数字图像处理

第十二讲

彩色图像处理（II）

提纲

- 平滑和锐化
- 基于彩色的图像分割
- 彩色图像中的噪声
- 彩色图像压缩

彩色图像平滑

- 公式

$$\bar{\mathbf{c}}(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{(s,t)\in S_{xy}} \mathbf{c}(s, t)$$

可以分别平滑每个颜色平面

  - S_{xy}表示(x, y)的邻近区域
  - $\mathbf{c}(s, t)$表示(s, t)处的颜色向量

- 等价形式

$$\bar{\mathbf{c}}(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{1}{K} \sum_{(s,t)\in S_{xy}} R(s, t) \\ \frac{1}{K} \sum_{(s,t)\in S_{xy}} G(s, t) \\ \frac{1}{K} \sum_{(s,t)\in S_{xy}} B(s, t) \end{bmatrix}$$

举例

原图

红（R）

绿（G）

蓝（B）

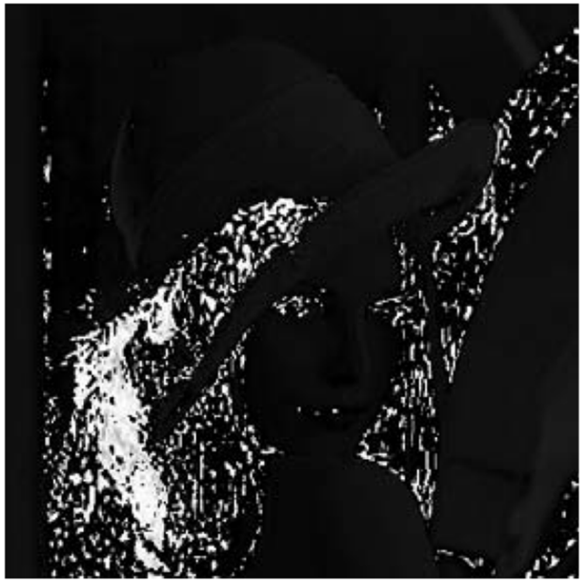
举例

原图

- 分别平滑

举例

原图



色调（H）

饱和度（S）

强度（I）

举例

原图

- 平滑强度I

举例

- 对比

原图

平滑RGB

平滑I

差异

使用二阶导数对图像锐化

- 各向同性滤波器
  - 旋转图像→滤波 ＝ 滤波→旋转结果
- 拉普拉斯算子

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

  - 线性算子
- 离散拉普拉斯算子

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

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

拉普拉斯算子

- 标准形式

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

0	1	0
1	−4	1
0	1	0

90度增量
各向同性

- 对角线形式

1	1	1
1	−8	1
1	1	1

45度增量
各向同性

使用二阶导数对图像锐化

- 拉普拉斯算子结果叠加到图像中

$$g(x, y) = f(x, y) + c\left[\nabla^2 f(x, y)\right]$$

  - 采用负的中心系数，$c = -1$
  - 采用正的中心系数，$c = 1$

0	−1	0
−1	4	−1
0	−1	0

−1	−1	−1
−1	8	−1
−1	−1	−1

彩色图像锐化

- 向量的拉普拉斯

$$\nabla^2[\mathbf{c}(x, y)] = \begin{bmatrix} \nabla^2 R(x, y) \\ \nabla^2 G(x, y) \\ \nabla^2 B(x, y) \end{bmatrix}$$

  - 其中

$$\mathbf{c}(x, y) = \begin{bmatrix} c_R(x, y) \\ c_G(x, y) \\ c_B(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(x, y) \\ G(x, y) \\ B(x, y) \end{bmatrix}$$

