设计相应的**映射函数**（**变换函数**），利用此函数将原始图像中的每个像素的灰度值转化成另一灰度值输出。

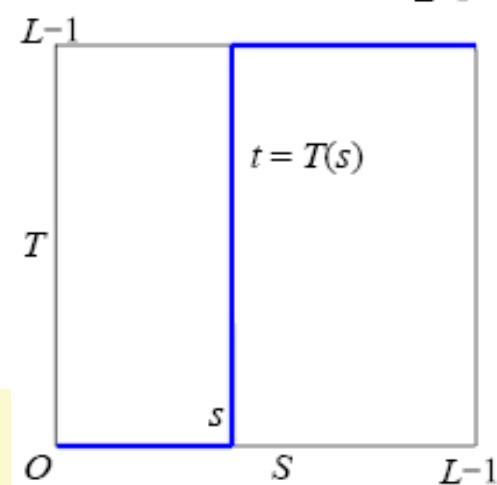
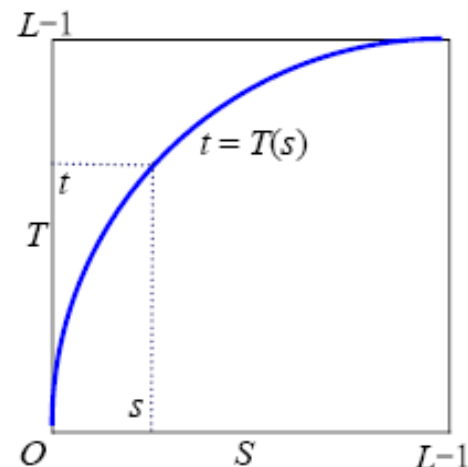
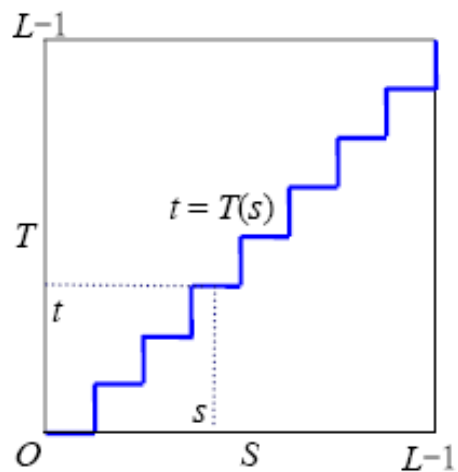
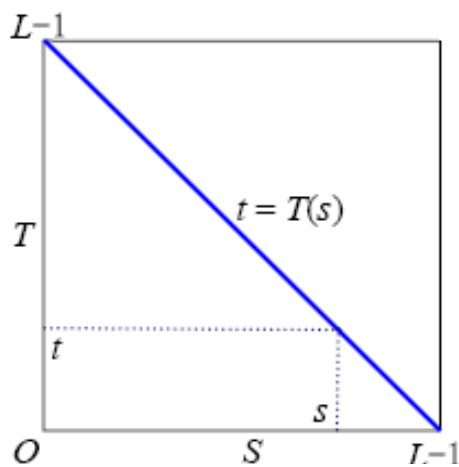


1. 灰度映射原理

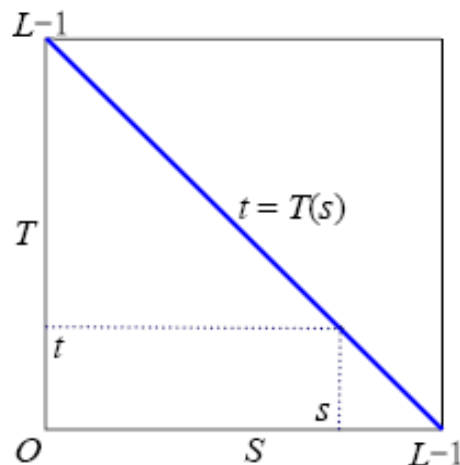


关键是根据增强要求设计映射函数。

2. 灰度映射示例

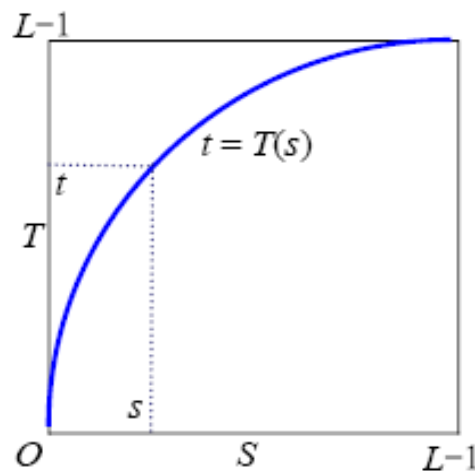


图像求反：将原图像灰度值翻转。



动态范围压缩： 目标与增强对比度相反。

Tip：当原图的灰度动态范围太大超出显示设备的允许范围时，采用此方法。“对数形式”！

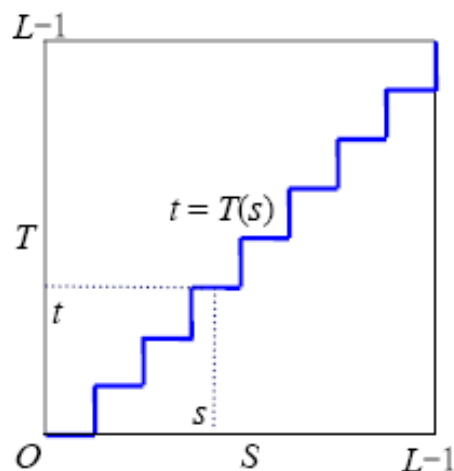




第3章 空域图像增强

第一节 灰度映射

阶梯量化：目标与增强对比度相反——将图像灰度分阶段量化成较少的级数，获得数据量压缩的效果。



幅度分辨率发生了什么变化？？

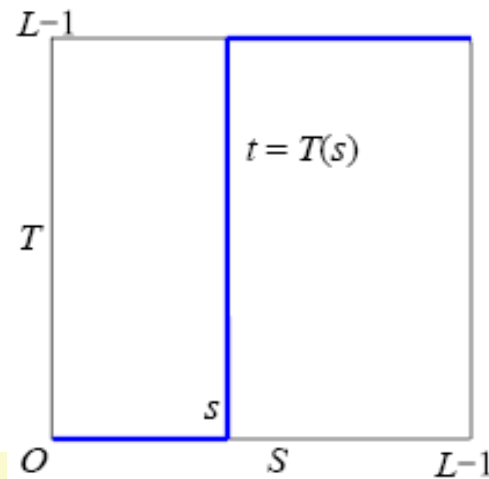


第3章 空域图像增强

第一节 灰度映射

阈值分割：增强图只剩下2个灰度级，对比度最大但细节全丢失了。

将图像分成灰度值大于 s 的部分和小于 s 的部分。
只剩下两个灰度级，效果是什么？





第3章 空域图像增强

第一节 灰度映射

实例1.用线性变换法增强灰度图像：



直方图？

是灰度级的函数，表示图像中具有某种灰度级的像素的个数，反映了图像中某种灰度出现的频率。

实例1.用线性变换法增强灰度图像：



实例2.用对数变换法缩小灰度图像动态范围：



算术运算：两幅输入图像之间进行的**点对点**的**加、减、乘、除**运算后得到输出图像的过程。
一般用于灰度图像。

两个像素 p 和 q 之间的基本算术运算包括：

- (1) 加法：记为 $p + q$
- (2) 减法：记为 $p - q$
- (3) 乘法：记为 $p * q$
- (4) 除法：记为 $p \div q$

