

第一章：绪论

1. 像素 (Pixels) 在数字图像上具有固定的(x,y)空域坐标以及该点的值 f(x,y), 其特征为: x,y,f(x,y)均为离散值和有限值。(注 1: f(x,y)通常代表图像的 intensity 或者 gray 等级) (注 2: DI 的空域坐标系方向跟笛卡尔坐标系有些许不同, 下 x 右 y)
2. 数字图像的形式: ①单通道 (B&W 或者灰度等级) ②三通道 (RGB) ③四通道 (RGB+Alpha)
3. 锥状体 (少) 集中在中央凹附近, 对颜色极其敏感; 杆状体 (多) 的分布较为分散, 对低亮度的光照敏感。(注 1: 两者均不在盲点上有分布)

第二章：数字图像基础

1. 图像生成经过采样和量化。坐标值(x,y)的数字化是采样, 值 f(x,y)的数字化是量化。灰度分辨率为 2^k , 大小为 $M*N$ 的数字图像用矩阵表示, 占用的储存空间为: $M*N*k$ (比特)。k 是每个像素用几位储存(注 1: 空域分辨率为 $M*N$) (注 2: dpi (dots per inch) ppi (pixels per inch)) 图片 40x40 灰度分辨率为 2^N , 取 $N=6$, 占用空间为 $40*40*6=9600$ bits(比特) = $9600/8=1200$ byte(字节)=1.17K
2. 图片的放大和缩小可用最邻近插值或者双线性插值, 前者的缺点是精度低, 可能会存在灰度上的不连续, 在变化的地方出现明显的锯齿状。最邻近插值: 利用比例+四舍五入得到目标像素对应的原像素位置并赋值, 双线性:
$$g(E) = (x'-i)[g(B) - g(A)] + g(A)$$
$$g(F) = (x'-i)[g(D) - g(C)] + g(C)$$
$$g(x', y') = (y'-j)[g(F) - g(E)] + g(E)$$

像素 p 的 4 邻域(十字形)、D 邻域(四个对角)和 8 邻域(一圈)的概念; 两个像素 p 和 q 之间的 4 邻接(p 在 q 的 N4 里)、8 邻接(p 在 q 的 N8 里)和 m 邻接 (q 在 p 的 N4 中, 或者 q 在 p 的 ND 中且 p 的 N4 相交 q 的 N4 为空的)概念; 连通性对图像边界和区域分量的形成很重要。连通:有通路 连通分量:对于一个像素而言, 所有和他连通的像素叫连通分量。边界:一个点的邻域有多个不属于集合 R 的点

3. 欧几里得距离 (De)、街区距离 (D4) $D_4(p,q) = |x-s| + |y-t|$ 和棋盘距离 (D8) $D_8(p,q) = \max(|x-s|, |y-t|)$ 的概念。(D4 为菱形, D8 为方形)

第三章：灰度变换和空间滤波 (图像增强)