  - 对每个颜色平面分别计算拉普拉斯

举例

- 对比

原图

锐化RGB

锐化I

差异

提纲

- 平滑和锐化
- 基于彩色的图像分割
- 彩色图像中的噪声
- 彩色图像压缩

HSI彩色空间内的分割

- HSI模型将亮度和颜色相关的信息解耦合
  - 颜色相关的信息：色调、饱和度
  - 对人而言更直观

- 通常利用色调（H）图像指定颜色
- 饱和度（S）用来进一步限定区域
- 强度（I）很少用于图像分割

举例

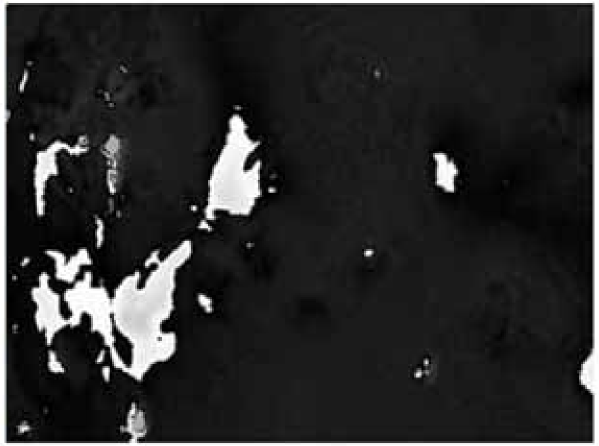
- 分割左下角的微红色区域

原图

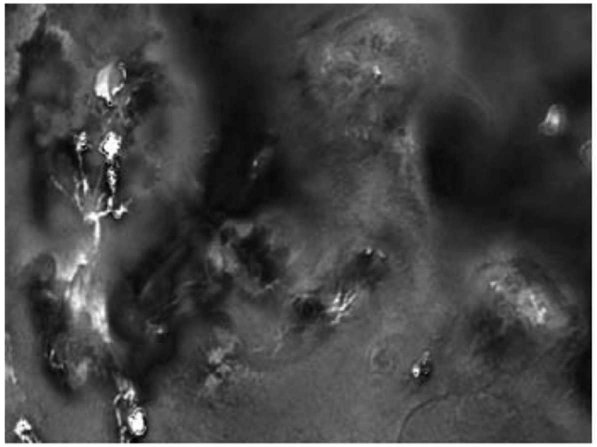
举例

- 分割左下角的微红色区域

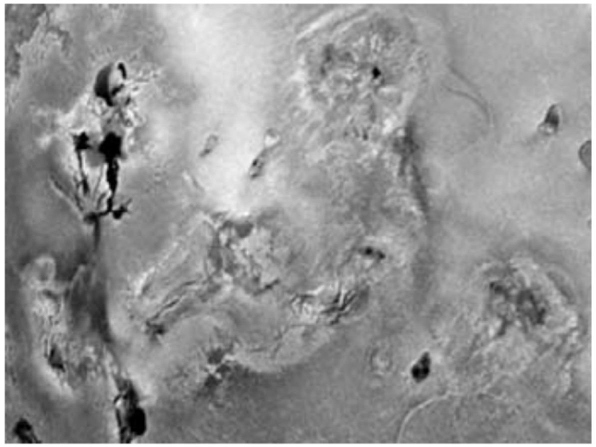
原图



色调（H）



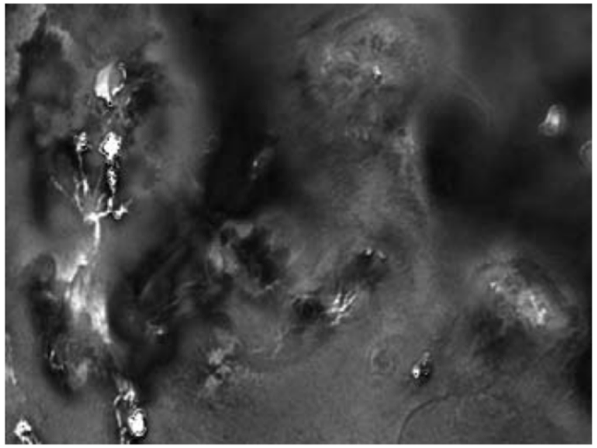
饱和度（S）



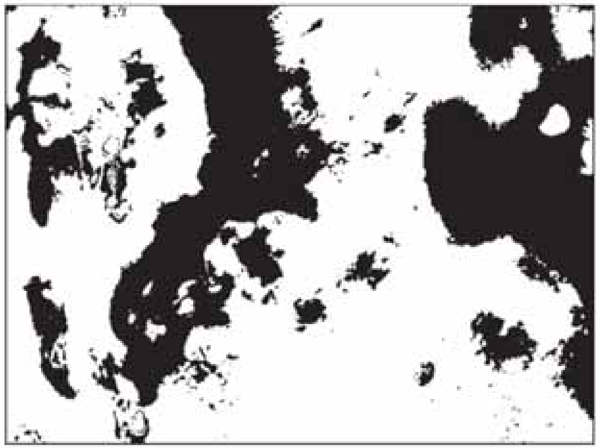
强度（I）

举例

- 利用饱和度图像生成二值模板
  - 利用最大饱和度的10%为阈值



饱和度（S）

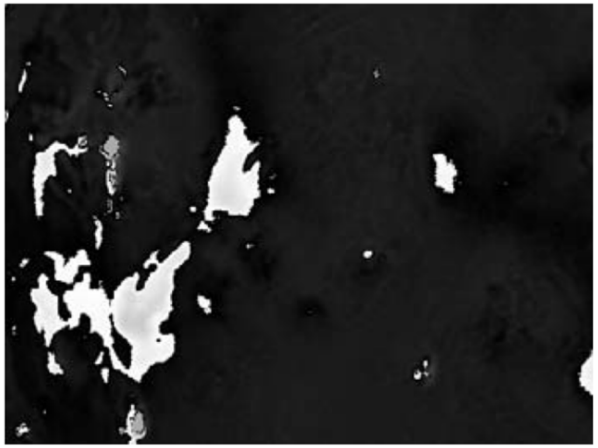


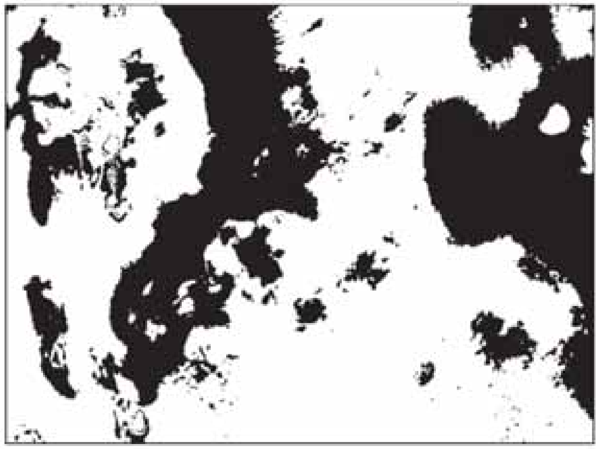
二值模板

举例

- 色调图像和模板相乘

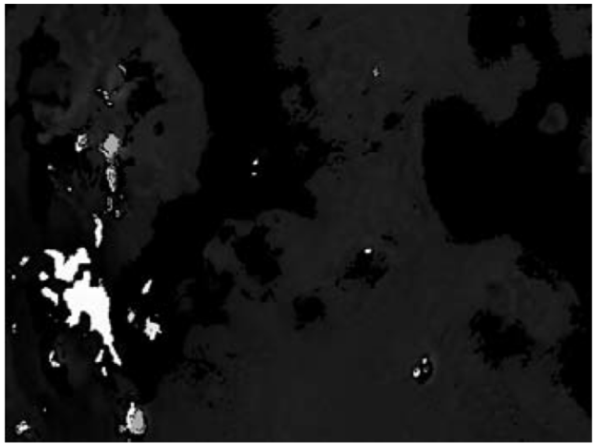
色调（H）





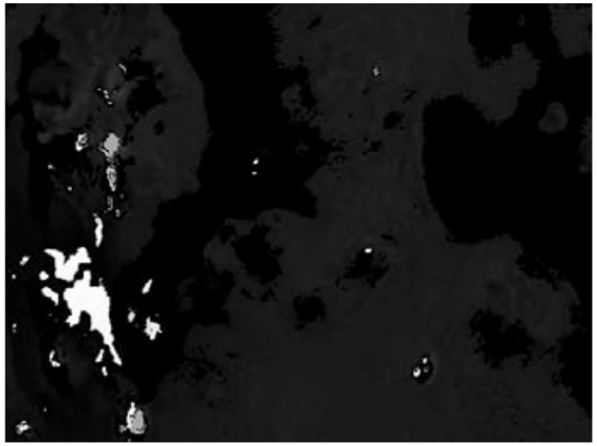
二值模板

乘积图像

