

PMR3404 – Controle I  
Projeto de Laboratório

POSICIONAMENTO DE PLATAFORMA

1. Descrição

Neste sistema, utilizam-se dois navios de suporte offshore operando sistemas de posicionamento dinâmicos e trabalhando em conjunto para posicionar uma plataforma de perfuração não atuada. Os navios são ligados à plataforma por meio de cabos de rigidez conhecida. O objetivo do sistema de controle é posicionar os barcos 1 e 2 de forma que a plataforma seja levada à posição desejada e assim permaneça, mesmo em face de distúrbios ambientais.

2. Modelo matemático

A Figura 1 ilustra o sistema. A plataforma possui massa  $m_0$  e os navios de suporte possuem massas  $m_1 = m_2 = m$ . Cada um dos cabos possui comprimento sem carga igual a  $L_0$  e rigidez  $k$ . Para efeito de simplificação, os cabos são tratados como molas lineares.

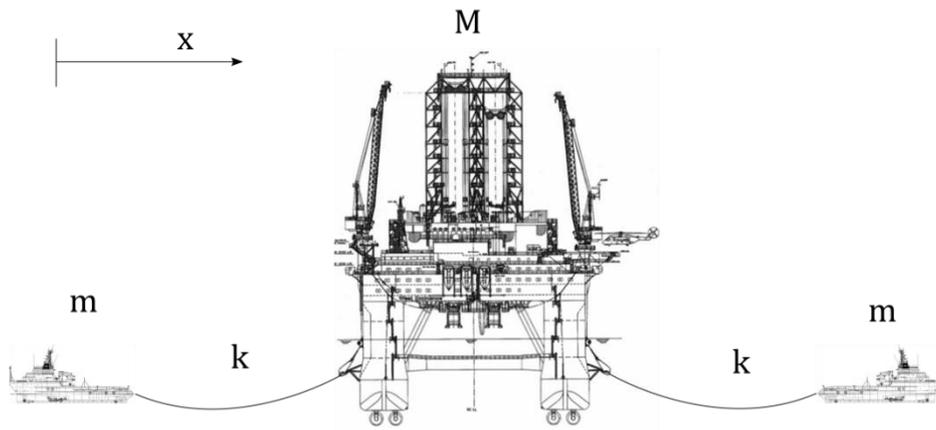


Figura 1 - Esquema da operação de posicionamento

2.1. Equações de movimento

O movimento do baricentro da plataforma é dado por

$$M\ddot{x}_0 = C_{r0}[(v_c - \dot{x}_0)^3 + b_0(v_c - \dot{x}_0)] - k(x_0 - x_1 - L_0) + k(x_2 - x_0 - L_0)$$

Aqui,  $x_0$  é a posição da plataforma,  $C_{r0}$  é o coeficiente de arraste,  $b_0$  um coeficiente de ajuste linear,  $v_c$  é a componente da velocidade da corrente em  $x$ ,  $x_1$  é a posição do barco 1 e  $x_2$  é a posição do barco 2.

As equações de movimento do barco 1 e 2 são dadas, respectivamente, por

$$m\ddot{x}_1 = F_{thr1} + C_r[(v_c - \dot{x}_1)^3 + b(v_c - \dot{x}_1)] + k(x_0 - x_1 - L_0)$$

E

$$m\ddot{x}_2 = F_{thr2} + C_r[(v_c - \dot{x}_2)^3 + b(v_c - \dot{x}_2)] - k(x_2 - x_0 - L_0)$$

O coeficiente de arrasto de cada barco é dado por  $C_r$ , com o coeficiente linear  $b$ . As forças dos propulsores nos barcos são dadas por  $F_{thr1}$  e  $F_{thr2}$ , respectivamente.

