

# Visão Computacional

## Aula 21

Movimento em Imagens

Rastreamento Visual utilizando métodos estocásticos

# Rastreamento Visual

- Divisão proposta por Forsyth *et al.*, 2003
  - Métodos Estocásticos
    - Métodos por Estimação de Estados
    - Métodos por Associação de Dados

# Rastreamento Visual

- Métodos por Estimação de Estados
  - Filtro de Kalman (Aula de hoje!)
  - Filtro de Interação por Múltiplos Modelos - IMM

# Rastreamento Visual

- Métodos por Associação de Dados
  - Procedimento por Bloqueamento
  - Filtro de Vizinhança-próxima
  - Filtro de Associação Probabilística Conjunta de Dados
  - Filtro de Rastreamento por Múltiplas Hipóteses

# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Filtro de Kalman:
  - Criador R. E. Kalman;
  - Artigo de maior relevância publicado em 1960;
  - Apresentou a solução recursiva para o problema da Filtragem Linear discreta de dados;
- Extensiva Pesquisa e aplicações nas áreas:
  - Navegação autônoma e assistida;
  - Planejamento de sistemas de transportes;
  - Detecção de falhas e isolamento de sensores em aeronaves;
  - Sistema de controle visual para robôs móveis;
  - ...

# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- O Filtro de Kalman
  - Oferece ferramenta recursiva para realizar a estimação do estado de um processo a partir da minimização da função quadrática do erro, utilizando variáveis de observação.
  - Estimativas de Posição;
  - Incertezas do movimento da *ROI* ;
  - Determinar a posição *ROI* na imagem em  $t+1 \rightarrow Rastreamento$ ;

# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Equações do Filtro de Kalman (*Chui & Chen, 1999*)

*Modelo Utilizado* → 
$$\begin{aligned} \mathbf{p}_k &= \mathbf{p}_{k-1} + \mathbf{v}_{k-1} + \xi_{k-1} \\ \mathbf{v}_k &= \mathbf{v}_{k-1} + \eta_{k-1} \end{aligned} \tag{1}$$

$$\mathbf{p}_k = [\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k]^T \quad \mathbf{v}_k = [\mathbf{v}_{x,k}, \mathbf{v}_{y,k}]^T$$

*Em notação compacta:*

$$\mathbf{x}_k = A_{k-1} \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} \tag{2}$$

# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Equações de Evolução do Filtro de Kalman

$$\hat{\mathbf{x}}_k^- = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}_{k-1} + \mathbf{B}\mathbf{u}_{k-1}$$