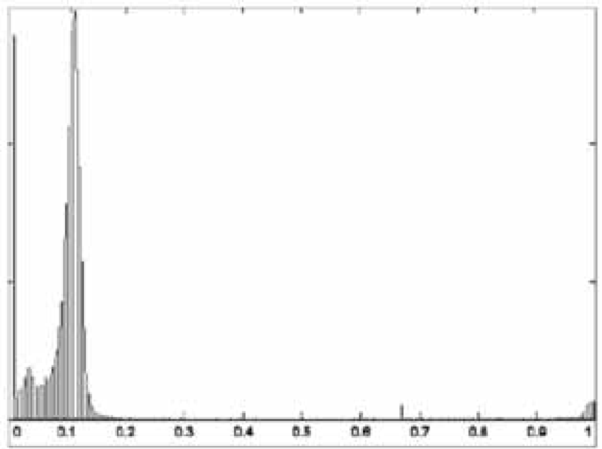


举例

- 观察乘积图像的直方图



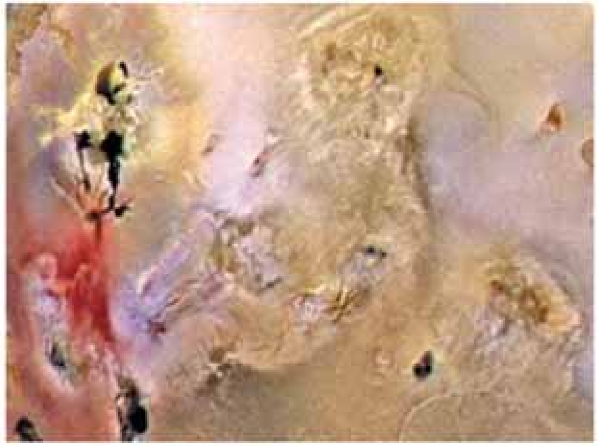
乘积图像

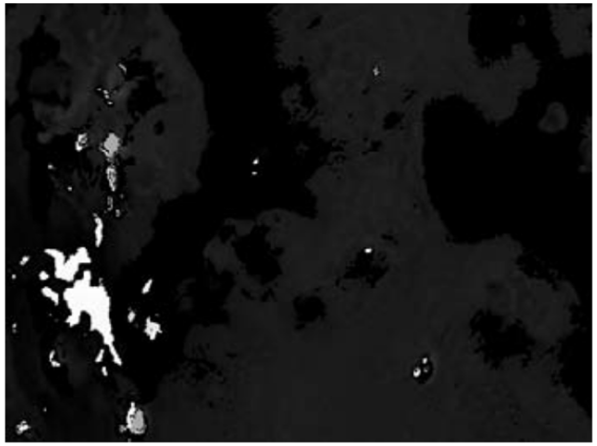


直方图

举例

- 对乘积图像阈值化
  - 用0.9





乘积图像

分割结果

RGB向量空间中的分割

- HIS颜色空间更直观
- RGB向量空间内的分割效果更好
  - 尤其是按照颜色进行分割

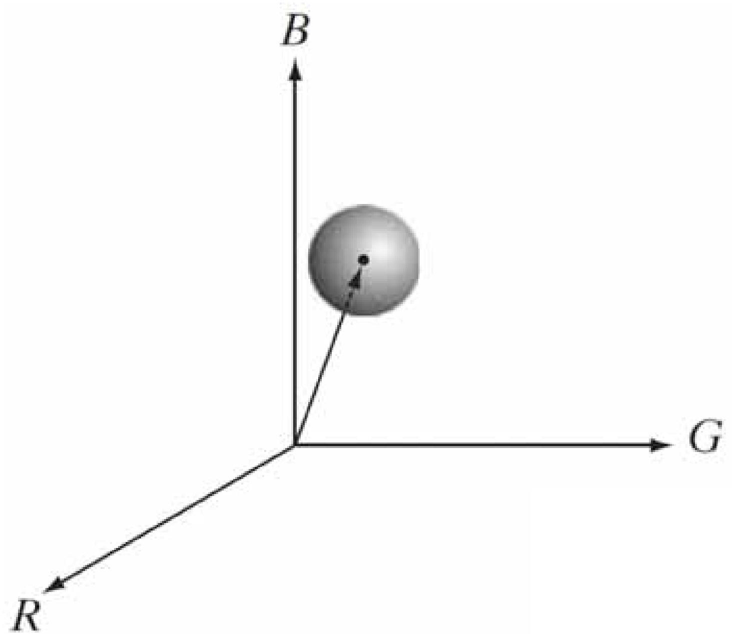
- 假设根据某颜色范围分割图像
  1. 确定平均颜色$\boldsymbol{a}$（对代表性颜色采样）
  2. 对所有的像素根据颜色进行分类
     - 选择距离函数$D(\boldsymbol{z}, \boldsymbol{a})$
     - 如果$D(\boldsymbol{z}, \boldsymbol{a}) \leq D_0$，表示$\boldsymbol{z}$和$\boldsymbol{a}$相似

RGB向量空间中的分割

- 欧氏距离

$$
\begin{aligned}
D(\mathbf{z}, \mathbf{a}) &= \|\mathbf{z} - \mathbf{a}\| \\
&= [(\mathbf{z} - \mathbf{a})^T(\mathbf{z} - \mathbf{a})]^{\frac{1}{2}} \\
&= [(z_R - a_R)^2 + (z_G - a_G)^2 + (z_B - a_B)^2]^{\frac{1}{2}}
\end{aligned}
$$