1. 对于空域, 我们的操作一般是针对像素的邻居。若直接对像素本身进行操作, 则称为灰度变换 ($s=T(r)$); 否则为空间滤波

($g(x,y)=T(f(x,y))$), 多使用掩模。

2. 如果想将一个物体从背景中分离, 可以使用阈值变换; 当输入的图像灰度分辨率很大时, 可以使用对数变换 ($s=c*\log(l+r)$); 幂律变化 ($s=c*r^\gamma$) 则可以将一个较窄范围的灰度等级映射到较大范围的灰度等级(整体变暗, $\gamma>1$) 或者将图像整体变亮 ($\gamma<1$); 由于显示器、打印机等对不同亮度的响应非线性, 而是指数($s=r^\gamma$), 所以使用 γ 校正 ($s=r^{1/\gamma}$) 来处理; 灰度切片, 变换函数 T 为分段函数) 类似于阈值变换, 对于突出图像中某些特征起作用; 比特平面分层中高阶比特平面包含了最重要的视觉数据, 低阶比特平面贡献了更精细的灰度细节, 存储 4 个高阶比特平面即可重建原图像 (在可接受范围内); 图像相减时存在-255~255 的灰度等级, 所以需归一化或者加 255 除以 2 将其重新变为 0~255, 该方法可用于检测运动的物体或者进行 change detection;
3. 直方图均衡化 ($s=T(r)$), 刚好满足单调递增和区间条件 \rightarrow 输入输出区间相同), 可以使输出图像的灰度分布更加均衡, 提高对比度。(均衡化过程较为简单) 统计每个像素等级的贡献率, 做离散积分, 四舍五入得到新的灰度等级图
4. 平滑线性滤波器 (均值滤波器) 可用于滤除噪声 (也可以滤除不必要的细节) 或者突出总体特征, 但是会模糊边缘; 中值滤波器 (统计排序滤波器的一种) 有时表现更佳 (相对于 average), 尤其是滤除椒盐噪声; 自适应中值滤波器可以滤除空间密度更大的椒盐噪声, 平滑其他噪声并减小失真; Max filter VS pepper noise; Min filter VS salt noise; (注: pepper 黑点, salt 白点)
5. 锐化空间滤波器减少模糊部分并突出边缘, 其效果与平滑空间滤波器相反 (积分与微分之区别); 一阶微分 $f(x+1)-f(x)$, 二阶微分 $f(x+1)+f(x-1)-2f(x)$; 一阶微分非 0 值存在于 step 和 ramp 的起点以及 ramp 沿线; 二阶微分非 0 值存在于 step 和 ramp 的起(终)点; 一阶微分产生较粗的边缘, 对 gray level step 有更佳响应; 二阶微分对细节 (细线、孤立点和噪声) 有更佳响应, 而对 gray level step 有双响应 (双边缘, 更加明显), 因此二阶微分在增强细节方面更强。
6. 使用拉普拉斯 (十字方向 1, 中心-4) (二阶微分算子) 锐化图像, 若考虑对角项, 则掩模系数变为 1,1,1,1,-8,1,1,1,1 (上到下, 左到右)。无须加减原图像:-1,-1,5,-1,-1 但是使用

拉普拉斯算子得到的并不是最终图像, 还要根据中心系数的正负, 用原图像 \pm 拉普拉斯图像。Sobel(1,2,1,0,0,0,-1,-2,-1)

7. 高提升滤波 $g(x,y) = Af(x,y) \pm \nabla^2 f(x,y)$, 当 A 越大, 则越忽略锐化的作用。
8. 使用梯度 (一阶微分) 锐化图像, Sobel(1,2,1,0,0,0,-1,-2,-1)x 方向, y 方向, 此时的操作为线性操作。再对其求向量 ∇f 的幅值 $M(x,y)=\sqrt{g_x^2+g_y^2}$ 或者近似化 $M(x,y)=|g_x|+|g_y|$, 此为非线性。

第四章：频率域滤波

1. 图像 f(x,y) 乘以指数项 $(-1)^{x+y}$ 可将 DFT 的原点移到 $F(u-M/2, v-N/2)$, 不影响幅度谱; 若空间域和频域都用极坐标表示, 空间域与频域的旋转等价; $F(0,0)$ 等于图像的平均灰度;
2. DFT 的幅度谱中, 低频分量反映了图像中灰度变化缓慢的区域, 是图像在平滑区域上的外观; 高频分量反映了图像中灰度剧变的区域 (如边缘、噪声), 是图像中的精细部分。
3. 滤波过程: ①原图乘以 $(-1)^{x+y}$ 。②DFT $\rightarrow F(u,v)$ 。③ $F(u,v)$ 乘以滤波器 $H(u,v)$ 。④IDFT 再乘以 $(-1)^{x+y}$ 得到输出。
4. 陷波滤波器: $H(u,v) = 0, \text{if} [u,v] = (M/2, N/2), \text{else} [H(u,v) = 1]$, 可以使图像的平均灰度为 0, 不影响图像的整体外观和细节。
5. 理想低通滤波器: $H(u,v) = 1, \text{if} [D(u,v) \leq D_0], \text{else} [H(u,v) = 0]$