$$\mathbf{P}_k^- = \mathbf{A}\mathbf{P}_{k-1}\mathbf{A}^T + \mathbf{Q}$$

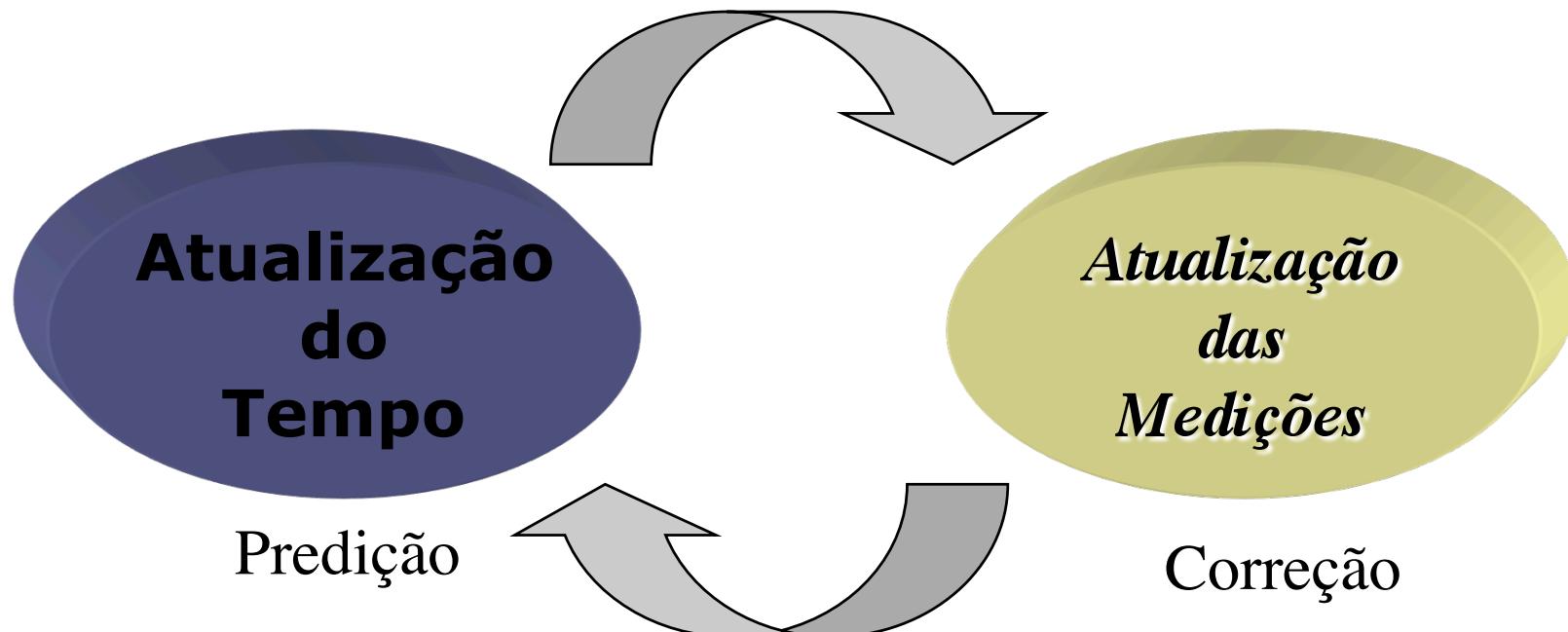
$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_k^- \mathbf{H}^T (\mathbf{H} \mathbf{P}_k^- \mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1}$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + \mathbf{K}(\mathbf{z}_k - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}}_k)$$

$$\mathbf{P}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}) \mathbf{P}_k^-$$

# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Em síntese:



# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- As principais formas variantes do Filtro de Kalman
  - *Filtro de Kalman Estendido (EKF)*
  - *Filtro de Kalman Unscented (UKF)*

# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Filtro de Kalman Estendido (EKF)
  - Aplicações não-lineares (mundo real);
  - Realiza a linearização da média e covariância atual, dispensando métodos tradicionais (Ex.: Séries de Taylor);
  - As matrizes que descrevem o processo são recalculados para cada passo  $k$  de execução do algoritmo;
  - Realiza de forma análoga o processo de atualização do tempo e das medições;

# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Filtro de Kalman Unscented (UKF)
  - Inicialmente proposto por Julier e Hulman (1995, 1996 e 1997);
  - Filtro totalmente não-linear;
  - Necessita um conjunto mínimo de pontos de amostragem (*sigma points*);
  - Obtenção da média e covariância de forma mais precisa (evitando o cálculo do Jacobiano das matrizes);
  - Existem variantes do UKF nas formas:
    - Aditivas
    - Rao-Blackwellised (Método de Rao-Blackwell)
    - Aditiva e Rao-Blackwellised

# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Filtro de Kalman Aplicado ao Rastreamento Visual
  - O Filtro de Kalman pode ser usado em:
    - Estimar a posição de um ponto característico no quadro seguinte
    - Calcula as incertezas desta estimação, permitindo definir o grau de confiabilidade de encontrar este ponto característico na próxima imagem;
  - Modelo do Movimento no Domínio da Imagem

$$x_k = x_{k-1} + u_{k-1}\Delta t$$

$$y_k = y_{k-1} + v_{k-1}\Delta t$$

$$u_k = u_{k-1}$$

$$v_k = v_{k-1}$$

# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Filtro de Kalman Aplicado ao Rastreamento Visual
  - Modelo do Movimento no Domínio da Imagem

$$\mathbf{x}_k = \Phi_{k-1} \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1}$$