  - 圆球

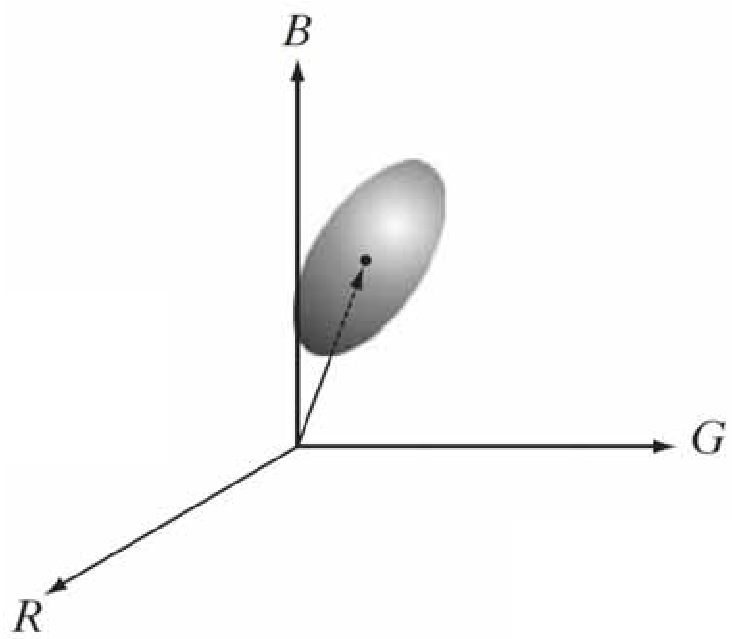


RGB向量空间中的分割

- 欧氏距离的扩展

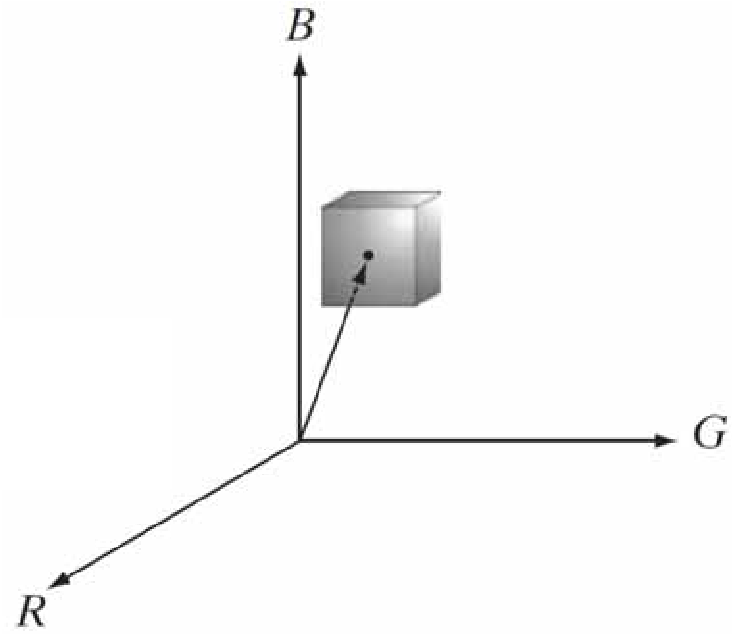
$$D(\mathbf{z}, \mathbf{a}) = [(\mathbf{z} - \mathbf{a})^T \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{z} - \mathbf{a})]^{\frac{1}{2}}$$

  - C表示样本的协方差矩阵
  - 椭圆球



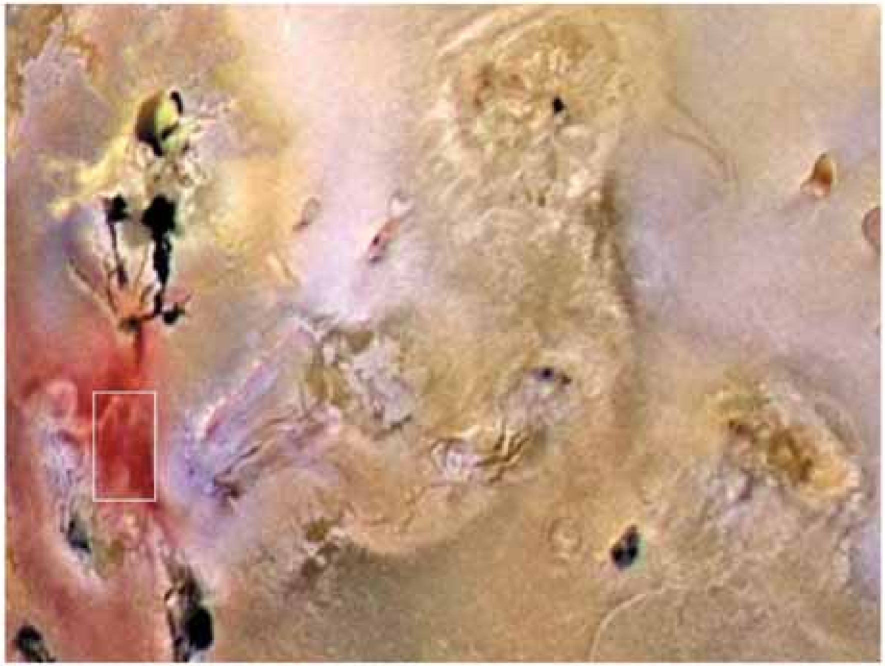
RGB向量空间中的分割

- 使用方形盒子
  - 长度和样本的标准差成正比
  - 计算简单

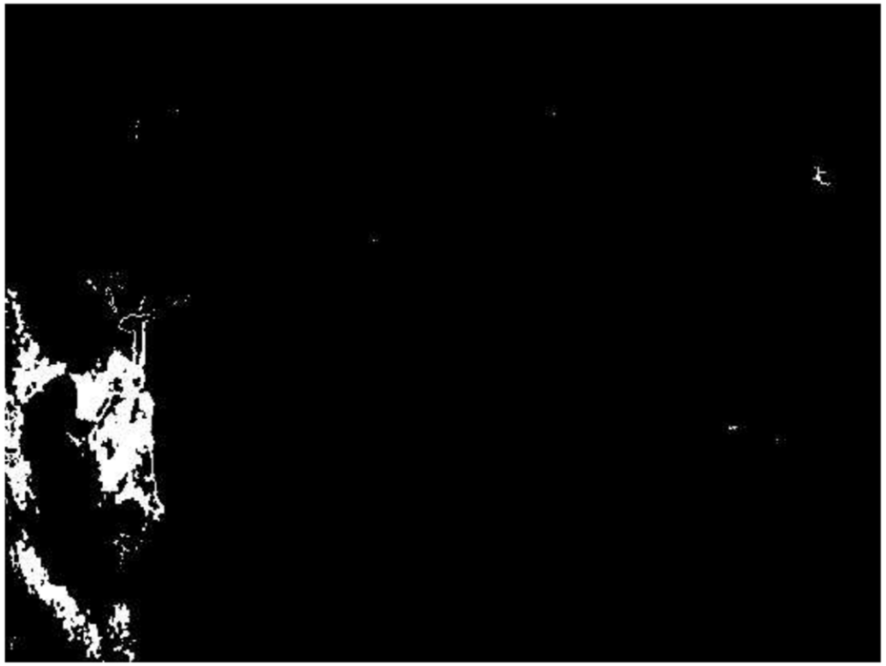


举例

- 计算框内像素的平均颜色$\boldsymbol{a}$
- 计算框内三种颜色分量的标准差
- 方形盒子，$\boldsymbol{a}$为中心各个方向1.25倍标准差