算术运算：两幅输入图像之间进行的**点对点**的**加、减、乘、除**运算后得到输出图像的过程。

设：输入图像为 $A(x,y)$ 和 $B(x,y)$ ，输出图像为 $C(x,y)$

$$C(x,y) = A(x,y) + B(x,y)$$

$$C(x,y) = A(x,y) - B(x,y)$$

$$C(x,y) = A(x,y) * B(x,y)$$

$$C(x,y) = A(x,y) / B(x,y)$$

第3章 空域图像增强

第一节 图像运算

$$C(x,y) = A(x,y) * B(x,y)$$

$$C(x,y) = A(x,y) / B(x,y)$$



算术运算使用以下截取规则使运算结果符合数据范围的要求：

超出数据范围的整型数据将被截取为数据范围的极值，分数结果将被四舍五入。【例如】如果数据类型是uint8，那么大于255的结果(包括无穷大)将被设置为255。



● 图像的加法运算

函数调用格式: $Z = \text{imadd}(X, Y)$

图像+图像, 图像+常数

● 图像的减法运算

a. 函数调用格式: $Z = \text{imsubtract}(X, Y)$

含义: 从数组 X 中的每个元素中减去数组 Y 中的对应元素, 并在输出数组 Z 的对应元素中**返回差**。

b. 函数调用格式: $Z = \text{imabsdiff}(X, Y)$

含义: 从数组 X 中的每个元素中减去数组 Y 中的对应元素, 并在输出数组 Z 的对应元素中**返回绝对差**。

用途: 检测图像变化及运动物体

● 图像的乘法运算

函数调用格式: $Z = \text{immultiply}(X, Y)$

- **实现灰度值缩放**: 一幅图像乘以一个常数, 如果大于1, 那么将增强图像的亮度, 如果小于1则会使图像变暗。
- **实现掩模操作**, 即屏蔽掉图像的某些部分。

● 图像的除法运算

函数调用格式: $Z = \text{imdivide}(X, Y)$

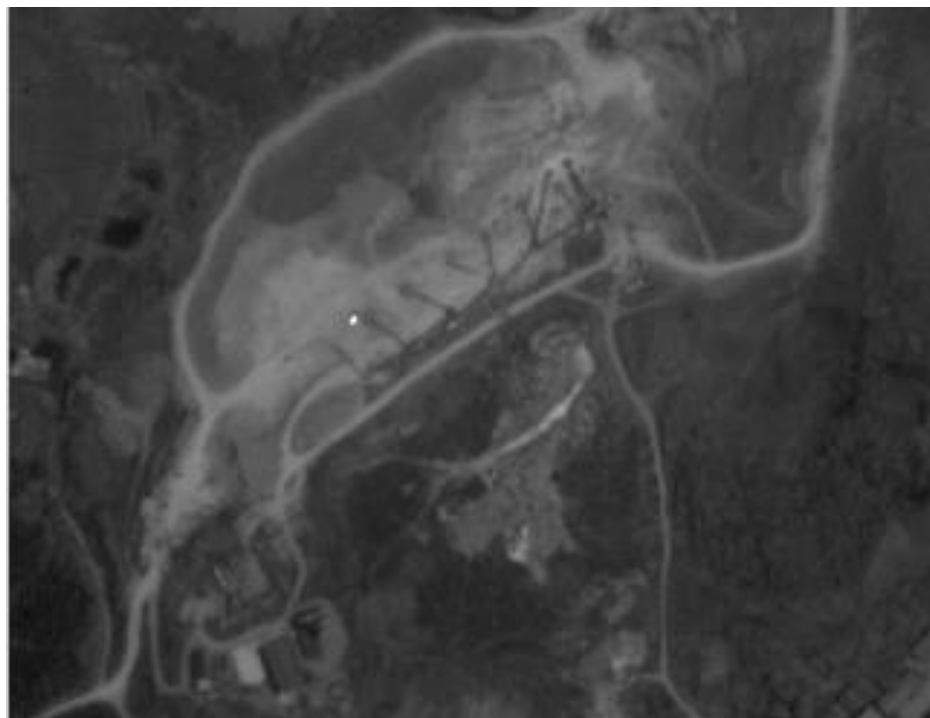
- 校正成像设备的非线性影响, 在CT图像处理中常常用到。
- 检测两幅图像间的区别——相应像素值的变化比率, 而不是每个像素的绝对差异, 因而称为比率变换。