, 其中 $D(u,v)$ 定义为 (u,v) 与 $(M/2, N/2)$ 的欧氏距离。(注: 由于 $H(u,v)$ 的急剧变化会产生振铃现象)

6. 巴特沃斯低通滤波器: $H(u,v) = \frac{1}{1 + \frac{D(u,v)^{2n}}{D_0^{2n}}}$, 截止频率定义为 $H(u,v)$ 下降为 50%。一阶二阶巴特沃斯滤波器几乎观察不到振铃现象。高斯低通滤波器: $H(u,v) = e^{-D^2(u,v)/2D_0^2}$ 。

低通滤波器的作用: ①连接断裂处。②修复人脸图片上的疤痕或者皱纹。理想高通滤波器: 巴特沃斯高通滤波器:

高斯高通滤波器:

第九章: 形态学图像处理 (For 二值图)

1. 集合中的交并补差等概念; 集合的 Reflection(镜像, 旋转 180 度)和 translation(平移)等概念; Hit, Miss 和 Fit 的概念 (注: 以结构元为基本单位)。

2. **膨胀**: hit 就有效, 否则无效; 膨胀会粗化或者增长物体; 膨胀可以修复断裂处, 修复表面坑洼。腐蚀(Erosion): fit 为有效; 腐蚀缩小或细化了物体, 小于结构元的物体都将滤除; 腐蚀分开已连接的物体, 可以将物体表面的突出部分剥离。**开操作**: 先腐蚀再膨胀, 其几何解释为: 球形结构元 B 沿物体 A 的内部边界滑动, 其并集即为开操作 $A \circ B = \bigcup \{ (B_z) | (B_z) \subseteq A \}$ 。闭操作与开操作对偶,

为先膨胀再腐蚀, 其几何解释为: 球形结构元 B 沿物体 A 的外部边界滑动, 其并集为闭操作。开操作可以平滑图像轮廓, 打断物体间的连接部分, 清除突出物; 闭操作可以平滑轮廓上的缺口, 填充洞口, 连接间隙和断裂部分。

3. Hit or miss: 设感兴趣物体形状为 D, B 为 D 及其背景组成的集合, 用 D 腐蚀 A 产生的集合与用 (W-D) 腐蚀 A 的补集产生的集合的交集就是击中或不击中变换。也可以令 $B=(B_1, B_2)$ 使式子简化。 $A \otimes B = (A \ominus B_1) \cap (A \ominus B_2)$ B1 是和目标物体有关, B2 与背景

有关

4. 边界提取: $\beta(A) = A - (A \ominus B)$ 即可提取边界, B 是结构元

5. 区域填充: 需要设置一个初始点, 过程可表示为

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c$$

直到 $X_k = X_{k-1}$, 完成区域填充, 最终结果图应为 X_k 并 A。连通分量的提取: 过程与上面类似, 只是将 A 补替换成 A 最终结果图应为 X_k 。细化和粗化: 骨架:

第十章: 图像分割 灰度图

1. 灰度变化的不连续性是进行图像分割的基础之一, 其处理的图像特征为孤立点、线和边缘。对于相似的灰度, 根据一组预定义的准则将图像分割为相似的区域。(阈值处理, 区域生长、分裂和聚合)

2. 对于**点检测**, 使用二阶微分(在第三章已经讨论过了, 实际就是进行空间滤波)。比如说, 拉普拉斯算子(添加对角项)的模板系数之和为 0, 表明在恒定灰度区域的模板响应为 0。故我们设置一个阈值 T, 若模板响应 $R(x,y) > T$, 则输出图像在该点的值 $g(x,y)=1$,

孤立点被检测到了。对于**线检测**, 同样可用拉普拉斯算子。由于其产生负值, 我们一般进行正阈值处理, 仅适用拉普拉斯图像的正值。(注: 当线宽比模板尺寸大时, 会被一个零值分开)。对特定方向的线感兴趣, 可将模板上对应方向的系数全换成 2 (阈值处理)