原图

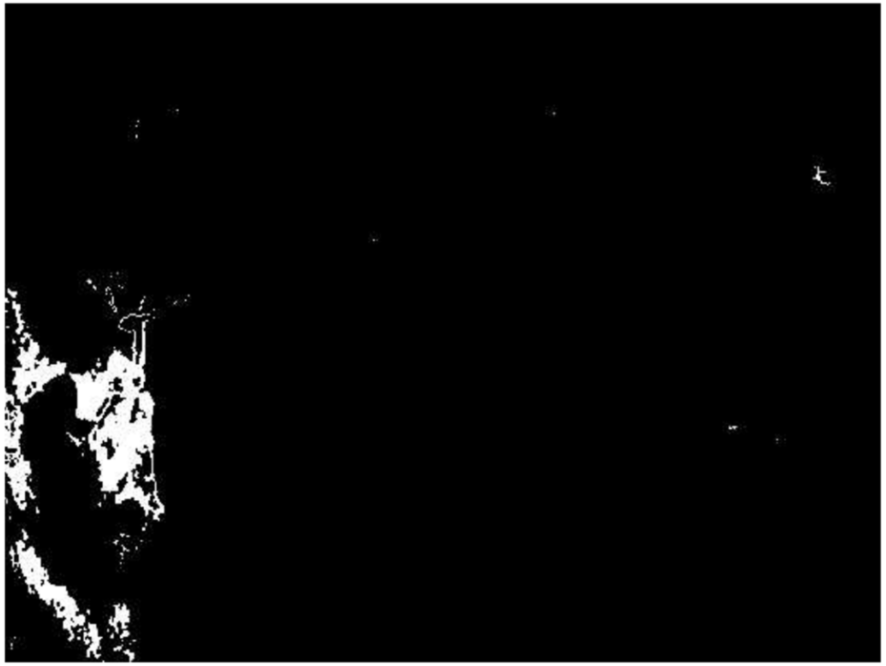


RGB向量空间中的分割

举例

- 计算框内像素的平均颜色$\boldsymbol{a}$
- 计算框内三种颜色分量的标准差
- 方形盒子，$\boldsymbol{a}$为中心各个方向1.25倍标准差

HSI彩色空间内的分割



RGB向量空间中的分割

彩色边缘检测

- 利用一阶导数

1. 对每个分量图像检测边缘
2. 在彩色向量空间内检测边缘

使用一阶导数对图像锐化

- 利用梯度的大小
  - 梯度：最大变化率的方向
    - 线性算子

$$\nabla f \equiv \operatorname{grad}(f) \equiv \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial f}{\partial x} \\ \dfrac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

  - 大小
    - 非线性

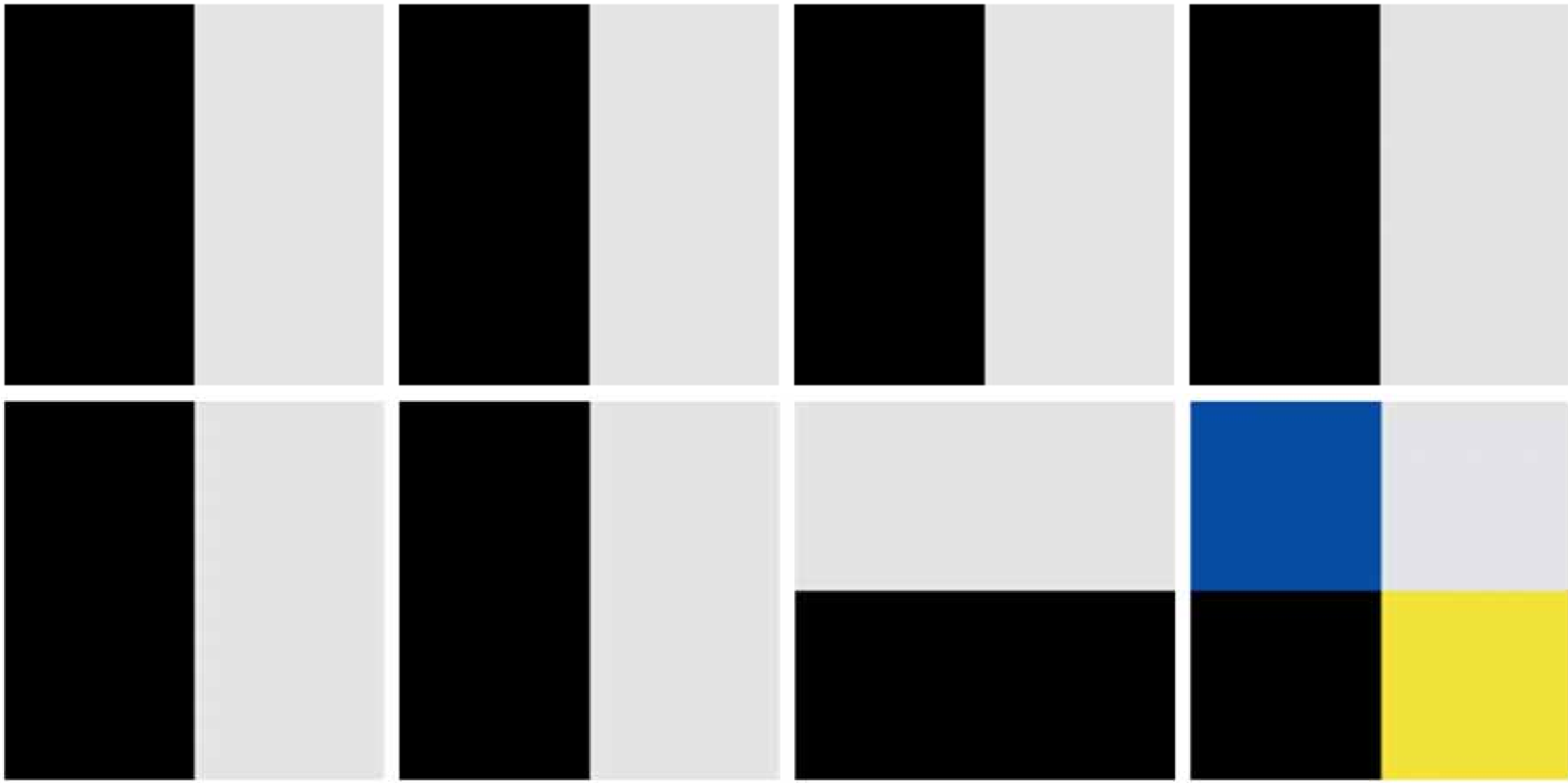
$$M(x, y) = \operatorname{mag}(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}$$