第3章 空域图像增强

第二节 图像运算

作业：对jx图像实现图像加、减、乘法操作。
注意：只需要实现“图像+常数”。





第3章 空域图像增强

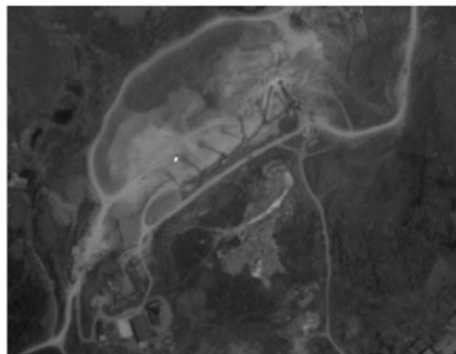
图像处理与分析作业

一、实验目的

理解基本的图像运算。

二、实验内容

对 jx 图像实现图像加、减、乘法操作。注意：只需要实现“图像+常数”。



三、实验代码、结果、分析

(一) 代码

(二) 实验结果

(三) 结果分析

(四) 收获与体会

第二节 图像运算

逻辑运算

直接用于二值（0和1）图像。

两个像素 p 和 q 之间的基本逻辑运算包括：

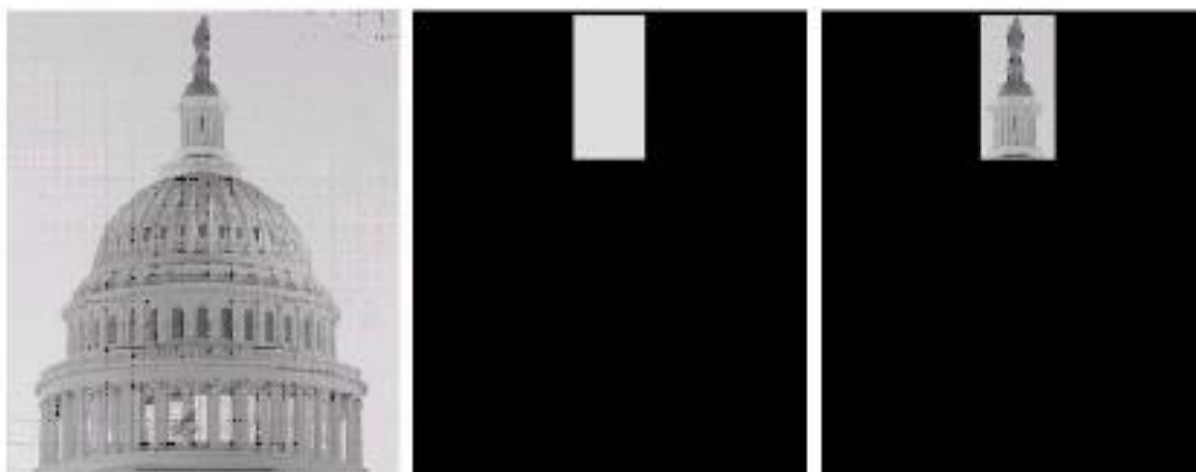
- (1) 与 (AND) : 记为 $p \text{ AND } q$
- (2) 或 (OR) : 记为 $p \text{ OR } q$
- (3) 补 (COMPLEMENT, 也常称反或非) : 记为 $\text{NOT } q$ (也可写为)

与运算的定义 $g(x,y) = f(x,y) \wedge h(x,y)$

举例：求两个子图像的相交子图



启发：模板运算：提取感兴趣的子图像



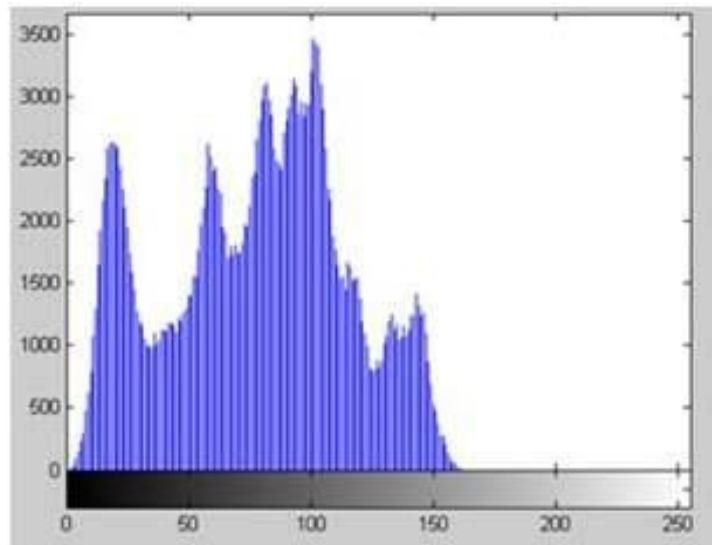
或 运算的定义 $g(x,y) = f(x,y) \vee h(x,y)$

举例：合并子图像

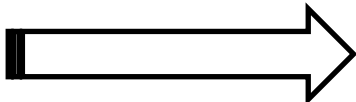


灰度图像直方图 (Gray histogram) 定义

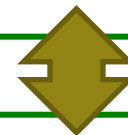
将数字图像中的所有像素，按照灰度值的大小，统计其出现的频率。是灰度级的函数，表示图像中具有某种灰度级的像素的个数，反映了图像中某种灰度出现的频率。



可以观察该直方图了解需要如何调整亮度分布。

直方图修正? 

直方图均衡化



直方图规定化

图像的**灰度直方图**是一个1-D的离散函数:

$$h(f) = n_f \quad f = 0, 1, \dots, L-1$$

直方图均衡化

- 一种典型的通过对图像的直方图进行修正来获得图像增强效果的自动方法。
- 用途：主要用于增强动态范围偏小的图像的反差。
- 基本思想：是把原始图的直方图变换为在整个灰度范围内均匀分布的形式，增加了像素灰度值的动态范围，从而达到增强图像整体对比度的效果。
- 更一般的（归一化的）概率表达形式

$$p(f) = n_f / n \quad f = 0, 1, \dots, L-1$$



直方图均衡化

把原始图的直方图变换为均匀分布的形式，需要确定1个增强/变换函数，它需要**满足2个条件**

- I. 它在范围内是1个单值单增函数，这是为了保证原图各灰度级在变换后仍保持原来从黑到白（或从白到黑）的排列次序。
- II. 如果设均衡化后的图像为 $g(x, y)$ ，则对 $0 \leq f \leq L - 1$ 应有 $0 \leq g \leq L - 1$ ，这个条件**保证变换前后图像的灰度值动态范围是一致的**。

直方图均衡化

满足上述2个条件并能将f中的原始分布转换为g中的均匀分布的函数关系，可由图像f(x, y)的累积直方图得到，从f到g的变换为

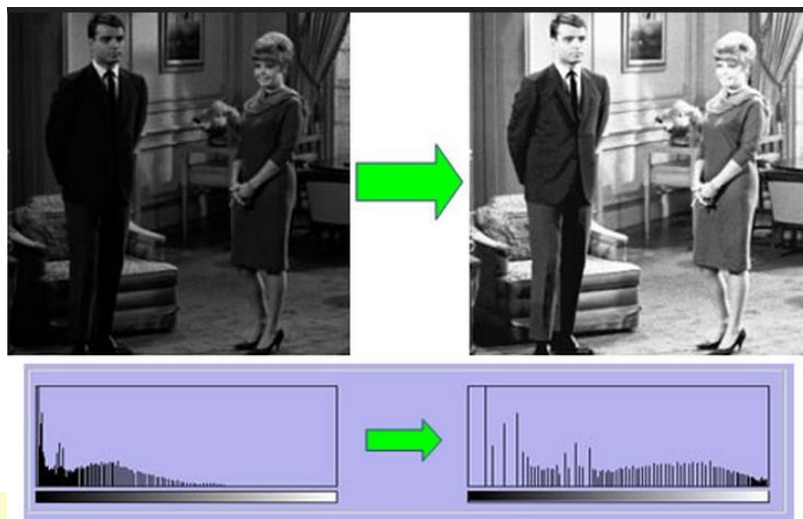
$$g_f = \sum_{i=0}^f \frac{n_i}{n} = \sum_{i=0}^f p(i) \quad f = 0, 1, \dots, L-1$$