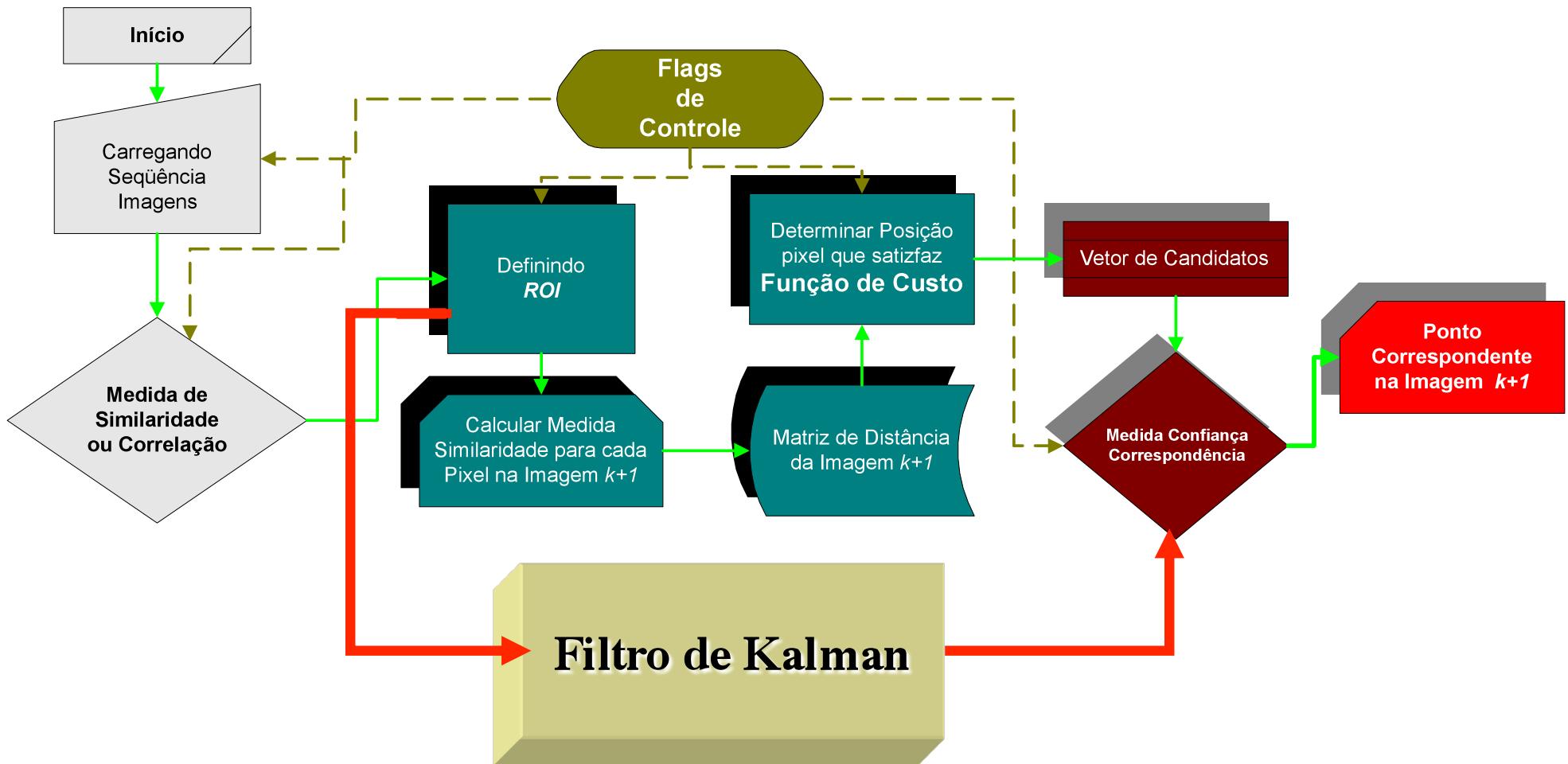
# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Filtro de Kalman Aplicado ao Rastreamento Visual
  - Modelo do Movimento no Domínio da Imagem

