

2D计算机视觉

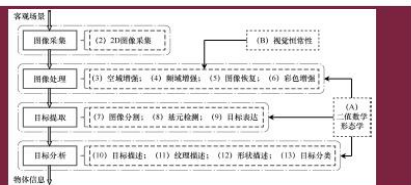
原理、算法及应用

计算机视觉
丛书



2D计算机视觉

原理、算法及应用



2D COMPUTER VISION
Principles, Algorithms and Applications

2D计算机视觉

原理、算法及应用

章毓晋 编著

电子工业出版社

2D COMPUTER VISION
Principles, Algorithms and Applications

2D计算机视觉

原理、算法及应用

章毓晋 编著



责任编辑：朱雨萌
封面设计：博雅锦



定价：149.00元

中国工信出版集团

电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn



第5章 图像恢复



图像恢复与图像增强的相同之处是都希望要改进输入图像的视觉质量

图像增强一般要借助人的视觉系统的特性以取得看起来较好的视觉结果

图像恢复技术是将图像退化（品质下降、失真）的过程模型化，并据此采取相反的处理过程以得到原始（高质量）图像

图像恢复要根据一定的图像退化模型进行



第5章 图像恢复



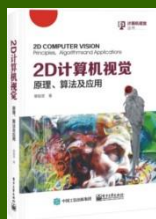
5.1 图像退化模型

5.2 逆滤波

5.3 维纳滤波

5.4 几何失真校正

5.5 图像修补



5.1 图像退化模型

图像退化

由场景得到的图像没能完全地反映场景的真实内容，产生了失真、污染等问题

模糊：常在图像采集过程中产生，常是一个确定过程，可有一个足够准确的数学模型来描述

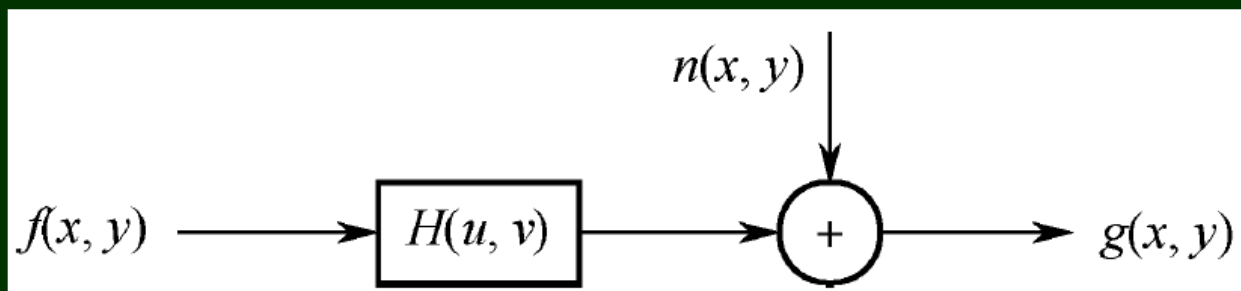
噪声：常在图像记录过程中产生。噪声是一个随机过程，人们最多可对这个过程的统计特性有一定的知识，所以噪声对一个特定图像的影响是不确定的



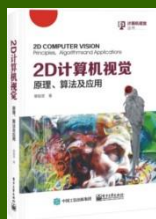
5.1 图像退化模型

图像退化模型

模型化为一个作用在输入图像 $f(x, y)$ 上的系统 H 。它与一个加性随机噪声 $n(x, y)$ 的联合作用导致退化图像 $g(x, y)$ 的产生



根据这个模型恢复图像就是要在给定 $g(x, y)$ 和代表退化的 H 的基础上，得到对 $f(x, y)$ 的近似的过程



5.1 图像退化模型

图像退化模型性质

先考虑输入和输出的如下关系（忽略噪声）

$$g(x, y) = H[f(x, y)]$$

(1) 线性:

$$H[k_1 f_1(x, y) + k_2 f_2(x, y)] = k_1 H[f_1(x, y)] + k_2 H[f_2(x, y)]$$

(2) 相加性:

$$H[f_1(x, y) + f_2(x, y)] = H[f_1(x, y)] + H[f_2(x, y)]$$

和的响应等于响应的和



5.1 图像退化模型

图像退化模型性质

(3) 一致性:

$$H[k_1 f_1(x, y)] = k_1 H[f_1(x, y)]$$

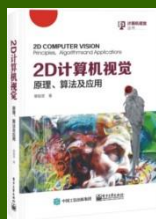
(4) 位置 (空间) 不变性:

$$H[f(x - a, y - b)] = g(x - a, y - b)$$

输入和输出关系

$$g = Hf + n \quad g(x, y) = h(x, y) \otimes f(x, y) + n(x, y)$$

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(u, v)$$



5.2 逆滤波

无约束恢复

仅将图像看作一个数字矩阵，从数学角度进行恢复处理而不考虑恢复后图像应受的物理约束

借助矩阵表达 $\mathbf{n} = \mathbf{g} - \mathbf{H}\mathbf{f}$

使 \mathbf{n} 的2-范数最小

$$\|\mathbf{n}\|^2 = \mathbf{n}^T \mathbf{n} = \|\mathbf{g} - \mathbf{H}\mathbf{f}_e\|^2 = (\mathbf{g} - \mathbf{H}\mathbf{f}_e)^T (\mathbf{g} - \mathbf{H}\mathbf{f}_e)$$

对 \mathbf{f}_e 求的最小值 $L(\mathbf{f}_e) = \|\mathbf{g} - \mathbf{H}\mathbf{f}_e\|^2$

$$\mathbf{f}_e = (\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{g} = \mathbf{H}^{-1} (\mathbf{H}^T)^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{g} = \mathbf{H}^{-1} \mathbf{g}$$



5.2 逆滤波

逆滤波模型

转到频率域中

$$F_e(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)}$$

用 $H(u, v)$ 去除 $G(u, v)$ 是一个逆滤波过程

求反变换

$$f_e(x, y) = \mathcal{F}^{-1}[F_e(u, v)] = \mathcal{F}^{-1}\left[\frac{G(u, v)}{H(u, v)}\right]$$

考虑噪声后

$$F_e(u, v) = F(u, v) + \frac{N(u, v)}{H(u, v)}$$



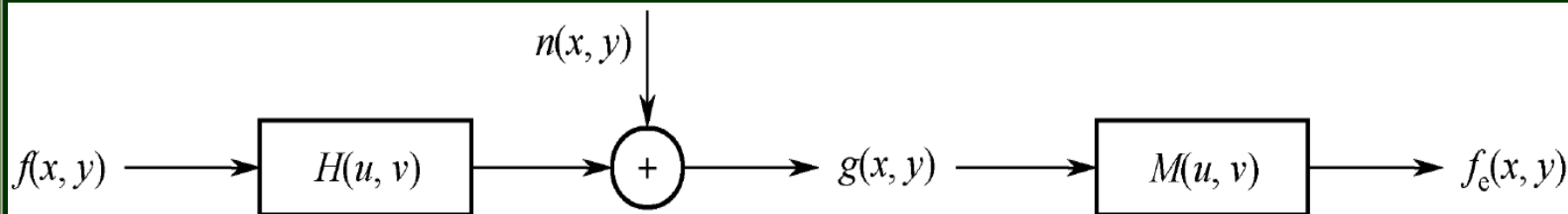
5.2 逆滤波

逆滤波模型

两个问题：

因为 $N(u, v)$ 是随机的，恢复不能精确
如果 $H(u, v)$ 在 UV 平面上取0，误差很大

恢复转移函数 $M(u, v)$





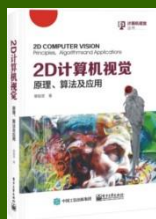
5.2 逆滤波

逆滤波模型

恢复转移函数 $M(u, v)$

$$M(u, v) = \begin{cases} \frac{1}{H(u, v)}, & \text{若 } u^2 + v^2 \leq w_0^2 \\ 1, & \text{若 } u^2 + v^2 > w_0^2 \end{cases}$$

$$M(u, v) = \begin{cases} k, & \text{若 } H(u, v) \leq d \\ \frac{1}{H(u, v)}, & \text{其他} \end{cases}$$



5.3 维纳滤波

有约束恢复

不仅从数学角度考虑还考虑到恢复后的图像应该受到一定的物理约束

考虑选取 f_e 的一个线性操作符 Q （变换矩阵），要使得 $\|Qf_e\|^2$ 最小

$$L(f_e) = \|Qf_e\|^2 + l\left(\|g - Hf_e\|^2 - \|n\|^2\right)$$

$$f_e = \left[H^T H + sQ^T Q \right]^{-1} H^T g$$



5.3 维纳滤波

维纳滤波器

最小均方误差滤波器

$$F_e(u, v) = \left\{ \frac{1}{H(u, v)} \times \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + s[S_n(u, v)/S_f(u, v)]} \right\} G(u, v)$$

