

Introdução ao Processamento de Imagem Digital (MO443/MC920)

Prof. Alexandre Xavier Falcão

Primeiro semestre de 2005

1 Restauração de Imagens

Técnicas de restauração visam recuperar a imagem original a partir de uma imagem degradada, usando o conhecimento sobre a natureza da degradação— a qual pode ser determinística ou aleatória.

As degradações mais comuns ocorrem durante a aquisição da imagem. Alguns exemplos são:

1. Uma imagem de sensoriamento remoto com degradação gerada pela turbulência atmosférica, causada por variações de temperatura que desviam os raios de luz.
2. Uma imagem de microscopia ótica adquirida fora de foco.
3. Uma imagem fotográfica “borrada”, devido ao movimento relativo entre a câmera e o objeto.

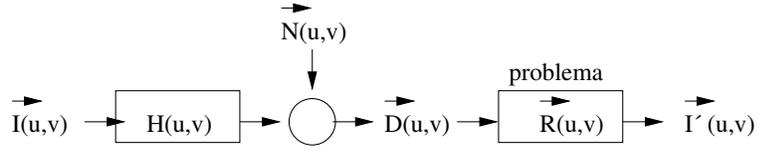
A estratégia básica da restauração de imagens é modelar o processo de degradação e aplicar o processo inverso. Vamos fazer isto usando nossos conhecimentos sobre sistemas lineares.

2 Modelos de degradação

Um modelo simples, mas bastante eficaz, assume que a imagem foi degradada por um filtro linear e invariante ao deslocamento, seguido de ruído aditivo.

Sejam $H(u, v)$ uma função real e simétrica de transferência do filtro (também chamada de *Point Spread Function* em analogia à resposta a um impulso de luz), $\vec{N}(u, v)$ o espectro em frequência de um ruído aditivo, $\vec{I}(u, v)$ o espectro da imagem original, e $\vec{D}(u, v)$ o espectro da imagem degradada (ver Figura 1).

$$\vec{D}(u, v) = \vec{I}(u, v)H(u, v) + \vec{N}(u, v). \quad (1)$$



O problema, portanto, consiste em encontrar o filtro $\vec{R}(u, v)$ que aproxima $\vec{I}'(u, v)$ do espectro $\vec{I}(u, v)$ da imagem original.

$$\vec{I}'(u, v) = \vec{D}(u, v)\vec{R}(u, v). \quad (2)$$

Se a restauração for perfeita, então $\vec{I}'(u, v) = \vec{I}(u, v)$, significando que

$$\vec{R}(u, v) = \frac{1}{H(u, v) + \frac{\vec{N}(u, v)}{\vec{I}(u, v)}}. \quad (3)$$

Este modelo pode ainda ser simplificado usando as técnicas abaixo.

2.1 Filtragem inversa

Assume-se que $\vec{N}(u, v) = 0$, e portanto, $\vec{R}(u, v) = R(u, v) = \frac{1}{H(u, v)}$ é uma função real e simétrica. Neste caso, uma atenção especial deve ser dada quando $H(u, v) = 0$ para algumas frequências (u, v) . Como normalmente, $H(u, v)$ tem características de passa-baixas, é comum assumir que

$$R(u, v) = \begin{cases} \frac{1}{H(u, v)}, & u^2 + v^2 \leq w^2 \\ 1, & \text{no c.c.} \end{cases} \quad (4)$$

para algum raio w .

2.2 Filtragem de Wiener

Assume-se que $I(u, v)$, $D(u, v)$, e $N(u, v)$ são processos estocásticos (campos aleatórios) estacionários e que as densidades espectrais, $\mathcal{S}_I(u, v)$ e $\mathcal{S}_N(u, v)$, da imagem original e do ruído são conhecidas. O Filtro de Wiener (filtro de mínimos quadrados) minimiza o erro quadrático médio $E[(\vec{I}'(u, v) - \vec{I}(u, v))^2]$ gerando

$$R(u, v) = \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + \frac{\mathcal{S}_N(u, v)}{\mathcal{S}_I(u, v)}} \frac{1}{H(u, v)}. \quad (5)$$

A relação ruído-sinal $\frac{\mathcal{S}_N(u, v)}{\mathcal{S}_I(u, v)}$ é normalmente substituída por uma constante (e.g. 10%), quando desconhecemos a natureza estatística do problema. Note que se $\frac{\mathcal{S}_N(u, v)}{\mathcal{S}_I(u, v)} = 0$, a filtragem de Wiener fica igual à filtragem inversa, e que a aproximação acima usada para tratar casos onde $H(u, v) = 0$ também se aplica aqui. A questão agora é como encontrar $H(u, v)$.

2.3 Modelando $H(u, v)$

Voltando aos exemplos mais comuns de degradação, $H(u, v)$ pode ser modelada da seguinte forma:

1. Turbulência atmosférica

Neste caso, $H(u, v)$ pode ter a forma de uma distribuição de impulsos aleatórios, caso o tempo de exposição para aquisição da imagem seja curto, ou pode ter a forma de uma Gaussiana para tempos de exposição prolongados. O primeiro caso é mais complexo e o segundo resulta em

$$H(u, v) = \exp[-c(u^2 + v^2)^d], \quad (6)$$

onde c e d são constantes, porém c depende do tipo de turbulência e d pode ser encontrada experimentalmente (e.g. $d = 5/6$ ou 1).

2. Imagem fora de foco

$$H(u, v) = \frac{J_1(r+w)}{r+w}$$

$$J_1(r+w) = \left(\frac{r+w}{2}\right) \left[1 + \dots + \frac{(-1)^n}{n!(n+1)!} \left(\frac{r+w}{2}\right)^{2n} + \dots\right], \quad (7)$$

onde $J_1(r+w)$ é uma função de Bessel de primeira ordem, deslocada de $w > 0$ para ter valor máximo na origem, e $r^2 = u^2 + v^2$.

3. Imagem “borrada” pelo movimento

O movimento relativo entre a câmera e o objeto pode ser modelado no domínio espacial como

$$D(x, y) = \int_{-T/2}^{T/2} I(x - x'(t), y - y'(t)) dt, \quad (8)$$

onde T é o tempo de exposição da câmera, $x'(t)$ e $y'(t)$ são os deslocamentos dos pontos da cena ao longo de x e y em função do tempo t . No domínio da frequência temos

$$\vec{D}(u, v) = \vec{I}(u, v) \int_{-T/2}^{T/2} \exp[-j2\pi(ux'(t) + vy'(t))] dt. \quad (9)$$

Assumindo, por exemplo, movimento uniforme do objeto na direção x com velocidade constante V , $x'(t) = Vt$ e $y'(t) = 0$,

$$\vec{D}(u, v) = \vec{I}(u, v) \frac{\sin(\pi uVT)}{\pi uV}. \quad (10)$$

Isto é, $H(u, v) = T \frac{\sin(\pi uVT)}{\pi uVT}$.