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k$$

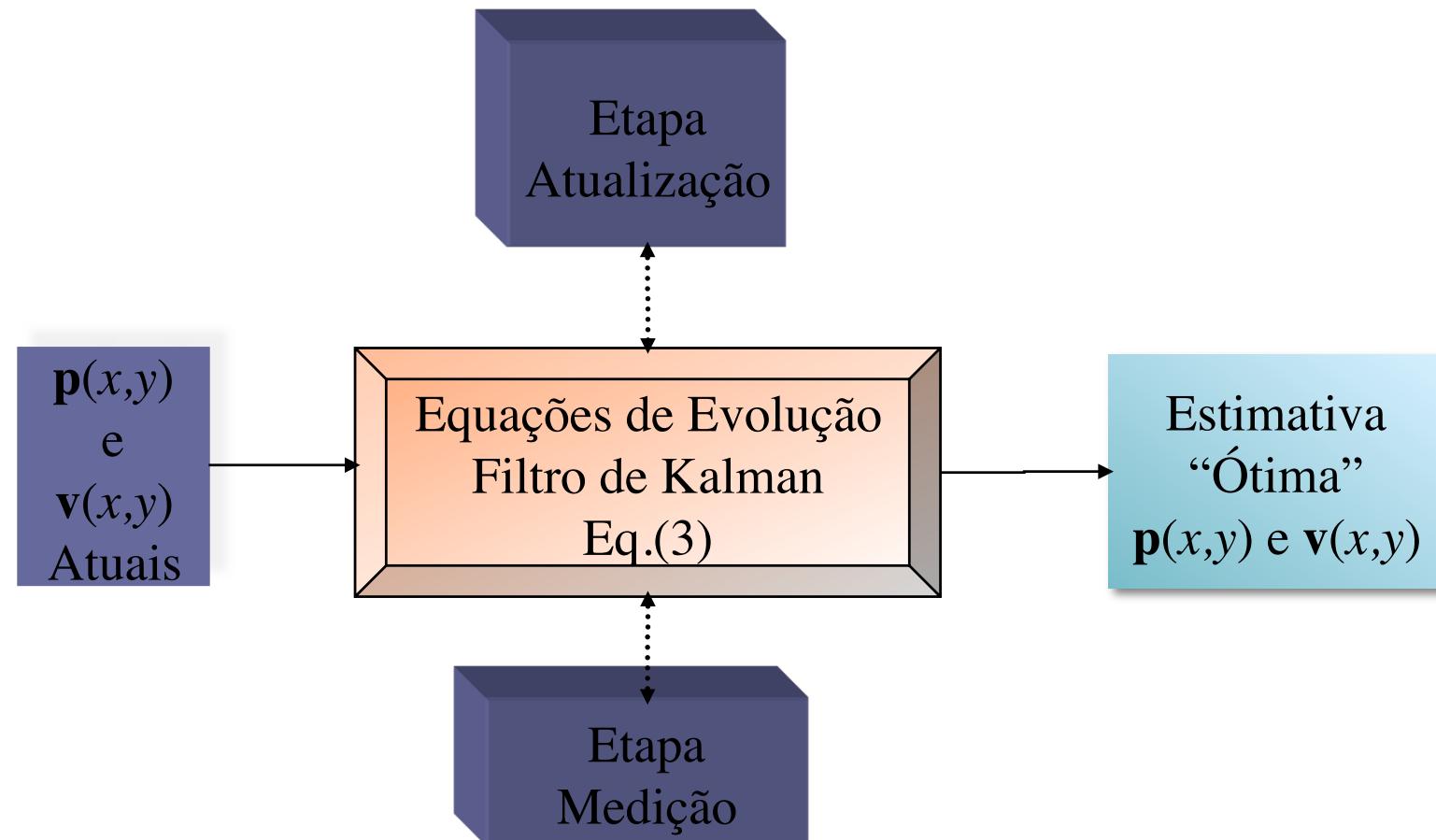
# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Algoritmo WM e Filtro de Kalman (WM+K)



# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Algoritmo WM e Filtro de Kalman (WM+K)



# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Aplicação do Algoritmo WM+K
  - Seqüência Encontro de Pessoas no Shopping
    - Variação horizontal, vertical e profundidade em ambiente “cluttered”;
    - Tamanho da Imagem: 384 x 288 px;
    - Formato: JPG



# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Algoritmo WM Somente



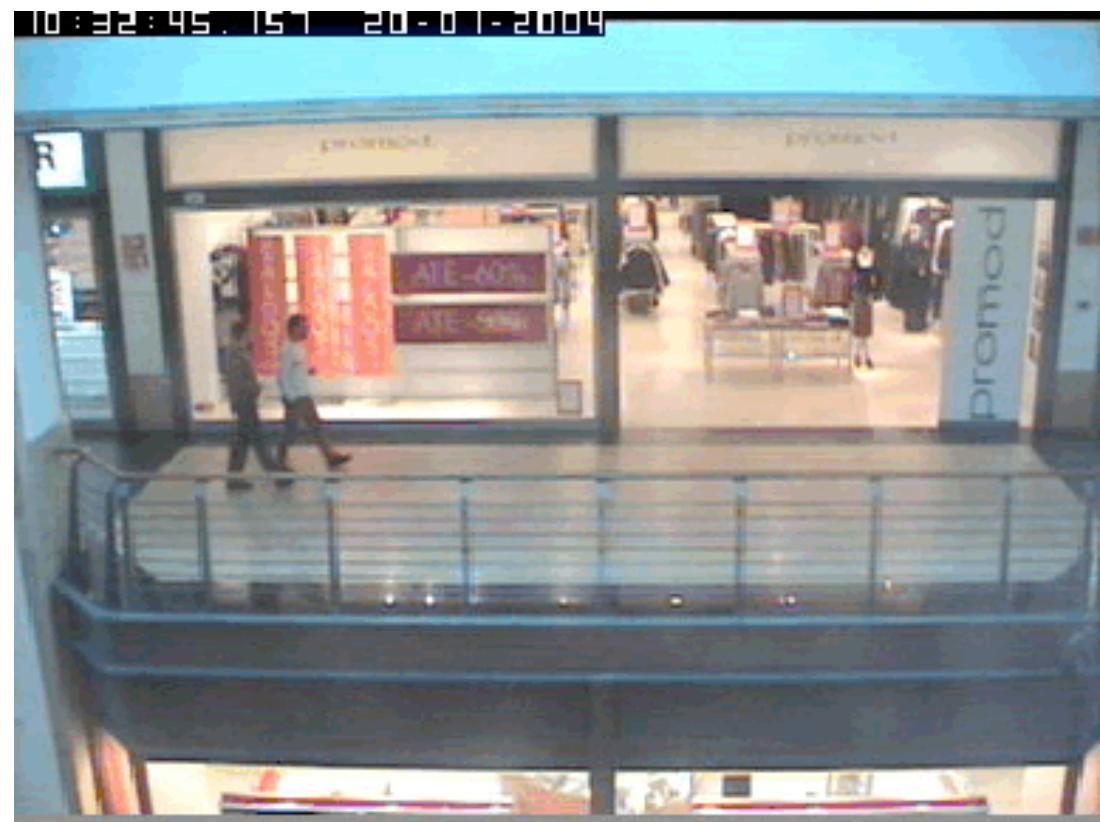
# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Algoritmo WM+K



# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Aplicação do Algoritmo WM+K
  - Seqüência Caminhada de Pessoas no Shopping
    - Movimento horizontal em ambiente “cluttered”;
    - Oclusão Parcial;
    - Tamanho Imagem: 384 x 288 px;
    - Formato: JPG



# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Algoritmo WM Somente



# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Algoritmo WM+K



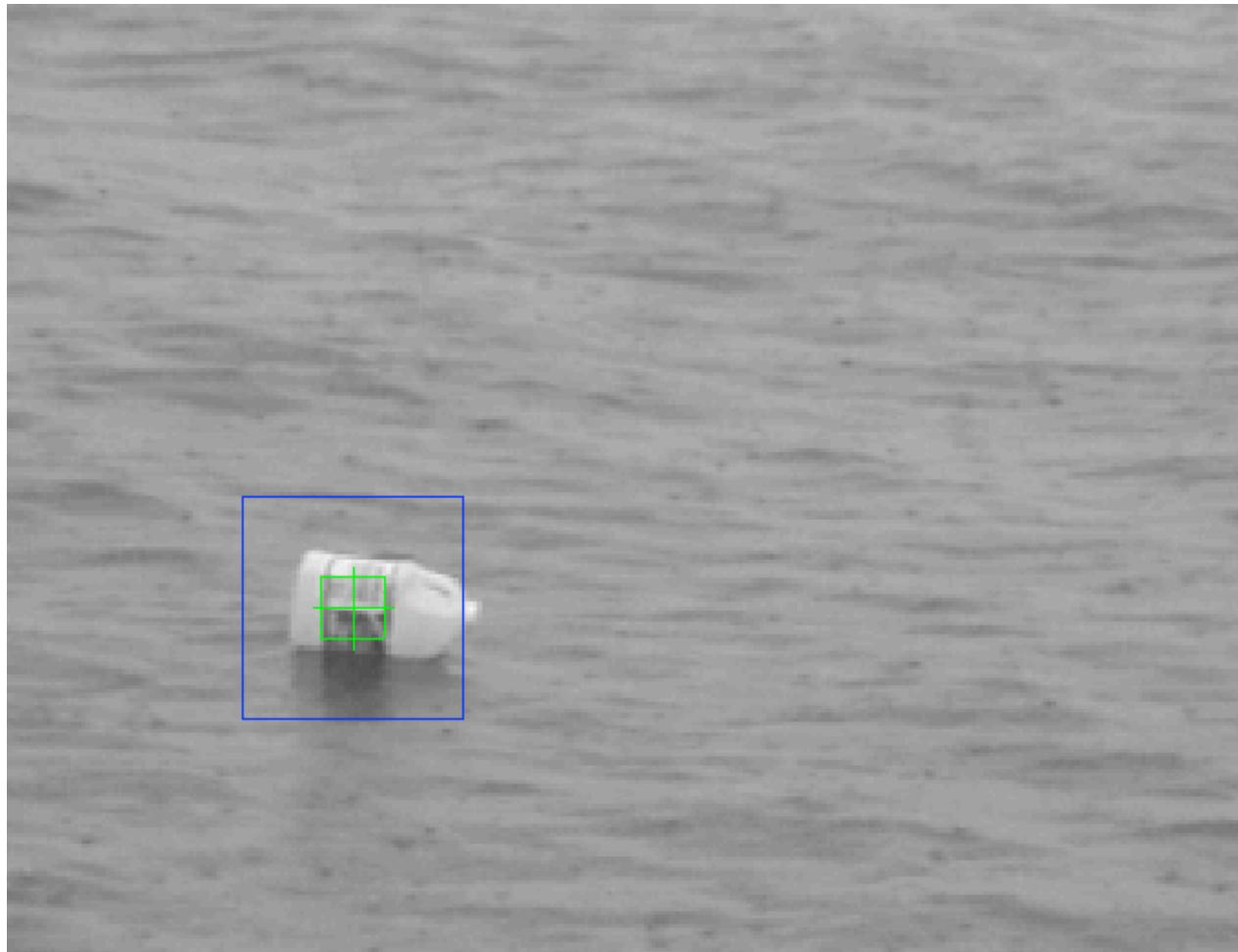
# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Aplicação do Algoritmo WM+K
  - Seqüência Objeto flutuando no Mar
    - Movimento horizontal, vertical e variação de profundidade;
    - Efeito Bluring e Aliasing;
    - Fundo com movimento não-rígido;
    - Tamanho Imagem: 320 x 240 px;
    - Formato: BMP