Note: 实际中进行直方图均衡化计算

直方图均衡化函数

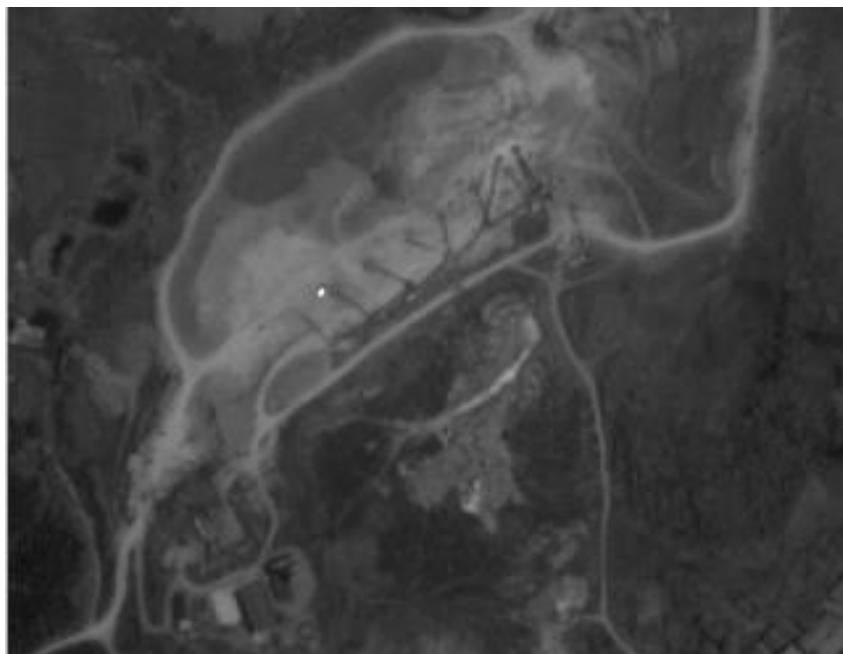
histeq();

直方图均衡化



处理后，图像变的清晰了；处理后的图像直方图分布更均匀了，在每个灰度级上图像都有像素点。

直方图均衡化实例分析：





直方图规定化/直方图匹配思想：

对一幅灰度图像进行灰度变换，使变换后的图像的直方图与另外给定的一幅图像的直方图相匹配（近似相同）。

直方图规定化是在均衡化的原理的基础上，通过建立原图和期望图像之间的关系，使原图的直方图匹配特定的形状，从而弥补直方图均衡的不具有交互作用的特性。



直方图规定化/直方图匹配思想：

对一幅灰度图像进行灰度变换，使变换后的图像的直方图与另外给定的一幅图像的直方图相匹配（近似相同）。

规定化使用的函数与均衡化相同，是histeq函数.

$[J,T]=\text{histeq}(I,hgram);$

将输入图像I处理为以指定向量hgram作为直方图的图像.

hgram在不同类型图像的取值范围不同.



直方图规定化/直方图匹配

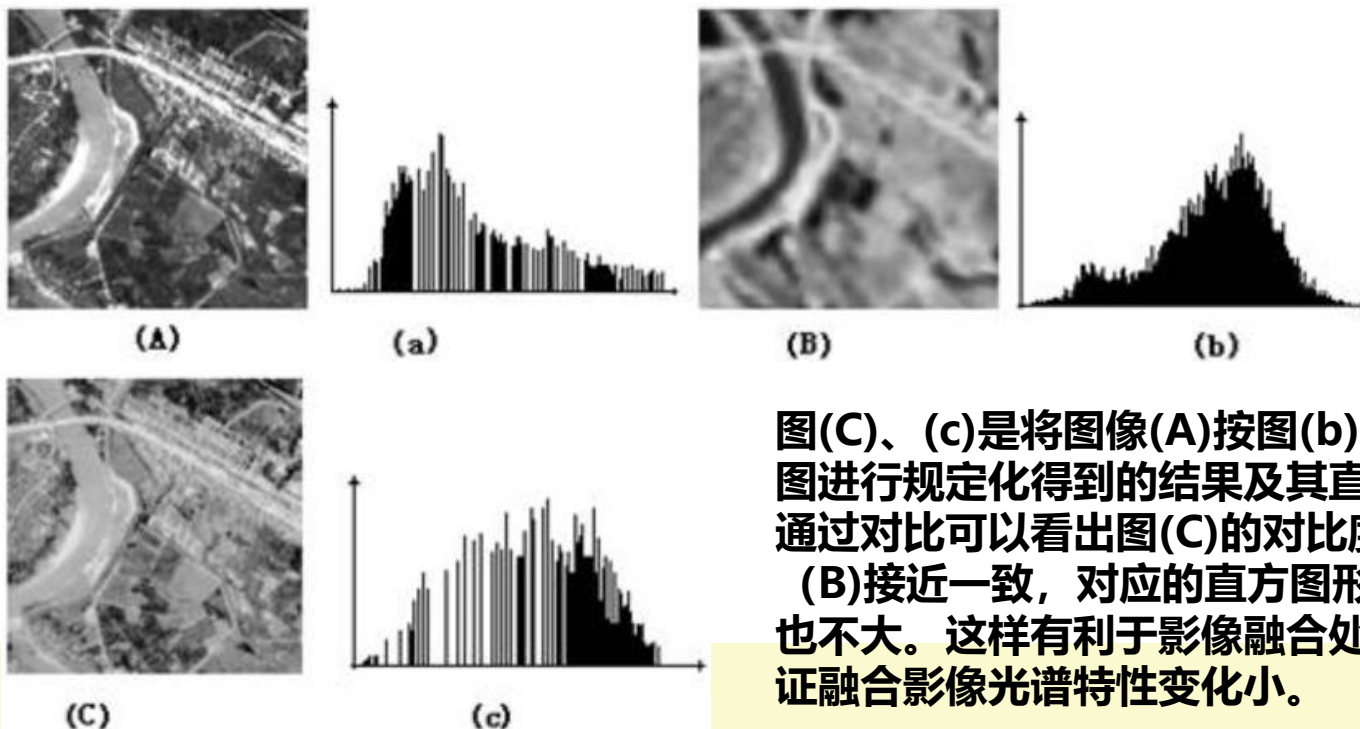
用户可以指定需要的规定化函数来得到特殊的增强功能。主要有3个步骤：

- (1) 对原始图的直方图进行灰度均衡化
- (2) 规定需要的直方图，并计算能使规定的直方图均衡化的变换
- (3) 将第1个步骤得到的变换反转过来



直方图规定化

利用直方图规定化方法进行图像增强的主要困难在于要构成有意义的直方图。使其增强效果有利于人的视觉判读或者便于机器学习。



图(C)、(c)是将图像(A)按图(b)的直方图进行规定化得到的结果及其直方图。通过对比可以看出图(C)的对比度同图(B)接近一致，对应的直方图形状差异也不大。这样有利于影像融合处理，保证融合影像光谱特性变化小。



