UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Estimação e controle da posição de um robô móvel utilizando filtro de Kalman descentralizado

Felipe Kühne, Sérgio R. Suess, Carlos A. H. Claro e Walter F. Lages

ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Estrutura do trabalho

1. Introdução
2. Modelo do robô móvel
3. Realimentação linearizante
4. Filtro de Kalman
5. Resultados
6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Introdução

- Problema de navegação de um robô móvel:
  - Obtenção da atual configuração

⇩

Sensores acoplados ao veículo

  - Robôs com rodas ⇨ encoders ⇨ ***odometria***.

Introdução

- ***Odometria:***
  - VANTAGEM: técnica barata e de fácil implementação;
  - DESVANTAGEM: sensores de medida relativa ⇨ acúmulo ilimitado de erros.
- ***Solução:***
  - Uso de sensores de medida absoluta e com domínios de informação sobrepostos ⇨ ***GPS*** e ***bússolas eletrônicas***.

Introdução

- Sistema com diversos sensores, cada um provendo uma informação diferente:
  - estimador de estados:
    - estimativa ***local***
  - fusão dos dados:
    - estimativa ***global***
- ***Filtro de Kalman***

Introdução

- Arquitetura proposta:
  - estrutura descentralizada composta de nodos totalmente conectados:
    - combinação das informações através do KF (obtenção de medidas mais precisas)
  - aplicação de um controle linearizante para a posição do robô.

UFRGS UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Introdução

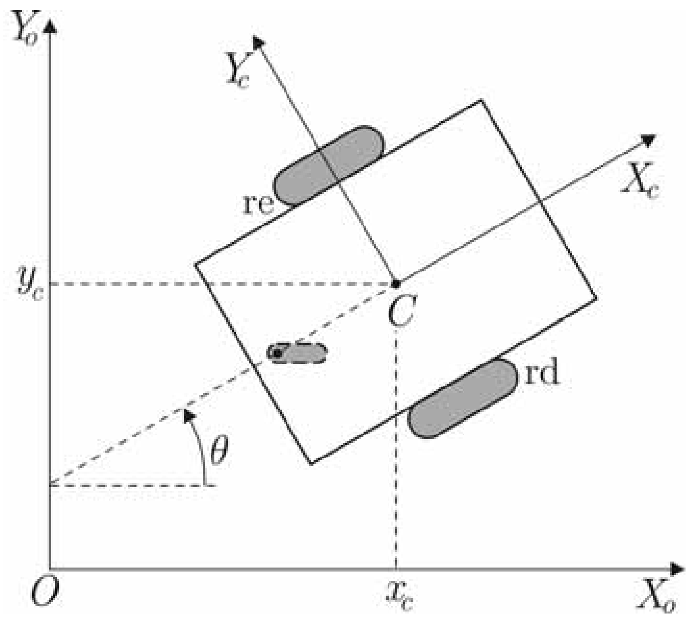
ESCOLA DE ENGENHARIA UFRGS

- Arquitetura proposta:
  - VANTAGENS: modularidade, robustez, confiabilidade e flexibilidade;
  - DESVANTAGENS: excesso de comunicação.

UFRGS UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Modelo cinemático

ESCOLA DE ENGENHARIA UFRGS



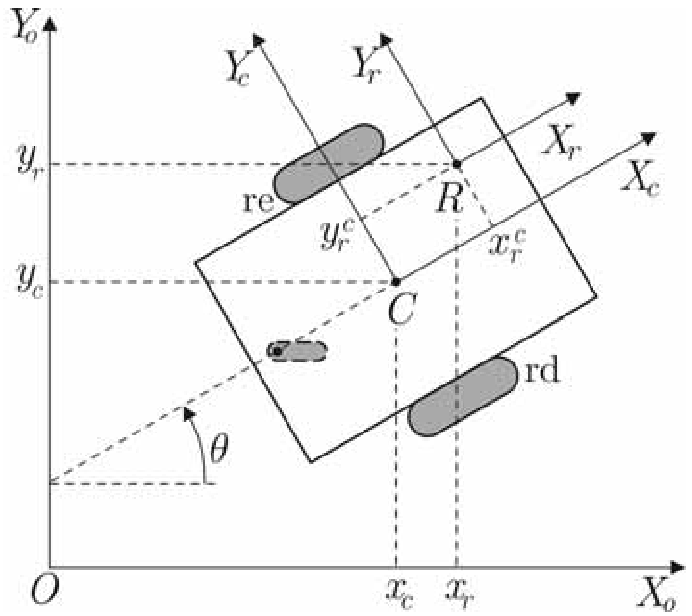
Modelo cinemático:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