  - 近似计算

$$M(x, y) \approx |g_x| + |g_y|$$

对每个分量图像检测边缘

- 考虑中心点的梯度



R　G　B　彩色图

对每个分量图像检测边缘

1. 分别计算三个梯度图像
2. 对三个梯度图像求和

- 在$[(M+1)/2,(M+1)/2]$处梯度相等

- 第一幅图中的梯度应该更大
  - 三幅图像的边缘是一致的
- 第二幅图中的梯度应该略小
  - 两幅图像的边缘是一致的

向量的梯度

- 令$\boldsymbol{r}$,$\mathbf{g}$,$\boldsymbol{b}$为沿R,G,B轴的单位向量
  - 定义

$$\mathbf{u} = \frac{\partial R}{\partial x}\mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial x}\mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial x}\mathbf{b}$$

$$\mathbf{v} = \frac{\partial R}{\partial y}\mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial y}\mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial y}\mathbf{b}$$

  - 计算

$$g_{xx} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{u}^T\mathbf{u} = \left|\frac{\partial R}{\partial x}\right|^2 + \left|\frac{\partial G}{\partial x}\right|^2 + \left|\frac{\partial B}{\partial x}\right|^2$$

$$g_{yy} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{v}^T\mathbf{v} = \left|\frac{\partial R}{\partial y}\right|^2 + \left|\frac{\partial G}{\partial y}\right|^2 + \left|\frac{\partial B}{\partial y}\right|^2$$

$$g_{xy} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{u}^T\mathbf{v} = \frac{\partial R}{\partial x}\frac{\partial R}{\partial y} + \frac{\partial G}{\partial x}\frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial B}{\partial x}\frac{\partial B}{\partial y}$$

向量的梯度

- $\mathbf{c}(x, y)$的最大变化方向

$$\theta(x, y) = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left[\frac{2g_{xy}}{g_{xx} - g_{yy}}\right]$$

- $\mathbf{c}(x, y)$的最大变化速率

$$F_\theta(x, y) = \left\{\frac{1}{2}\left[(g_{xx} + g_{yy}) + (g_{xx} - g_{yy})\cos 2\theta(x, y) + 2g_{xy}\sin 2\theta(x, y)\right]\right\}^{\frac{1}{2}}$$