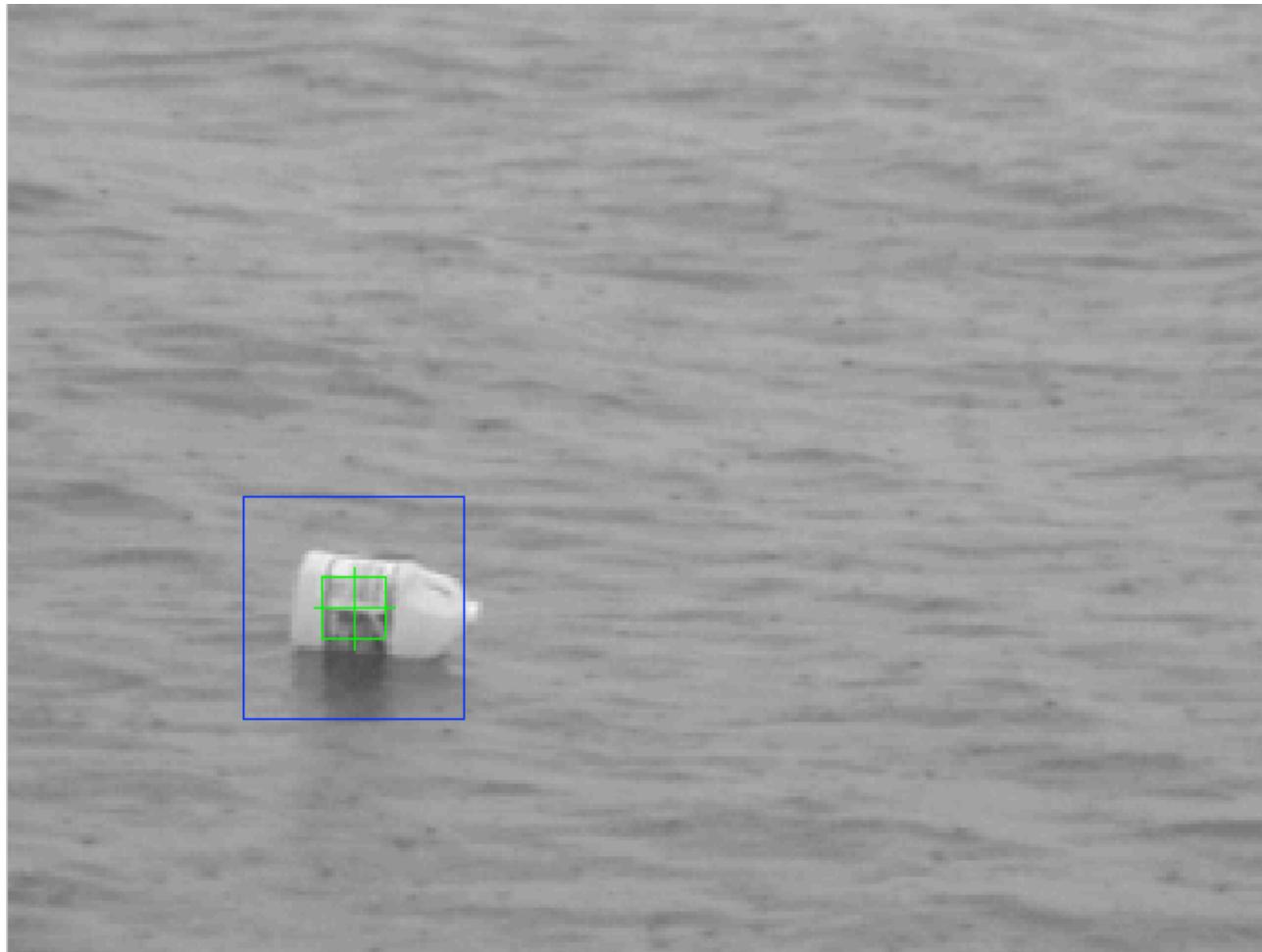
# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Algoritmo WM Somente



# Filtragem Estocástica no Rastreamento Visual

- Algoritmo WM+K



# Próxima aula...

- Preparação para os Seminários