$$\dot{\mathbf{x}} = f(\mathbf{x})\mathbf{u}$$

UFRGS UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Modelo cinemático



Modelo cinemático:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

$$\dot{\mathbf{x}} = f(\mathbf{x})\mathbf{u}$$

Saída: posição do ponto R

$$\mathbf{y}_s(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_c + x_r^c \cos\theta - y_r^c \sin\theta \\ y_c + x_r^c \sin\theta + y_r^c \cos\theta \end{bmatrix}$$

UFRGS UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Realimentação Linearizante

Diferenciar a saída até que a entrada apareça na expressão:

$$\mathbf{y}_s^{(n)}(\mathbf{x}) = \alpha(\mathbf{x}) + \beta(\mathbf{x})\mathbf{u}(\mathbf{x})$$

Realimentação: $\mathbf{u}(\mathbf{x}) = \beta(\mathbf{x})^{-1}\mathbf{v}(\mathbf{x}) - \alpha(\mathbf{x})$

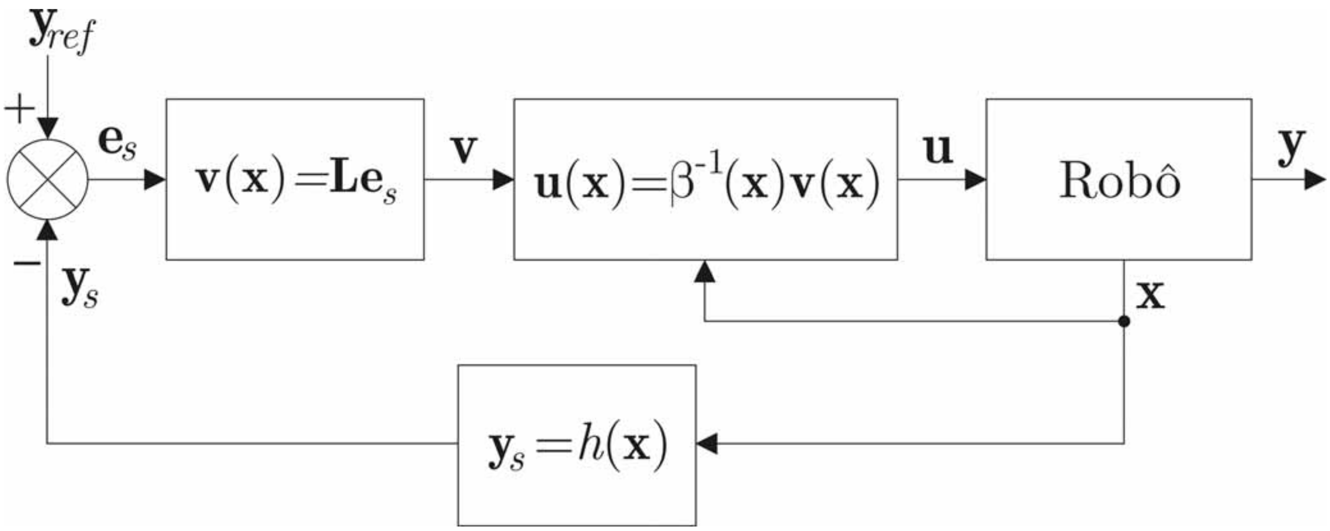
$$\alpha(\mathbf{x}) = 0$$

$$\beta(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -(x_r^c \sin\theta + y_r^c \cos\theta) \\ \sin\theta & x_r^c \cos\theta - y_r^c \sin\theta \end{bmatrix}$$

UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

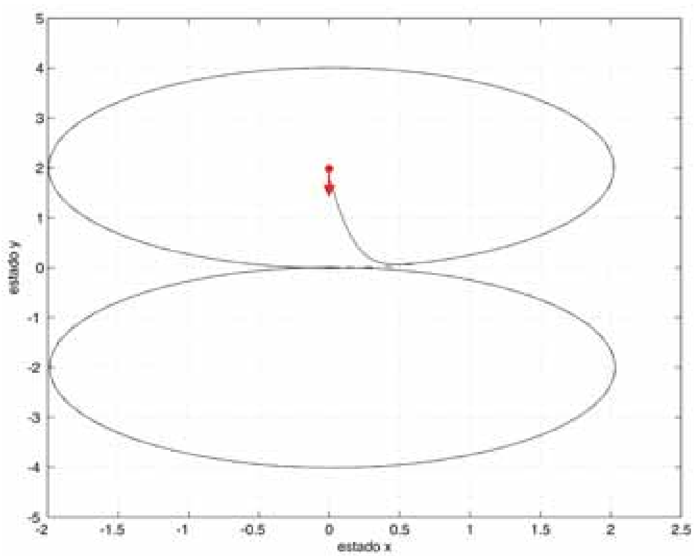
Realimentação Linearizante

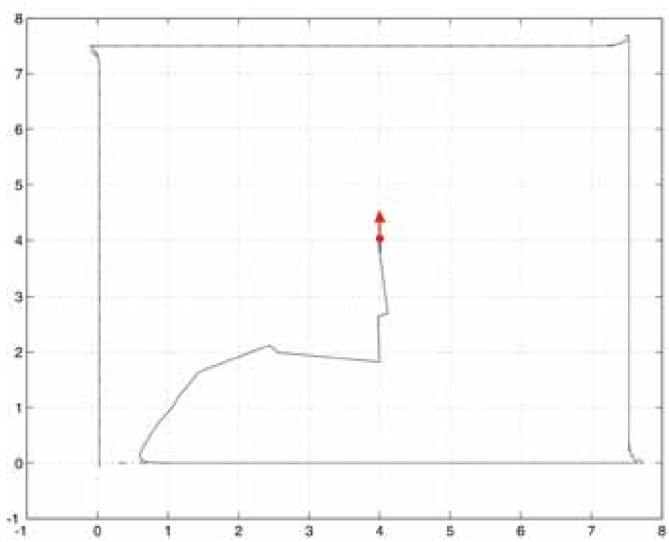
Lei de controle linear: $\mathbf{v} = \mathbf{L}\left(\mathbf{y}_{ref} - \mathbf{y}_s\right)$



UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Realimentação Linearizante





O Filtro de Kalman

- Considerando a saída do sistema como sendo os sinais:
  - do encoder (***posição e orientação***)
  - do GPS (***posição***)
  - da bússola (***orientação***)
- Expressão de saída:

$$\mathbf{y}(k) = [x_{enc}(k) \;\; y_{enc}(k) \;\; x_{gps}(k) \;\; y_{gps}(k) \;\; \theta_{enc}(k) \;\; \theta_{bus}(k)]^T$$

CBA'04 - PPGEE - UFRGS

O Filtro de Kalman

- Assumindo a existência de ruídos aditivos, tem-se o seguinte modelo:

$$\mathbf{x}(k+1) = f(\mathbf{x}(k))\mathbf{u}(k) + \mathbf{w}(k)$$
$$\mathbf{y}(k) = h(\mathbf{x}(k)) + \mathbf{v}(k)$$