- Soble算子

$$g_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)$$

$$g_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)$$

举例

- 向量空间内梯度

原图

向量空间内梯度

举例

- 分量图像梯度

举例

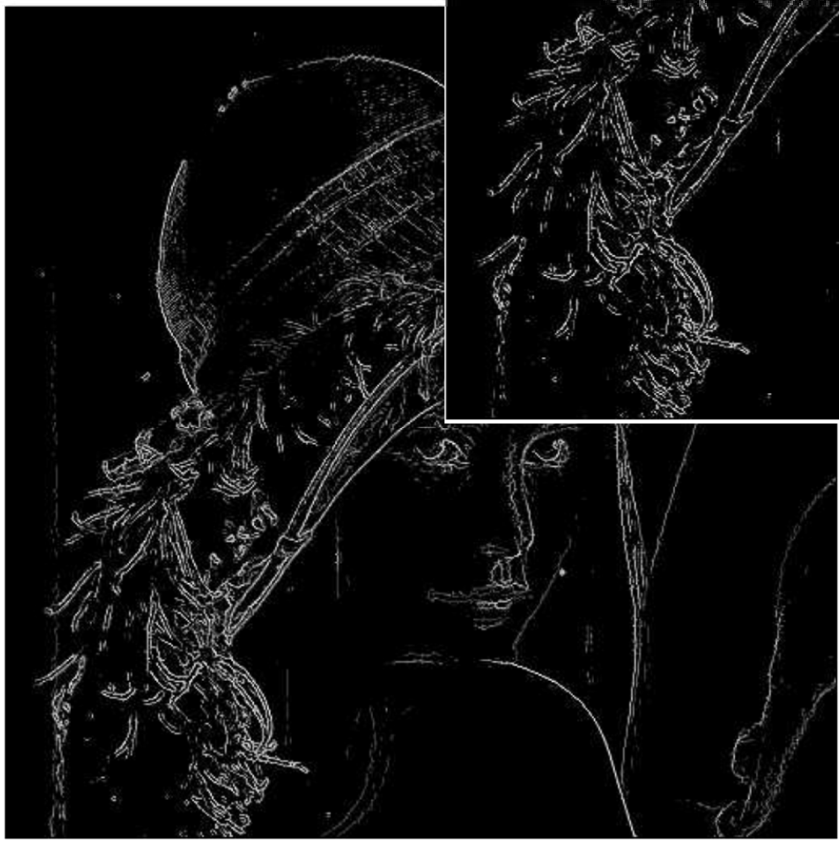
更加清晰，比如右眼

分量图像梯度之和

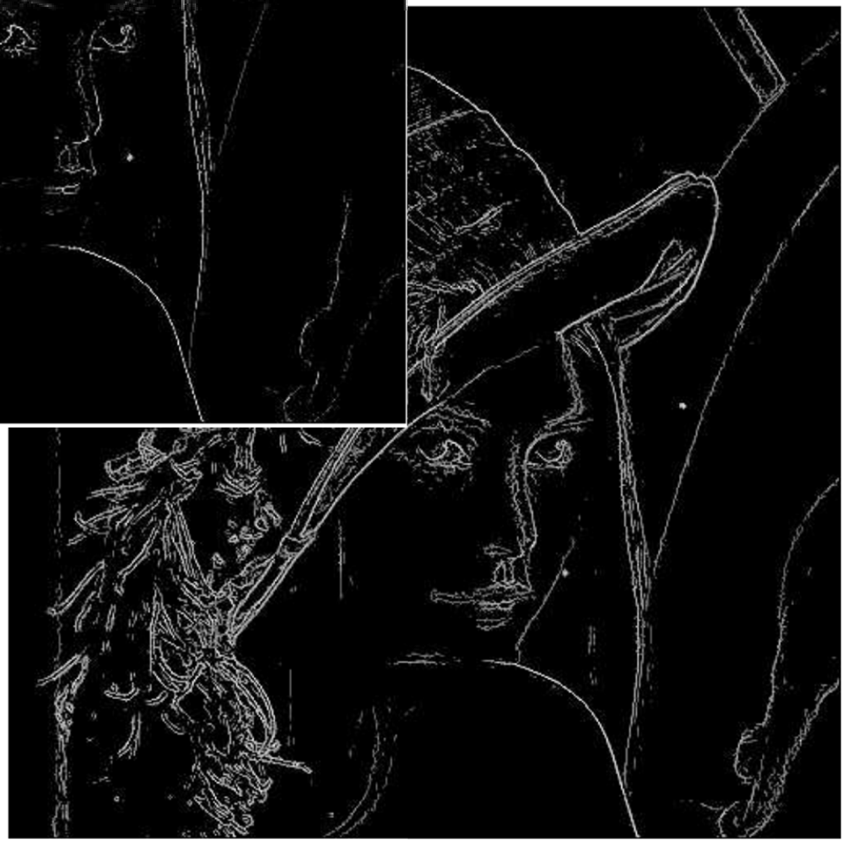
向量空间内梯度

举例

差异



分量图像梯度之和



向量空间内梯度

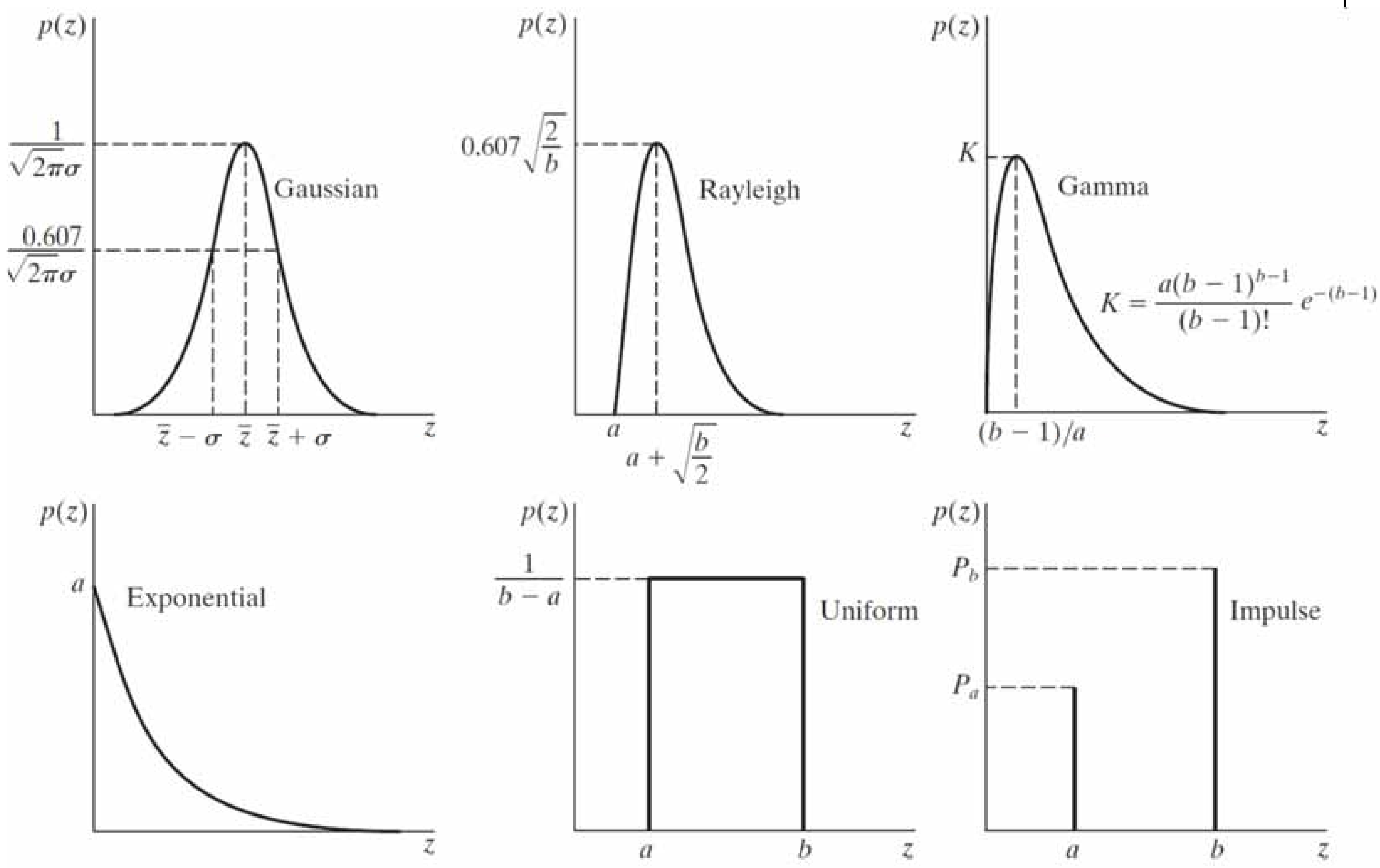
提纲

- 平滑和锐化
- 基于彩色的图像分割
- 彩色图像中的噪声
- 彩色图像压缩

彩色图像中的噪声

- 灰度图像的噪声模型依然适用
- 所有通道的噪声模型相同
- 不同通道内的噪声模型不同
  - 不同的通道产生硬件故障
  - 不同通道的照明强度不同

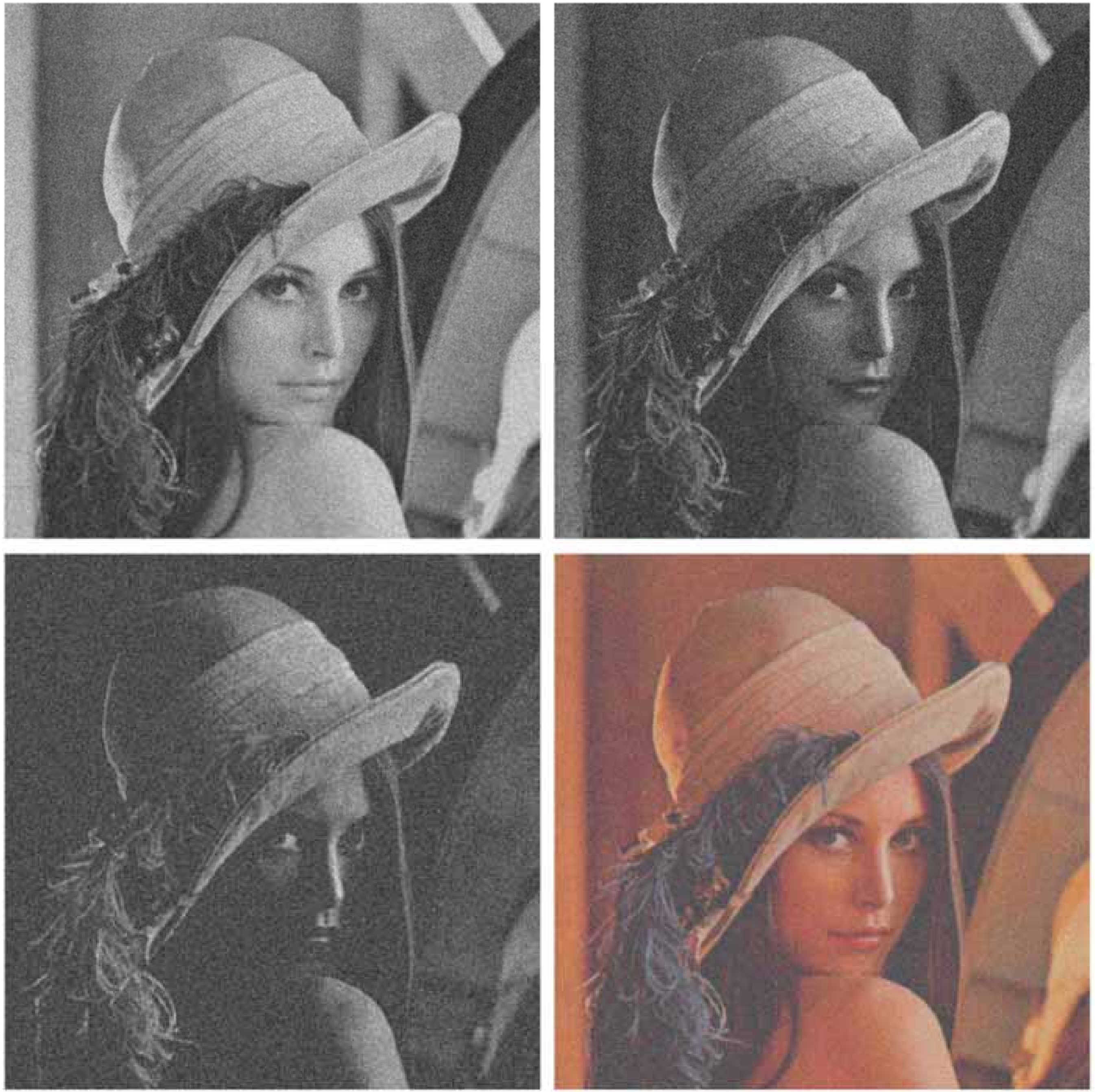
噪声模型



$p(z)$
$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}$
$\frac{0.607}{\sqrt{2\pi}\sigma}$
Gaussian
$\bar{z}-\sigma$ $\bar{z}$ $\bar{z}+\sigma$