什么叫空域滤波？ 指利用像素级像素邻域组成的空间进行图像增强的方法。

“滤波”：是将信号中特定波段频率滤除的操作。**借助了频域的概念。**

空间滤波是在图像空间通过**邻域操作**完成的。

邻域操作的实现方式？

邻域操作常借助**模版运算**来实现。



第3章 空域图像增强

第四 空域滤波

图像增强方法：空域图像增强和频域图像增强
而本节所要介绍的均值滤波，中值滤波，拉普拉斯变换等就是空间域图像增强的重要内容。

领域操作的实现方式？

使用空域模板进行的图像处理，被称为空域滤波。模板本身被称为空域滤波器。空域滤波的机理就是在待处理的图像中逐点地移动模板，滤波器在该点地响应通过事先定义的滤波器系数与滤波模板扫过区域的相应像素值的关系来计算。

模版？（窗口）

小图像

1	1	1
1	1	1
1	1	1

模版运算的基本思路？

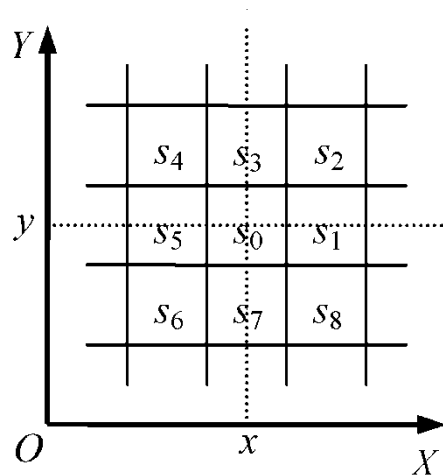
将赋予某个像素的值作为它本身灰度值和其相邻像素灰度值的函数。



模版运算最常用的是模版卷积，主要步骤：

- (1) 将模板在图中漫游，并将模板中心与图中某个像素位置重合
- (2) 将模板上的各个系数与模板下各对应像素的灰度值相乘
- (3) 将所有乘积相加（为保持灰度范围，常将结果再除以模板的系数个数）
- (4) 将上述运算结果（模板的输出响应）赋给图中对应模板中心位置的像素

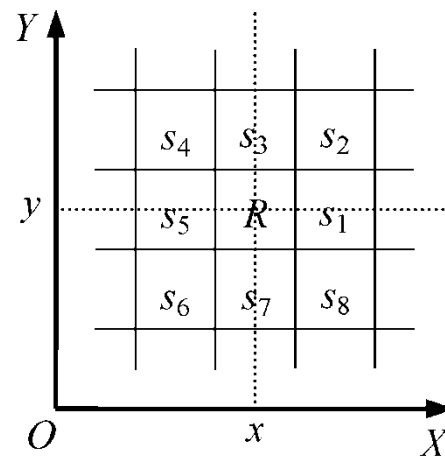
模版运算



(a)

k_4	k_3	k_2
k_5	k_0	k_1
k_6	k_7	k_8

(b)



(c)

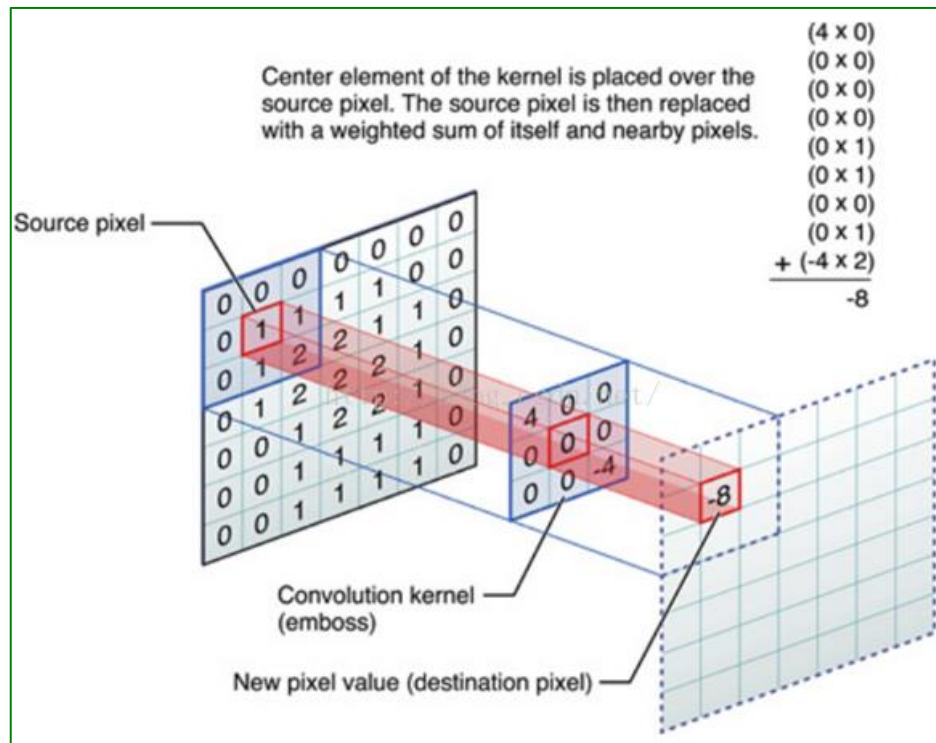
用3*3的模版进行空间滤波的示意图

模板的输出响应 R 为：

$$R = k_0 s_0 + k_1 s_1 + \cdots + k_8 s_8$$



模版运算



对原图像上模板的中心像素进行模板卷积所得的计算结果成为输出图像中的点。

新图像是通过模板卷积从原图像计算得到的。

由于模板不能超出图像，而无法计算新图像边界点的新值，所以新图像比原始图像小。

图像噪声

定义：妨碍人的感觉器官对所接收的信源信息理解的因素，在理论上可以定义为不可预测，只能用概率统计方法来描述的随机误差。

常见噪声：

1. 椒盐噪声 (salt & pepper noise) 是数字图像的一个常见噪声。

椒盐噪声是由图像传感器，传输信道，解码处理等产生的黑白相间的亮暗点噪声。



图像噪声

1. 椒盐噪声

是指两种噪声，一种是盐噪声（salt noise），另一种是胡椒噪声（pepper noise）。盐=白色，椒=黑色。前者是高灰度噪声，后者属于低灰度噪声。一般两种噪声同时出现，呈现在图像上就是黑白杂点。

2. 高斯噪声

高斯噪声是指它的概率密度函数服从高斯分布（即正态分布）的一类噪声。比如，**源于**电子电路噪声和有低照明度或高温带来的传感器噪声。

实例1：向图像加噪声



图像平滑

噪声的灰度与其周围的灰度之间有急剧的灰度差，造成了观察障碍。

一般把利用这种噪声的性质消除图像中噪声的方法称为图像平滑 (image smoothing) 。

Tip: 目标图像的边缘部分也具有急剧的灰度差。

关键问题: 如何把边缘部分与噪声部分区分开，只减少噪声。

Methods of image smoothing:

- in frequency domain: based on FFT and low filter.(Later Chapter 6)
- in spatial domain: based in mask convolution.