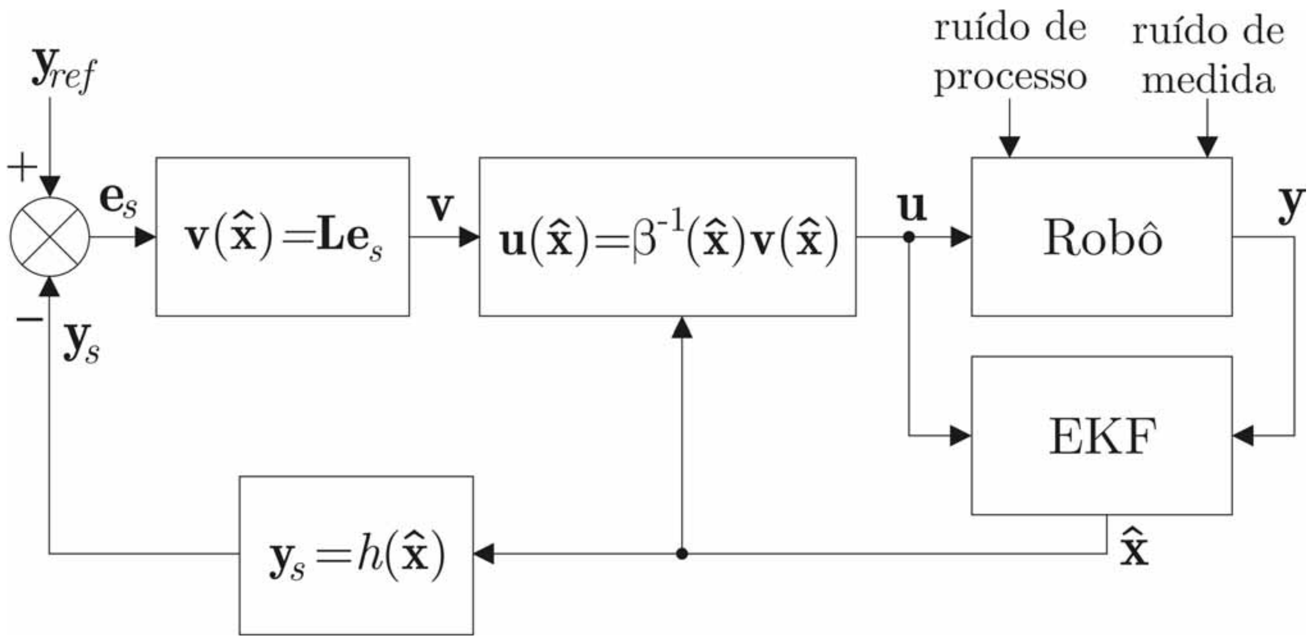
- **w**(*k*) e **v**(*k*) são vetores de ruído branco com distribuição normal e média zero.

O Filtro de Kalman Extendido

- Um dos requisitos para a utilização do KF: sistema linear;
- Sistemas não lineares ⇨ ***filtro de Kalman extendido*** (EKF);
- O EKF é obtido através de linearizações das equações em torno da estimativa do estado:

$$F(k) = \left.\frac{\partial f(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}}\right|_{\mathbf{x}=\hat{\mathbf{x}}(k|k)} \qquad H(k) = \left.\frac{\partial h(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}}\right|_{\mathbf{x}=\hat{\mathbf{x}}(k|k)}$$

Sistema em MF



O Filtro de Kalman Descentralizado

- Particionamento da expressão de observação, conforme o domínio de informação de cada sensor:

$$\mathbf{y}_{enc}(k) = \begin{bmatrix} x_{enc}(k) \\ y_{enc}(k) \\ \theta_{enc}(k) \end{bmatrix} + \mathbf{v}_{enc}(k)$$

