Departamento de Engenharia Electrotécnica
Faculdade de Ciências e Tecnologia
UNIVERSIDADE de COIMBRA

VISÃO POR COMPUTADOR

2º Semestre **Ano lectivo 2014/2015**

Estimação de Movimento
(Cálculo do Fluxo Óptico)

O processo mais directo de estimar a velocidade na imagem de um corpo consiste em diferenciar a sua localização na imagem ao longo do tempo, isto é, obter a sua velocidade com base em informação temporal de posição. No entanto este processo obriga ao conhecimento da sua localização na imagem. No caso de corpos não rígidos isso pode implicar dificuldades adicionais. Este processo é também dependente do nível de ruído existente nas imagens.

Uma solução para a estimação da velocidade na imagem de um objecto consiste em calcular explicitamente as componentes de movimento projectadas na imagem (fluxo óptico). O fluxo óptico é definido como o deslocamento aparente dos padrões de brilho na imagem obtendo-se para cada ponto da imagem (x, y) um vector de velocidade que representa a velocidade estimada para esse ponto. O seu cálculo pode ser realizado de várias formas. Em particular o cálculo pode ser feito com base nos métodos baseados no gradiente.

Estimação do fluxo baseada no gradiente

$I(x, y, t)$ representa o brilho no pixel (x, y) no instante de tempo t. Para cada pixel estima-se um vector de velocidade, criando-se um campo de vectores de velocidade designado por fluxo óptico. Sejam (v_x, v_y) as componentes do vector velocidade no pixel (x, y). Após um intervalo de tempo Δt o ponto (x, y) desloca-se na imagem para o ponto de coordenadas $(x + v_x.\Delta t, y + v_y.\Delta t)$. Considerando que o brilho do pixel não mudou (conservação do brilho da imagem) verifica-se então que:

$$I(x, y, t) = I(x + v_x.\Delta t, y + v_y.\Delta t, t + \Delta t)$$

Ou, o que é equivalente (dada a constância do brilho),

$$\frac{dI}{dt} = 0 \qquad (1)$$

A função $I(x,y,t)$ depende das coordenadas espaciais da imagem, x e y e também do tempo t. Por outro lado x e y são por sua vez também função do tempo t. Assim a derivada total na Equação (1) não se deve confundir com a derivada parcial $\partial I/\partial t$. Aplicando a regra da diferenciação de funções compostas obtém-se para a derivada temporal total,

$$\frac{dI(x(t),y(t),t)}{dt}=\frac{\partial I}{\partial x}\frac{dx}{dt}+\frac{\partial I}{\partial y}\frac{dy}{dt}+\frac{\partial I}{\partial t}=0 \qquad (2)$$

A derivadas parciais do brilho em relação a x e y são simplesmente as componentes do gradiente espacial da imagem ∇I e as derivadas em ordem ao tempo dx/dt e dy/dt são as componentes do fluxo óptico (v_x, v_y). Ou seja tem-se

$$I_x v_x + I_y v_y + I_t = 0 \qquad (3)$$

Ou ainda $\nabla I.(v_x, v_y) + I_t = 0$.

A Equação (3) é uma equação com duas incógnitas v_x e v_y. Consequentemente o vector velocidade não pode ser calculado sem restrições adicionais. Assim uma forma de resolver o problema é a de minimizar a função:

$$E=\sum_{x,y}(I_x v_x + I_y v_y + I_t)^2 \qquad (4)$$

Para isso é necessário especificar uma forma para as componentes do vector velocidade (v_x, v_y). Se se considerar que v_x e v_y são constantes ou seja que se tem,

$$v_x = a_x$$
$$v_y = a_y$$

As componentes do vector velocidade podem ser obtidas como solução do sistema de equações,

$$\begin{aligned}\left(\sum_i I_{x_i}^2\right).a_x+\left(\sum_i I_{x_i}.I_{y_i}\right).a_y&=-\sum_i I_{x_i}.I_{t_i}\\ \left(\sum_i I_{x_i}.I_{y_i}\right).a_x+\left(\sum_i I_{y_i}^2\right).a_y&=-\sum_i I_{y_i}.I_{t_i}\end{aligned} \qquad (5)$$

Que se obtém derivando a Equação (4) em ordem às componentes do vector velocidade a_x e a_y e igualando a zero.