## 2.2. Sistema de Posicionamento dinâmico

Cada navio de suporte possui um sistema de controle de posição próprio, do tipo Proporcional-Derivativo, de ganhos  $k_p$  e  $k_d$  e cuja lei de controle é dada, respectivamente, por

$$F_{thr1} = -k_p(x_1 - x_{1d}) - k_d(\dot{x}_1 - \dot{x}_{1d})$$

$$F_{thr2} = -k_p(x_2 - x_{2d}) - k_d(\dot{x}_2 - \dot{x}_{2d})$$

Os valores  $x_{1d}$  e  $x_{2d}$  são os valores de referência para o sistema de controle individual desses navios, e cujos valores são determinados pelo controlador de posição relativa, aqui denominado sistema de controle cooperativo.

## 2.3. Sistema de controle cooperativo

O sistema de controle cooperativo acopla as dinâmicas dos navios de suporte, determinando os valores desejados do sistema de posicionamento dinâmico de cada navio. O valor de referência para cada sistema de posicionamento dinâmico é dado por

$$x_{1d} = x_1 + c[k_1(x_{0d} - x_1 - \delta_{01}) + k_2(\dot{x}_{0d} - \dot{x}_1) + k_1(x_2 - x_1 - \delta_{21}) + k_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)]$$

$$x_{2d} = x_2 + c[k_1(x_{0d} - x_2 - \delta_{02}) + k_2(\dot{x}_{0d} - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2 - \delta_{12}) + k_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)]$$

Os ganhos  $k_1$ ,  $k_2$  e  $c$  são constantes de acoplamento e sincronização.  $\delta_{01}$ ,  $\delta_{21} = \delta_{12}$  e  $\delta_{02}$  são valores de referência para as posições relativas entre os navios e a plataforma. O valor  $x_{0d}$  é a posição desejada da plataforma e a variável manipulada pelo sistema de controle a ser projetado.

Dica: Considere a transformação do sistema para o uso de uma variável de estado conjunta  $w = x_1 + x_2$

## 2.4. Parâmetros

Parâmetro	Valor
Massa da plataforma $M$	80124100 kg
Massa dos barcos $m$	7880970 kg
Rigidez dos cabos $k$	592500 N/m
Arraste da plataforma $C_{r0}$	248335 N.s <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

Coeficiente de correção $b_0$	$43.2562 \text{ m}^2/\text{s}^2$
Arraste dos barcos $C_r$	$2242 \text{ N} \cdot \text{s}^3/\text{m}^3$
Coeficiente de correção $b$	$43.2562 \text{ m}^2/\text{s}^2$
Comprimento do cabo em repouso $L_0$	$490 \text{ m}$
Ganho proporcional do sistema DP $k_p$	$4649.8 \text{ N/m}$
Ganho derivativo do sistema DP $k_d$	$386167 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}$
Ganho proporcional do cooperativo $k_1$	$2.582$
Ganho derivativo do cooperativo $k_2$	$109.9076 \text{ s}$
Constante de sincronia $c$	$1$
Referência relativa $\delta_{01}$	$490 \text{ m}$
Referência relativa $\delta_{02}$	$-490 \text{ m}$
Referência relativa $\delta_{21}$	$980 \text{ m}$
Referência relativa $\delta_{12}$	$-980 \text{ m}$
Máximo empuxo de cada barco	$188000000 \text{ N}$

### 3. Requisitos de desempenho

O sistema de controle deve levar a plataforma para a posição desejada e mantê-la com as seguintes características em malha fechada:

- Erro de regime igual a zero para o comando de referência variando na forma de degrau;
- Máximo sobressinal menor do que 15% para o comando de referência variando na forma de degrau;
- Tempo de assentamento de 2% compatível com a dinâmica do sistema para o comando de referência variando na forma de degrau (estabeleça claramente o valor);
- Margem de ganho maior do que 10 dB;
- Margem de fase maior do que  $45^\circ$ ;
- Rejeição completa de qualquer perturbação constante.
- Esforço de controle compatível com o valor máximo de empuxo dos barcos.
- Determine, para seu controlador, um valor máximo de velocidade de corrente para o qual o sistema se mantém estável.