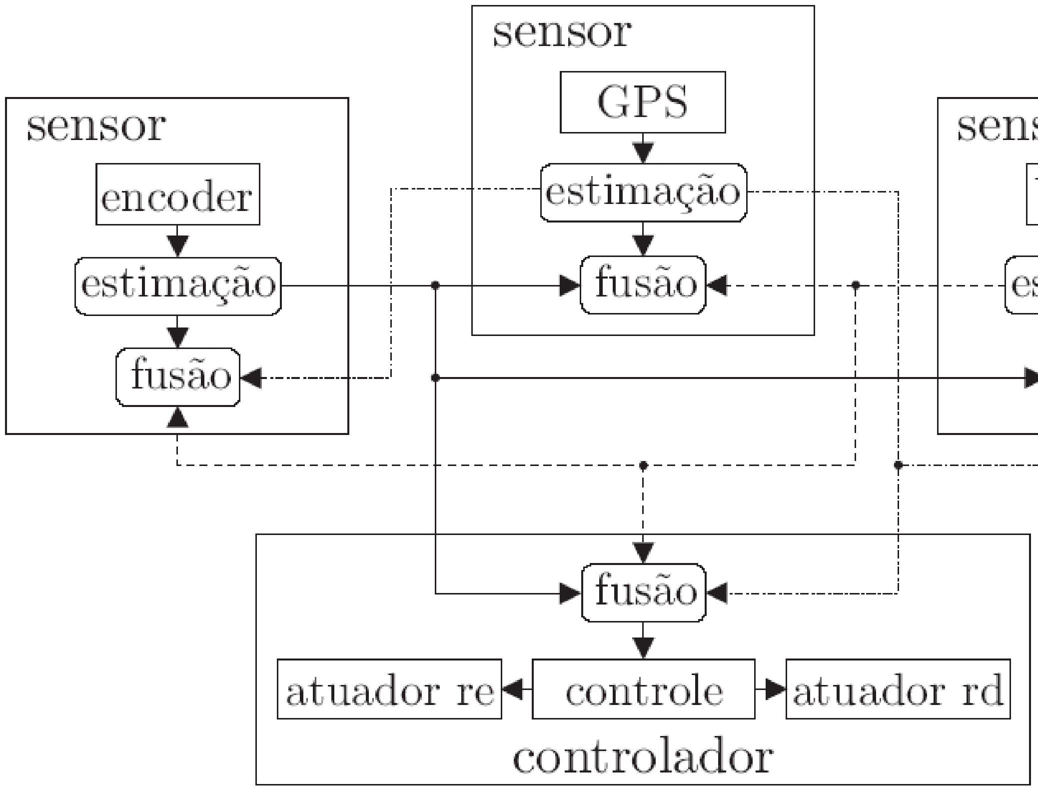
$$\mathbf{y}_{gps}(k) = \begin{bmatrix} x_{gps}(k) \\ y_{gps}(k) \end{bmatrix} + \mathbf{v}_{gps}(k)$$

$$\mathbf{y}_{bus}(k) = \theta_{bus}(k) + \mathbf{v}_{bus}(k)$$

O Filtro de Kalman Descentralizado

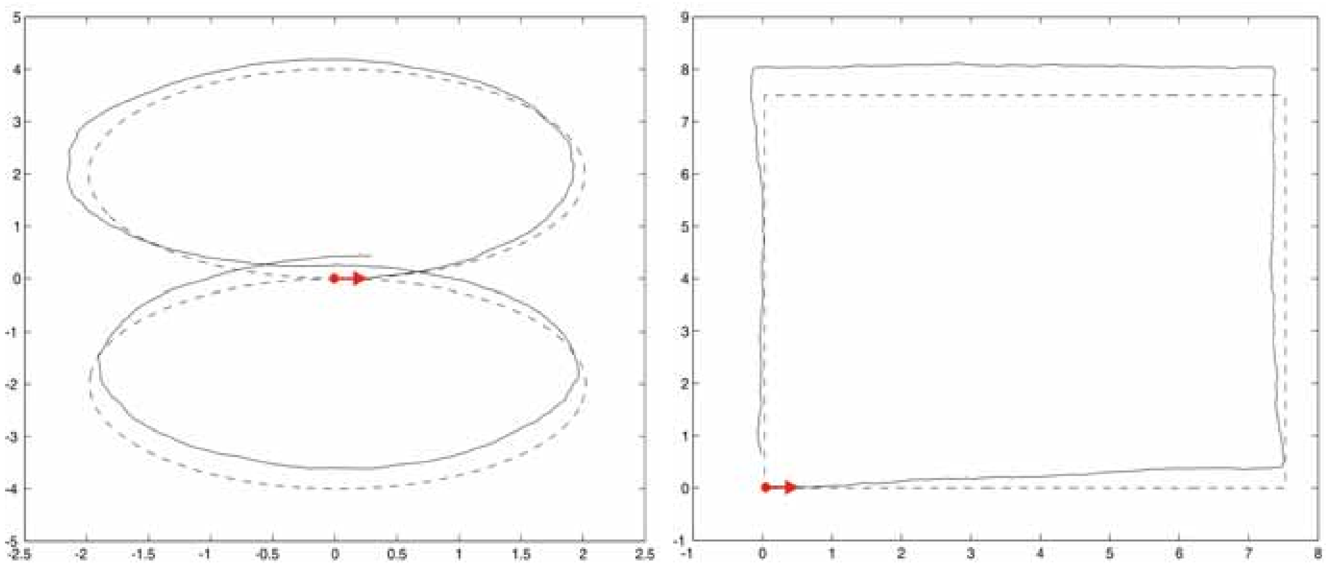
- Nodo controlador:
  - mais confiável, por acionar as interfaces de potência do sistema;
  - recebe as informações locais e realiza a fusão dos dados.