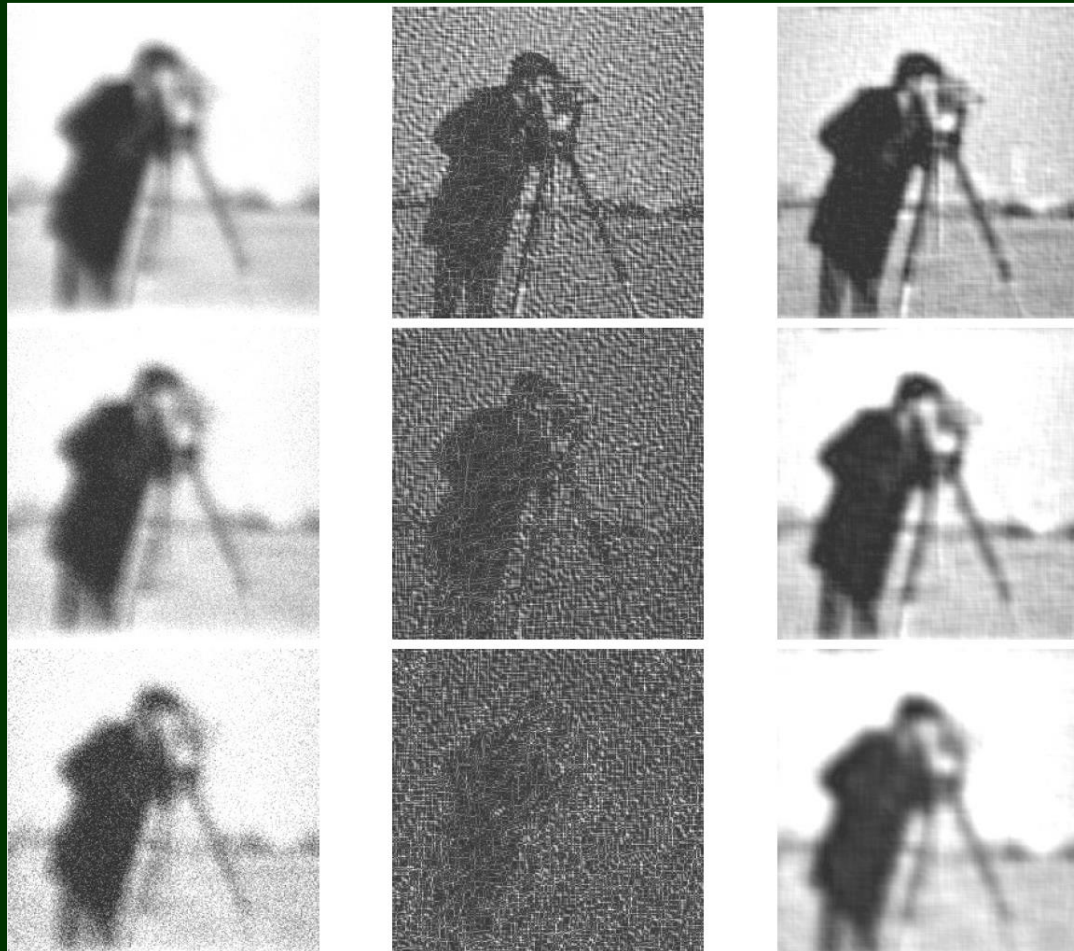
- 滤
- (1) 如果 $s = 1$ ，大方括号中的项就是维纳滤波器
 - (2) 如果 s 是变量，就称为参数维纳滤波器
 - (3) 当没有噪声时， $S_n(u, v) = 0$ ，维纳滤波器退化成逆滤波器