3. Ramp 线的厚度与斜率成反比/斜率与模糊程度成反比

4. 微弱的可见噪声也严重影响边缘检测所用的两个关键导数, 应先进行平滑处理。另一方法是对梯度图像进行阈值处理(可能会使部分边缘断开)。若目的是突出主要边缘并尽可能保持连接时, 实践中通常又做平滑处理又做阈值处理。

5. LoG 算子:
$$\nabla^2 G(x,y) = \left[\frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4} \right] e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}}$$
 (其中 $G(x,y)$

为二维高斯函数)。LoG 算子生成的模板需要满足系数之和为 0 (以便模板响应在恒定灰度区域为 0) 先高斯模糊后拉算子

6. Marr-Hildreth 算法: LoG 滤波器与输入图像卷积。(由于卷积的线性性, 可以如下操作: ①对高斯函数取样得到 n 阶高斯低通滤波器对输入图像滤波。②再得到拉普拉斯图像。③找到零交叉。) (注 1: 对于 n 的大小, 应该取大于等于 6σ 的最小奇整数) (注 2: 像素 p 的 4 对邻居至少有一对符号不同且它们差值的绝对值要大于某个正阈值)

7. Canny 算法: ①用高斯滤波器平滑图像。②用梯度算子 (Sobel、Prewitt) 计算梯度方向和幅值。③对梯度幅值进行非极大值抑制。④双阈值处理减少伪边缘点。(高阈值: 低阈值=2:1 或 3:1)

8. 边缘连接: ①局部处理。预定义幅值和方向条件, 若边缘点 q 的某个邻居 p (3X3、5X5.....) 满足条件, 则两者是连接的。②使用霍夫变换的全局处理: 预定义一些全局性质, 使我们得以筛选边缘点从而得到指定形状的曲线。

9. 基本的全局阈值处理: ①设置全局阈值 T。②用 T 分割图像得到两组像素。③分别计算两组像素的灰度平均值 m1 和 m2。④得到新阈值 $T=0.5 * (m1+m2)$ 。⑤重复步骤至最新两次 T 值的差小于一个预设值。

10. Ostu: 计算快速简单, 不受图像亮度和对比度影响。但是对噪声敏感, 而且只能对单一目标分割; 当目标和背景大小相差悬殊时, 效果不好。

11. 区域生长: ①设置种子。②确定生长准则 (N8 内灰度差)

第六章: 彩色图像处理

1. 品红=R+B, 青色=G+B, 黄色=R+G。

2. 全彩色图像有 24 比特的深度, R、G、B 分别为 8 比特图像。(RGB 归一化)

3. CMY 模型 (面向应用):

4. HSI 模型: H 为色调, S 为饱和度, I 为强度。有基于三角形和圆形彩色平面的 HSI 彩色模型, 垂直轴表示强度。R 轴为 0 轴, 隔 120 度、240 度为 G、B。彩色点到垂直轴的距离为饱和度 S。

5. (从 RGB 到 HSI)

6. (从 HSI 到 RGB)

(注: 在 RG (0~120°) $H=H$, GB (120°~240°), $H=H-120^\circ$, BR (240°~360°), $H=H-240^\circ$)

7. 灰度分层: 类似于灰度切片, 但是将不同分段的像素集合赋予不同的颜色, 有所区别。

8. 全彩色图像处理有两种方法: ①对 RGB 三分量图像分别进行处理。②对彩色图像的每个像素点上的 Vector (可能有三或者四个分量) 进行向量处理。

9. 对于彩色变换, 我们用 $s_i = T_i(r_1, r_2, \dots, r_n)$ 。其中 $r_1 \sim r_n$ 为输入图像的分量, s_i 为输出图像的分量。

10. 彩色分层: 设感兴趣的颜色被宽为 W、中心在原型 (平均) 颜色点的立方体所包围, 立方体外的颜色被强制置为中性 (对于 RGB 彩色空间, 为 (0.5,0.5,0.5))。也可设感兴趣的颜色被球体所包围。

$$(s_i = 0.5, \text{if } [|r_j - a_j| > \frac{W}{2}]_{1 \leq j \leq n}, \text{else } s_i = r_i)$$