处理效果分类

(1) 平滑滤波器

减弱或消除图像中的**高频率**分量，但并不影响**低频率**分量。可用于消除图像中的噪声（噪声的空间相关性较弱，且对应较高的空间频率）；以及在提取较大的目标前去除太小的细节。

(2) 锐化滤波器

减弱或消除图像中的低频率分量，但不影响高频分量。可使图像反差增加，边缘明显。可用于增强图像中被模糊的细节或景物的边缘。

从数学形态上还可分成**线性的**和**非线性的**两类。

技术分类

(1) 线性滤波器

又可以分为高通，低通和带通滤波器。

(2) 非线性滤波器

非线性滤波器使用模板进行结果像素值的计算，结果值直接取决于像素邻域的值，而与线性乘积和无关。它包括中值滤波，最大最小值滤波器等等。

1. 线性平滑滤波器

可用模板卷积实现，它所用模板卷积的系数均为正值。





1. 线性平滑滤波器

输出响应是包含在滤波模板邻域内像素的简单平均值。因此这些滤波器也称为均值滤波器。它们指的都是低通滤波器。

均值滤波用邻域的均值代替像素值，减小了图像灰度的尖锐变化。由于典型的随机噪声就是由这种尖锐变化组成，因此均值滤波的主要应用就是减噪，即除去图像中不相干的细节，其中“不相干”是指与滤波模板尺寸相比较小的像素区域。但是图像边缘也是由图像灰度尖锐变化带来的特性，因而均值滤波总是存在不希望的边缘模糊的负面效应。



1. 线性平滑滤波器

邻域平均

用一个像素邻域平均值作为滤波结果。
此时滤波器模板的所有系数都取为1。
为保证输出图仍在原来的灰度值范围，
在算得R值后要将其除以模板系数的
总个数再行赋值。

k_4	k_3	k_2
k_5	k_0	k_1
k_6	k_7	k_8

1	1	1
1	1	1
1	1	1

➤ 除以9



第3章 空域图像增强

第四 空域滤波

邻域平均

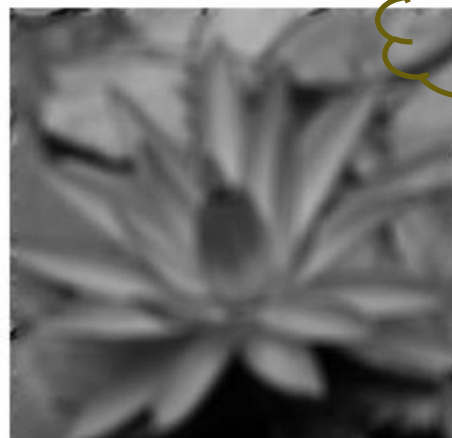
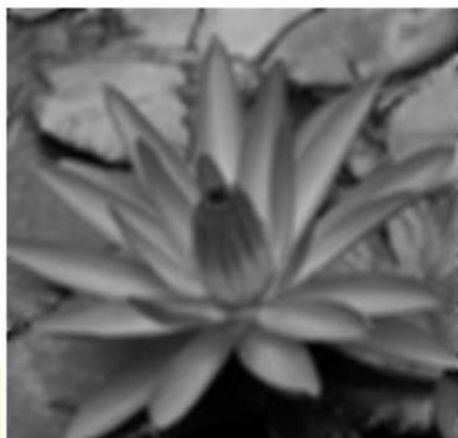
含噪声图像

3*3



9*9

5*5



1. 线性平滑滤波器

均值滤波器可以衍生出另一种特殊的加权均值滤波器，用不同的系数乘以像素，这样从权值上看，一些像素比另一些更重要。

如，处于模板中心位置的像素比其他任何像素的权值都要大，正交方向相邻的像素比对角项的权值大。

加权平均： 对不同位置的系数采用不同的数值

接近模板中心的系数可比较大，而模板边界附近的系数应比较小

根据高斯概率分布来确定各系数值

1	2	1
2	4	2
1	2	1

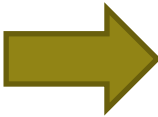
1	4	7	4	1
4	16	26	16	4
7	26	41	26	7
4	16	26	16	4
1	4	7	4	1

【例子】加权平均：

0	4	2	3	4
1	0	1	1	3
2	0	4	1	2
4	4	0	1	3
0	5	6	7	3

 $\frac{1}{4}$

0	1	0
1	1	1
0	1	0



0	4	2	3	4
1	2	2	2	3
2	3	2	2	2
4	3	4	3	3
0	5	6	7	3

0	4	2
1	0	1
2	0	4

计算步骤：先选取左上角这个区域，计算加权均值替换中心点0的值。原图像每个点对应值与滤波模版对应相乘求和取均值，依次往后计算其它8个点。

注意：1. 周围的像素值保持不变；2. 计算每个点的值时都应该按照原图像的灰度值计算；3. 计算结果四舍五入。

2. 线性锐化滤波器

利用对应微分的方法；模板仅中心系数为正而周围的系数均为负值。

典型的例子是拉普拉斯算子

0	-1	0	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1	8	-1
0	-1	0	-1	-1	-1



拉普拉斯算子数学原理

离散函数的导数退化成了差分，一维一阶差分公式和二阶差分公式分别为

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)$$

Laplace算子的差分形式：

分别对Laplace算子x, y两个方向的二阶导数进行差分就得到了离散函数的Laplace算子。在一个二维函数f(x, y)中，x, y两个方向的二阶差分分别为：