5.3 维纳滤波

维纳滤波器

逆滤波恢复
和维纳滤波
恢复的比较





5.4 几何失真校正

恢复原始场景中各部分之间的空间关系与图像中各对应像素间的空间关系发生变化（即产生了失真）前的对应关系

通过几何变换校正失真图像中各像素的位置

对于灰度图像，除了考虑空间关系外还要考虑灰度关系，即在进行几何失真校正的同时需要进行灰度校正以还原本来像素的灰度值

对图像的几何失真校正主要包括两个步骤：

①空间变换；②灰度插值



5.4 几何失真校正

空间变换

原图像 $f(x, y)$ 受到几何形变的影响变成失真图像 $g(x', y')$

$$\begin{aligned}x' &= S(x, y) \\ y' &= T(x, y)\end{aligned}$$

$S(x, y)$ 和 $T(x, y)$ 代表产生几何失真图像的两个空间变换函数

线性失真

$$\begin{aligned}S(x, y) &= k_1x + k_2y + k_3 \\ T(x, y) &= k_4x + k_5y + k_6\end{aligned}$$

二次失真

$$\begin{aligned}S(x, y) &= k_1 + k_2x + k_3y + k_4x^2 + k_5xy + k_6y^2 \\ T(x, y) &= k_7 + k_8x + k_9y + k_{10}x^2 + k_{11}xy + k_{12}y^2\end{aligned}$$