Se, por outro lado, especificarmos que v_x e v_y têm a forma (modelo afim):

$$\begin{aligned}v_x&=a_x+b_x.x+c_x.y\\ v_y&=a_y+b_y.x+c_y.y\end{aligned} \qquad (6)$$

Então se substituirmos as expressões de v_x e v_y (Equação (6)) na Equação (3), e derivarmos a Equação (3) em ordem às componentes do vector velocidade ($a_x, b_x, c_x, a_y, b_y, c_y$) e igualando a zero, obtém-se:

$$\begin{bmatrix} \sum I_x^2 & \sum xI_x^2 & \sum yI_x^2 & \sum I_xI_y & \sum xI_xI_y & \sum yI_xI_y \\ \sum xI_x^2 & \sum x^2I_x^2 & \sum xyI_xI_y & \sum xI_xI_y & \sum x^2I_xI_y & \sum xyI_xI_y \\ \sum yI_x^2 & \sum xyI_x^2 & \sum y^2I_x^2 & \sum yI_xI_y & \sum xyI_xI_y & \sum y^2I_xI_y \\ \sum I_xI_y & \sum xI_xI_y & \sum yI_xI_y & \sum I_y^2 & \sum xI_y^2 & \sum yI_y^2 \\ \sum xI_xI_y & \sum x^2I_xI_y & \sum xyI_xI_y & \sum xI_y^2 & \sum x^2I_y^2 & \sum xyI_y^2 \\ \sum yI_xI_y & \sum xyI_xI_y & \sum y^2I_xI_y & \sum yI_y^2 & \sum xyI_y^2 & \sum y^2I_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ b_x \\ c_x \\ a_y \\ b_y \\ c_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum I_xI_t \\ \sum xI_xI_t \\ \sum yI_xI_t \\ \sum I_yI_t \\ \sum xI_yI_t \\ \sum yI_xI_t \end{bmatrix}$$

Obtenção das derivadas parciais

As derivadas parciais I_x, I_y e I_t são obtidas por meio de diferenciação numérica, por exemplo, num cubo 2x2x2. Os elementos deste cubo dão os valores dos pixels numa região de uma imagem, em duas imagens consecutivas. Se se representar o nível de cinzento no pixel (x, y) no instante de tempo t por $I(i, j, t)$, as derivadas parciais são aproximadas por,

$$I_x \approx \frac{1}{4}\big(I(i+1, j, t) + I(i+1, j, t+1) + I(i+1, j+1, t) + I(i+1, j+1, t+1)\big) -$$
$$-\frac{1}{4}(I(i, j, t) + I(i, j, t+1) + I(i, j+1, t) + I(i, j+1, t+1))$$

$$I_y \approx \frac{1}{4}\big(I(i, j+1, t)\big) + I(i, j+1, t+1) + I(i+1, j+1, t) + I(i+1, j+1, t+1)) -$$
$$-\frac{1}{4}(I(i, j, t) + I(i, j, t+1) + I(i+1, j, t) + I(i+1, j, t+1))$$

$$I_t \approx \frac{1}{4}(I(i, j, t+1) + I(i, j+1, t+1) + I(i+1, j, t+1) + I(i+1, j+1, t+1)) -$$
$$-\frac{1}{4}(I(i, j, t) + I(i, j+1, t) + I(i+1, j, t) + I(i+1, j+1, t))$$

Calculando as derivadas parciais por meio destas expressões, as componentes do vector velocidade são calculadas no centro do cubo 2x2x2, ou seja entre cada 4 pixels de uma imagem e entre duas imagens consecutivas.

TRABALHO:

Pretende-se neste trabalho efectuar o cálculo das componentes de movimento de uma sequência de imagens (fluxo óptico).

Trabalho a realizar :

1. Utilize a imagem “peppers.png” já usada em trabalho anterior.

2. Simule a existência de movimento, criando uma segunda imagem na qual se deslocou a imagem "peppers" nas seguintes direcções (crie uma imagem para cada deslocação):
    - 2 pixels na horizontal
    - 2 pixels na vertical
    - 2 pixels na diagonal
3. Calcule o fluxo óptico na imagem considerando o modelo constante para o movimento (calcule o fluxo por regiões/janelas da imagem e não apenas um vector para toda a imagem).
   NOTA: Para tal basta analisar pares de imagens consecutivas.
4. Repita o ponto 3, mas considerando o modelo afim para o movimento (calcule também por regiões/janelas e não apenas um vector para toda a imagem).
5. Para os pontos 3 e 4 calcule os vectores médios de movimento e compare-os com o movimento original imposto. Determine também o seu desvio padrão (em módulo e direcção).
6. Apresente na imagem os vectores de movimento.
   NOTA: Apresente os vectores em pontos suficientemente espaçados entre si de modo a permitir visualizar o fluxo de movimento (Ex: 20 pixeis)
7. Repita os pontos 3, 4 e 5 para a sequência de imagens mas agora com dois movimentos simultâneos (regiões diferentes da imagem têm movimentos diferentes). Para tal, simule vários movimentos na imagem, escolhendo sub-janelas da imagem peppers às quais se aplicam diferentes tipos de movimentos, por exemplo novimento horizontal, vertical e diagonal.
8. Apresente na imagem os vectores de movimento.
9. Repita os pontos 3, 4 e 5 para três sequências, com movimentos de 6 pixels, na horizontal, vertical e diagonal. Faça variar as dimensões das janelas usadas na estimação dos gradientes e do fluxo óptico e veja o seu efeito nas estimativas.