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$$

拉普拉斯算子数学原理

所以Laplace算子的差分形式为，

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y)$$

写成如下形式

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

注意：在上下左右四个90度的方向上结果相同，也就是说在90度方向上无方向性

拉普拉斯算子数学原理

为了让该其在45度的方向上也具有该性质，对其进行扩展定义为

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1



2. 线性锐化滤波



左图为原始图像；
右图为利用拉普拉斯模板锐化后图像

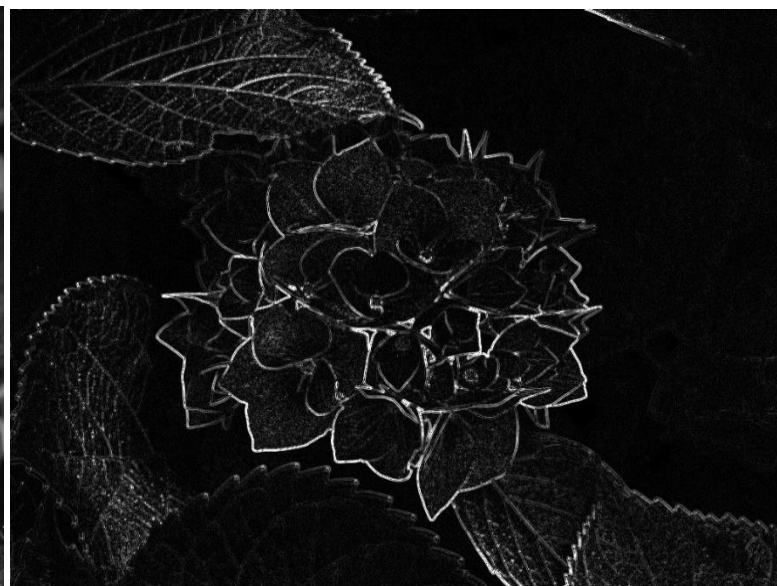
将原始图像通过拉普拉斯变换后增强了图像中灰度突变处的对比度，使图像中小的细节部分得到增强并保留了图像的背景色调，使图像的细节比原始图像更加清晰。

基于拉普拉斯变换的图像增强已成为图像锐化处理的**基本工具**。

拉普拉斯算子效果示意图



原图



拉普拉斯算子后图像



2. 线性锐化滤波器

利用对应微分的方法；模板仅中心系数为正而周围的系数均为负值。

典型的例子是拉普拉斯算子

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

当用这样的模板与图像卷积时，在灰度值是常数或变化很小的区域处，其输出为零或很小；在图像灰度值变化较大的区域处，其输出会比较大，即突出原图像中的灰度变化的部分，达到锐化的效果。



3. 非线性滤波器之中值滤波

它的响应基于图像滤波器包围的图像区域中像素的排序，然后由统计排序的结果决定的值代替中心像素的值。最常见的例子就是中值滤波器，它比小尺寸的线性平滑滤波器的模糊程度明显要低，对处理脉冲噪声（椒盐噪声）非常有效。

中值滤波器的主要功能是使用拥有不同灰度的点看起来更接近于它的邻近值，去除那些相对于其邻域像素更亮或更暗，并且其区域小于滤波器区域一半的孤立像素集。

3.非线性平滑滤波器

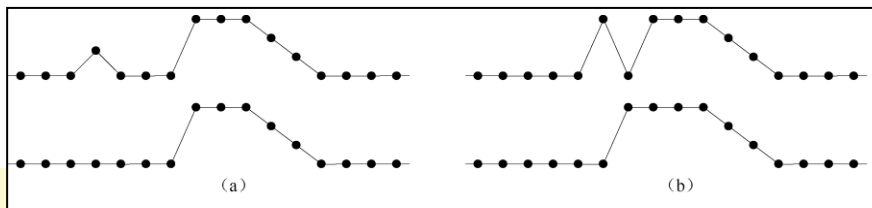
线性平滑滤波器的特征？

然而，利用非线性平滑滤波器在消除噪声的同时较好地保持图像的细节。最常用的为**中值滤波**。

1-D中值滤波原理

对模板覆盖的信号序列按数值大小进行排序，并取排序后处在中间位置的值。

$$g_j = \text{median} [f_{j-r}, f_{j-r+1}, \dots, f_j, \dots, f_{j+r}]$$



非线性平滑滤波器

2-D中值滤波原理

- (1) 将模板在图中漫游，并将模板中心与图中某个像素位置重合
- (2) 读取模板下各对应像素的灰度值
- (3) 将这些灰度值从小到大排成一行
- (4) 找出这些值里排在中间的一个
- (5) 将这个中间值赋给对应模板中心位置的像素

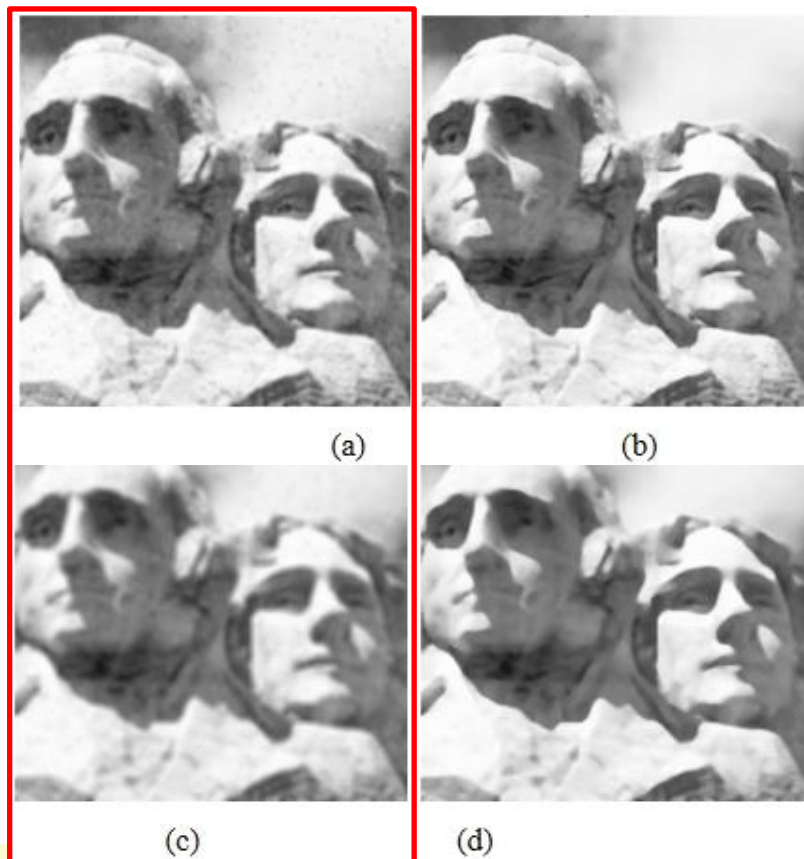


非线性平滑滤波器

2-D中值滤波原理

图(a)和(c)分别给出用 3×3 和 5×5 模板对同一幅噪声图进行邻域平均处理，而图(b)和(d)分别为用 3×3 和 5×5 模板进行中值滤波处理。

后者处理后图像的轮廓更加清晰。



非线性平滑滤波器

百分比滤波器

基于对模板所覆盖像素的灰度值的排序。

最大值滤波器：

$$g_{\max}(x, y) = \max_{(s, t) \in N(x, y)} [f(s, t)]$$

最小值滤波器：

$$g_{\min}(x, y) = \min_{(s, t) \in N(x, y)} [f(s, t)]$$

非线性锐化滤波器

锐化模板

利用微分可以锐化图像

-1		1
-1		1
-1		1

1	1	1
-1	-1	-1

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \quad \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T = [G_X \quad G_Y]^T$$