5.4 几何失真校正

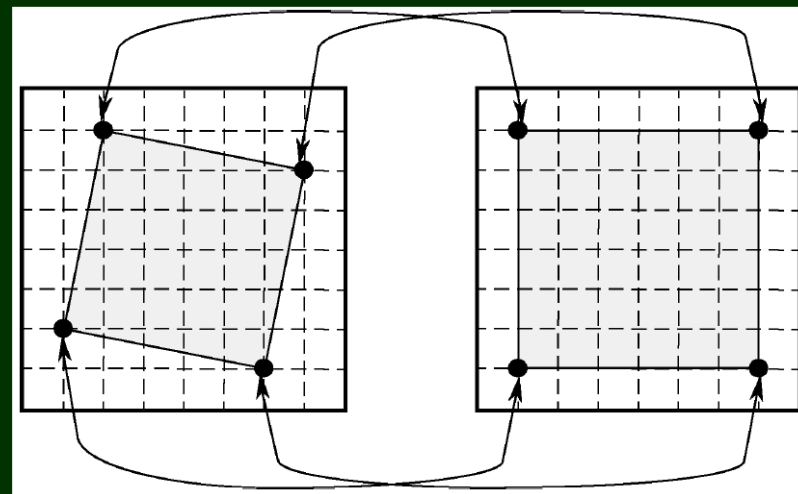
空间变换

需要在失真图像和校正图像上找一些已知确切位置的点（称为约束对应点），四边形区域的顶点可作为约束对应点

用一对双线性等式表示几何失真过程

$$S(x, y) = k_1x + k_2y + k_3xy + k_4$$

$$T(x, y) = k_5x + k_6y + k_7xy + k_8$$



$$x' = k_1x + k_2y + k_3xy + k_4$$

$$y' = k_5x + k_6y + k_7xy + k_8$$

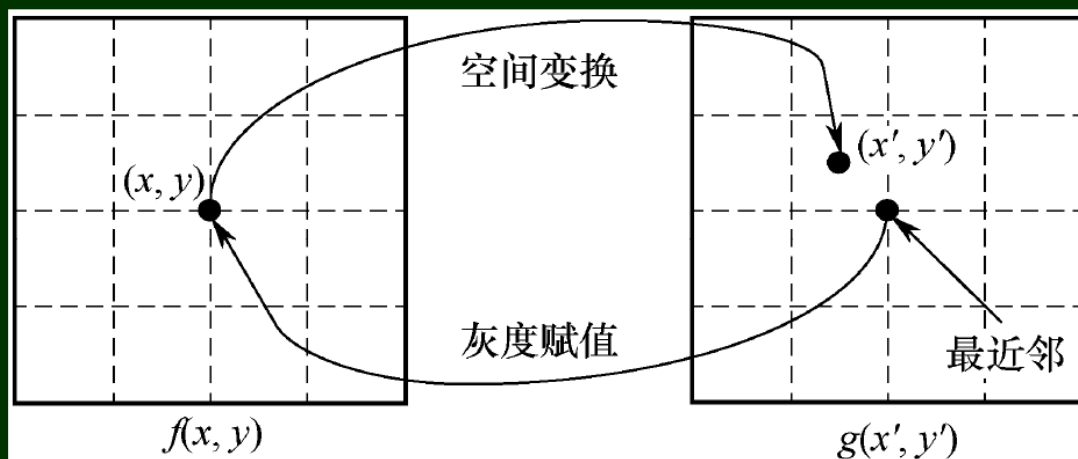


5.4 几何失真校正

灰度插值

对空间变换后的像素赋予相应的灰度值以恢复原位置应有的灰度值

灰度插值： 像素值仅在坐标为整数处有定义，在非整数处像素的值要借助周围一些整数处的像素值来计算



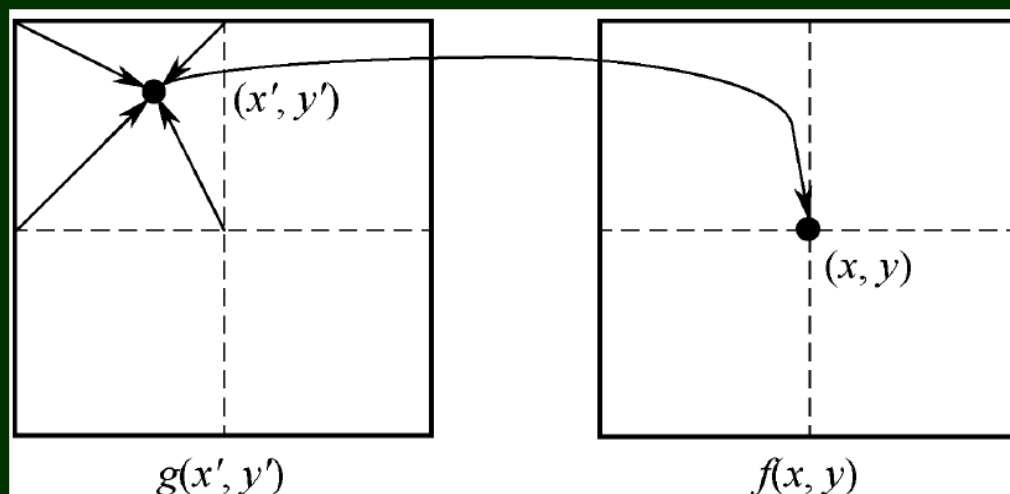


5.4 几何失真校正

灰度插值

灰度插值在实现时常采用以下方案

将灰度从原始的不失真图像中映射到实际采集的失真图像的像素上





5.4 几何失真校正

灰度插值

双线性插值（4个最近邻像素）

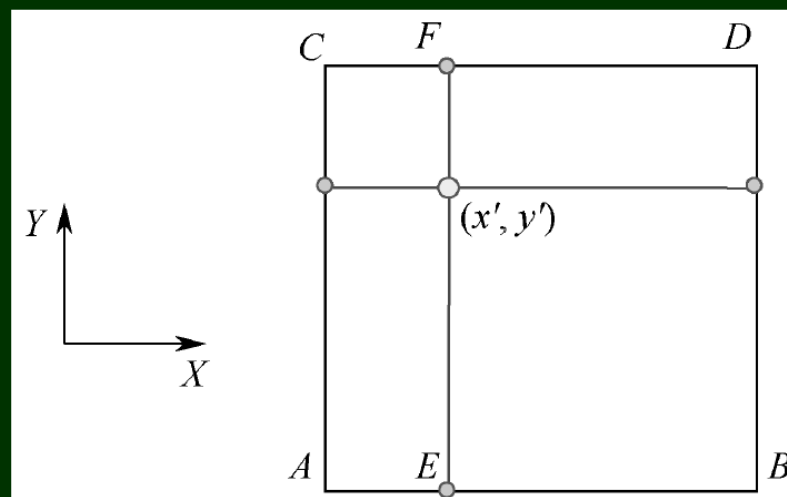
先利用比例关系（线性插值）计算 E 和 F 这2点的灰度值 $g(E)$ 和 $g(F)$ ：