Sistema Descentralizado



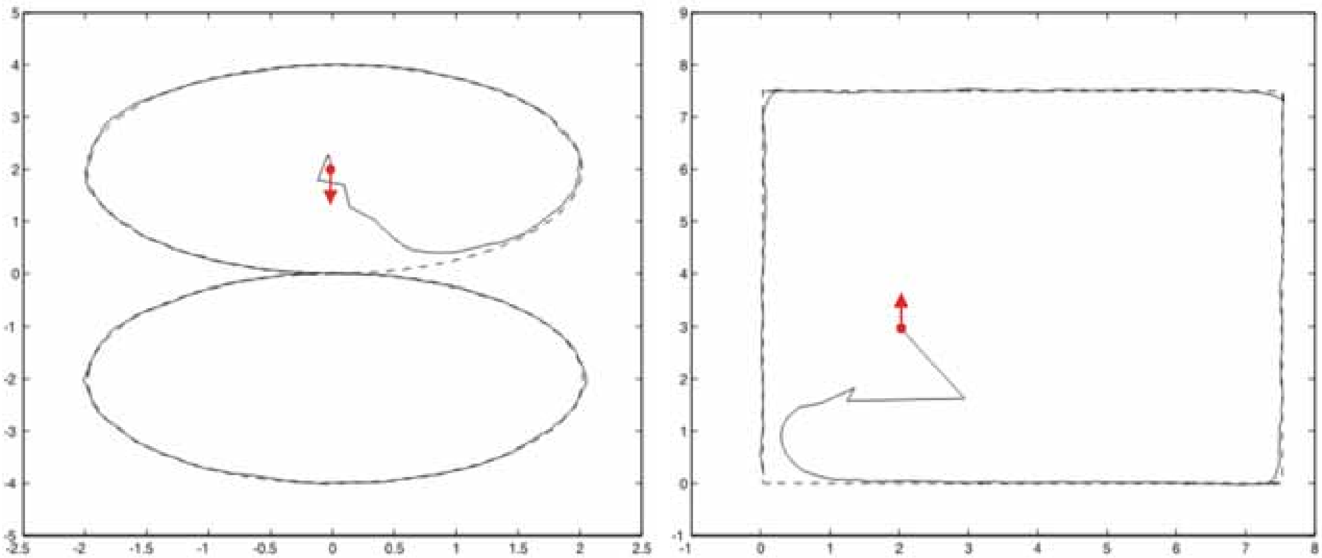
Resultados de simulação

- Estados estimados:



Resultados de simulação

- Estados controlados:



Conclusões

- Proposta de uma arquitetura composta de nodos descentralizados e totalmente conectados para:
  - estimação ótima da configuração
  - controle da posição
- Verificou-se as vantagens de se utilizar uma estrutura descentralizada;
- O controle linearizante apresentou desempenho bastante satisfatório.

Trabalhos Futuros

- Avaliar seu desempenho com outras estruturas de comunicação.
- Implementação da mesma arquitetura em tempo real.

Obrigado!

kuhne@eletro.ufrgs.br

http://www.eletro.ufrgs.br/~kuhne