实际滤波中，常只使用这个矢量的幅度

$$|\nabla f_{(2)}| = \text{mag}(\nabla f) = [G_X^2 + G_Y^2]^{1/2}$$

非线性锐化滤波器

最大-最小锐化变化

将前面介绍的最大值滤波器和最小值滤波器结合使用！

它将一个模版所覆盖的区域里的中心像素值与该区域里像素的最大值和最小值进行比较，然后将中心像素值用与其接近的极值所替换。



如何考虑空域滤波处理时的图像轮廓边缘？

模板在原图像中移动的过程中，当模板的一条边与图像轮廓重合后，模板中心继续向图像边缘靠近，那么模板的某一行或列就会处于图像平面之外，此时最简单的方法就是将模板中心点的移动范围限制在距离图像边缘不小于 $(n - 1) / 2$ 个像素处，**但单处理后的图像比原始图像稍小。**

如果要处理整幅图像，可以在图像边缘以外再补上一行和一系列灰度为零的像素点。



如何用空域滤波去除离散点？

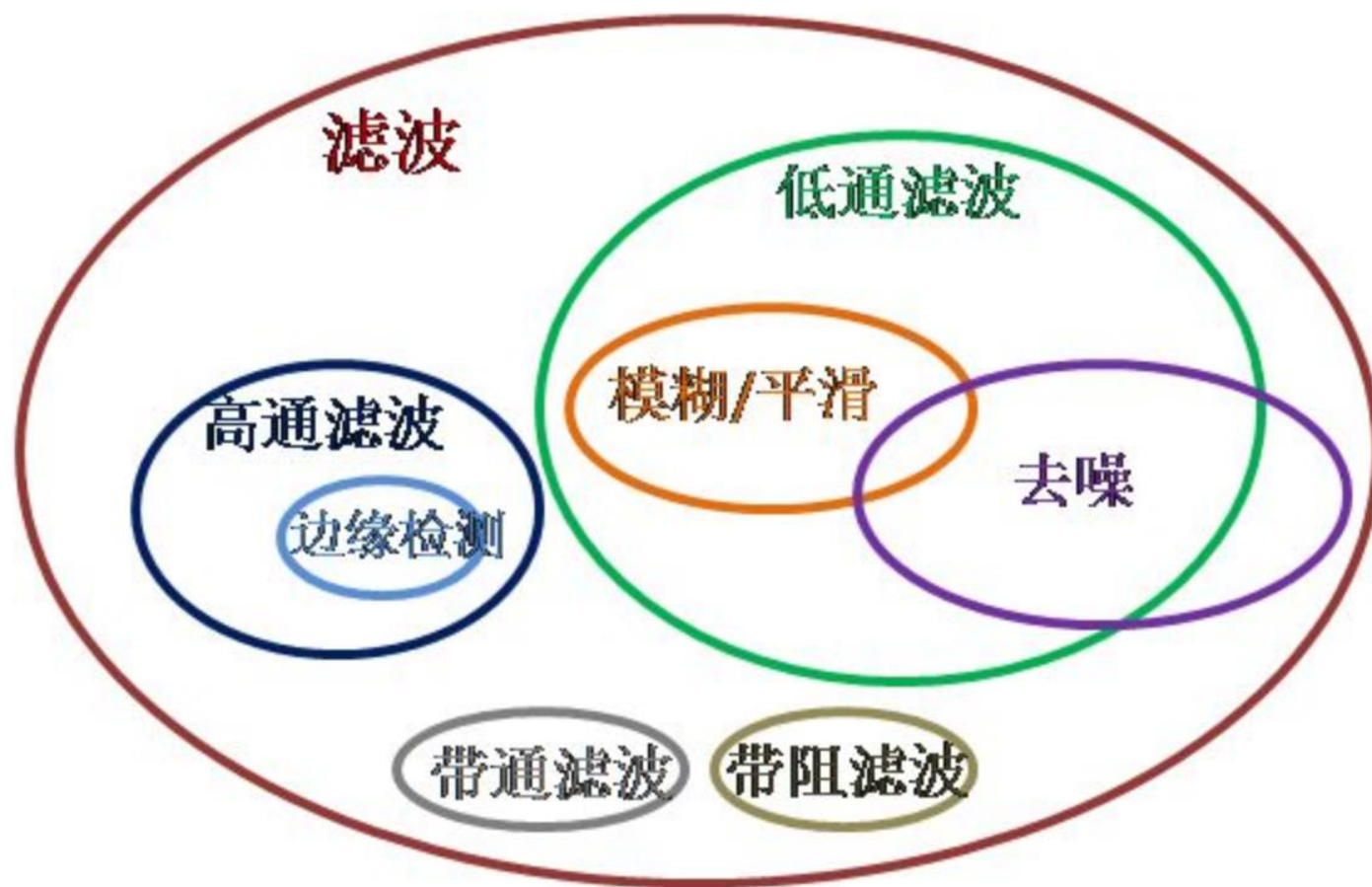
用前面提到的均值滤波，中值滤波等对去除一定特性的噪声会比较有效。

除此之外我们还可以用几何方法来去除离散噪声。考虑一幅二值图像，对每个黑点我们以递归的方法从上下左右以及左上、右上、左下、右下八个方向搜索连续的黑点，如果某个方向连续黑点的数目满足规定的长度，我们就认为该点不是离散点，否则认为该点是离散点而去除掉（把黑点改为白点）。



第3章 空域图像增强

第四 空域滤波





实例2：利用两个 3×3 模板的均值滤波器，对受高斯噪声干扰的图像进行平滑处理。

- filter2：对二维图像（灰度图）进行空间滤波。

课后：请分析加权系数模板的滤波效果优于系数均为1的 3×3 模板的滤波效果的原因！！！！



实例3： 分别利用1个 3×3 和 5×5 模板的均值滤波器，对受高斯噪声干扰的图像进行平滑处理。

- filter2：对二维图像（灰度图）进行空间滤波。

- 1.请分析加权系数模板的滤波效果优于系数均为1的 3×3 模板的滤波效果的原因！！！！
2. 请分析模板大小与消除噪声效果的关系，以及对图像中物体的影响！！！！