$$g(E) = (x' - i)[g(B) - g(A)] + g(A)$$

$$g(F) = (x' - i)[g(D) - g(C)] + g(C)$$

类似地得到 (x', y') 点的值：

$$g(x', y') = (y' - j)[g(F) - g(E)] + g(E)$$





5.4 几何失真校正

灰度插值

双线性插值（3个最近邻像素）

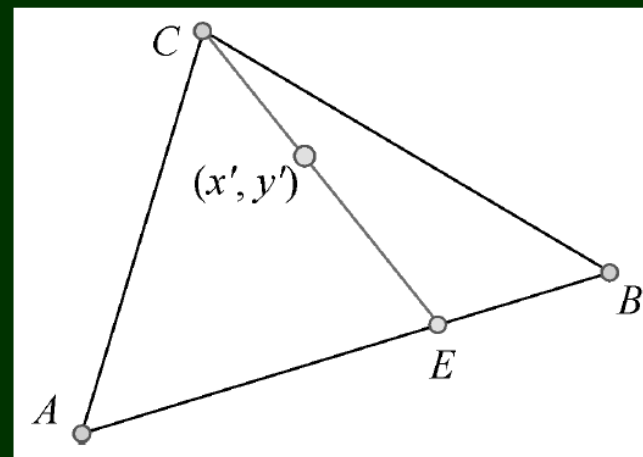
先根据 $g(A)$ 和 $g(B)$ 计算 E 点的灰度值 $g(E)$:

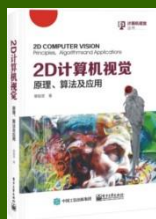
$$g(E) = \frac{x_E - x_B}{x_A - x_B} g(A) + \frac{x_A - x_E}{x_A - x_B} g(B)$$

再根据 $g(C)$ 和 $g(E)$

计算 (x', y') 点处的灰度值:

$$g(x', y') = \frac{x' - x_C}{x_E - x_C} g(E) + \frac{x_E - x'}{x_E - x_C} g(C)$$





5.5 图像修补

图像修补技术是一类有特色的图像恢复技术
针对图像的部分区域缺损或缺失，相邻像素
灰度急剧改变等情况

图像修补基于不完整的图像和对原始图像的先验知识，采用相应的方法纠正或校正前述区域缺损问题，以达到恢复图像原貌的目的

图像修补还可进一步分为图像修复和图像补全。两者采用的技术各有特点，修补的尺度不同，实现的应用功能也不同



5.5 图像修补

图像修补原理

图像缺损：某些区域有可能完全丢失，而其他区域有可能完全没有改变

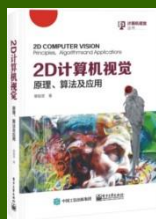


源区域： $F-D$

靶区域： D

模型：

$$[g(x, y)]_{F-D} = \{H[f(x, y)] + n(x, y)\}_{F-D}$$



5.5 图像修补

图像修补示例

图像小尺度修复：通过对靶区域进行逐个像素的扩散（将缺失区域周围的信息向缺失区域扩散）来达到修复图像的目的

全变分模型：

扩散代价函数

$$R[f] = \iint_F |\nabla f(x, y)| dx dy$$

考虑约束

$$\frac{1}{\|F - D\|} \iint_{F-D} |f - g|^2 dx dy = \sigma^2$$

$\|F-D\|$ 为区域 $F-D$ 的面积， s 是噪声均方差



5.5 图像修补

图像修补示例

转化成无约束问题

$$E[f] = \iint_F |\nabla f(x, y)| dx dy + \frac{\lambda}{2} \iint_{F-D} |f - g|^2 dx dy$$

引入扩展的拉格朗日因子 l_D

$$\lambda_D(r) = \begin{cases} 0, & r \in D \\ \lambda, & r \in F - D \end{cases}$$

$$J[f] = \iint_F |\nabla f(x, y)| dx dy + \frac{\lambda_D}{2} \iint_F |f - g|^2 dx dy$$

能量梯度下降方程

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \nabla \cdot \frac{\nabla f}{|\nabla f|} + \lambda_D(f - g)$$



5.5 图像修补

图像修补示例

图像小尺度修复示例



原始图像



需修补图像
(叠加了文字)



修补结果



5.5 图像修补

图像修补示例

图像大尺度补全：扩散会造成一定的模糊，直接复制常会导致修补结果不很理想

(1) 将图像分解为结构部分和纹理部分，对结构性强的部分用扩散方法，对纹理明显的部分则借助纹理合成

(2) 在图像未退化部分选择一些样本块，用这些样本块来替代拟填充区域边界处的图像块，并逐步向拟填充区域内部递进填充



5.5 图像修补

图像修补示例

图像大尺度补全示例



原始图像

需修补图像
(标记了需要
去除景物范围)

修补结果



5.6 各节要点和可参考的文献

- 1 图像退化模型
- 2 逆滤波
- 3 维纳滤波
- 4 几何失真校正
- 5 图像修补

自我检测题