z
$p(z)$
$0.607\sqrt{\frac{2}{b}}$
Rayleigh
a
$a+\sqrt{\frac{b}{2}}$
z
$p(z)$
K
Gamma
$K=\frac{a(b-1)^{b-1}}{(b-1)!}e^{-(b-1)}$
$(b-1)/a$
z
$p(z)$
a
Exponential
z
$p(z)$
$\frac{1}{b-a}$
Uniform
a b z
$p(z)$
P_b
P_a
Impulse
a b z

举例

- RGB通道分别被高斯噪声污染

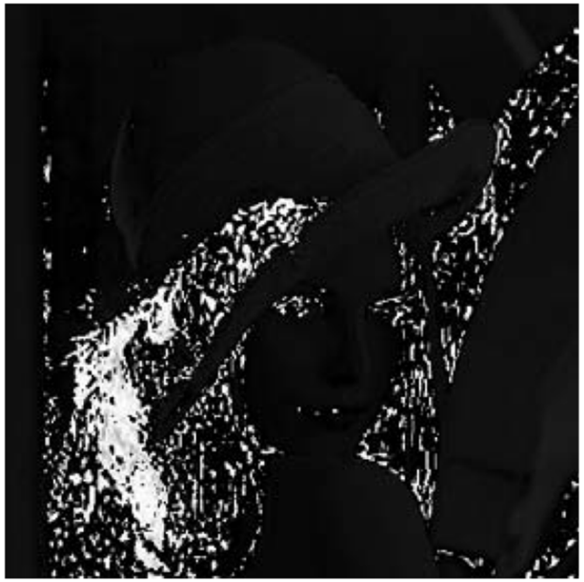


举例

- RGB通道分别被高斯噪声污染
- 彩色图像的噪声不是很明显

举例

原图

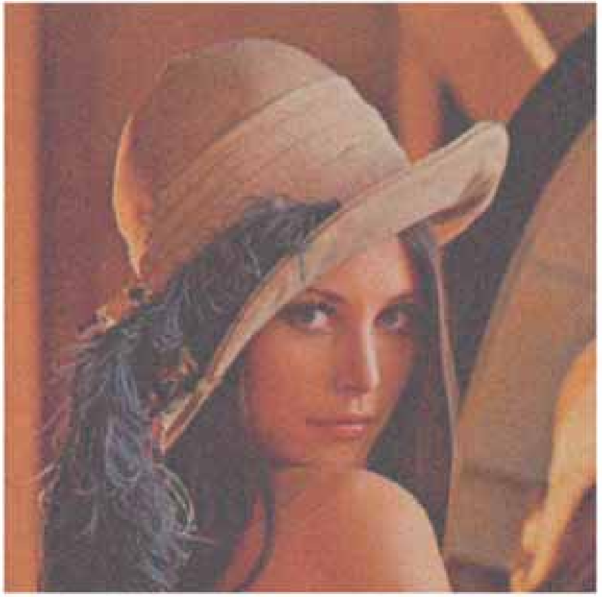


色调（H）　　饱和度（S）　　强度（I）

举例

色调和饱和度剧烈变化（非线性）

噪声图像



强度受噪声影响较弱（求和）

色调（H）

饱和度（S）

强度（I）

举例

- 绿色通道被污染
  - 椒盐噪声
- 影响所有的HSI通道

提纲

- 平滑和锐化
- 基于彩色的图像分割
- 彩色图像中的噪声
- 彩色图像压缩

彩色图像压缩

- 彩色图像的大小是灰度图像的3~4倍

- 彩色图像压缩
  - 有利于存储和传输

- 压缩的原理
  - 去掉冗余或不相关的数据

举例

- 彩色原图

举例

- 压缩（230倍）→解压缩

JPEG 2000压缩

下一讲