



## EXPERIENCIA 3: CONTROL PREDICTIVO BASADO EN MODELOS (MPC)

### EL5205 Laboratorio de Control Avanzado

**Profesores:** Manuel Duarte  
: Marcos Orchard  
: Doris Sáez

**Auxiliar:** David Acuña

Fecha de entrega del enunciado: 21 de Octubre

Fecha de recepción de preinforme: 30 de Octubre

Fecha de recepción de informe: 11 de Noviembre

## 1. Introducción

El incorporar información futura de un sistema, considerando referencias establecidas y salidas que pueden ser predichas con un modelo, generan ventajas en la estimación de la acción de control por sobre otras estrategias. Como consecuencia, es posible alcanzar el objetivo de control con mayor precisión.

En la presente experiencia de laboratorio, se dispone de un sistema con tres grados de libertad, el cual evoluciona según una dinámica no lineal. Este sistema corresponde a la grúa presente en el laboratorio (ver Figura(1)). El subsistema denominado Tower (por su definición en inglés, Torre) esta encargado de manipular el ángulo en el brazo de la grúa. También, se distingue el subsistema denominado Jib (por su definición en inglés, Brazo), está encargado de mover un carro a lo largo del brazo de la grúa. Finalmente, está el subsistema denominado Payload (por su definición en inglés, Carga), el objetivo de este subsistema es manipular la altura a la que se encuentra la carga.

Por simplicidad, y para realizar una experiencia introductoria al manejo de la grúa y el desarrollo de MPC, es que se utiliza en la experiencia solo dos de estos subsistemas, siendo estos, Tower y Jib, dejando fuera al subsistema Payload.

Cada subsistema está compuesto por una entrada, que corresponde a la corriente eléctrica que circula por el motor involucrado para realizar un movimiento. Además, existen múltiples salidas que miden el ángulo  $\theta$  (Tower) o distancia  $x$  (Jib) en la que se encuentran las variables involucradas en cada subsistema. Otras importantes salidas del sistema son los ángulos correspondientes al bamboleo que sufre la carga al manipular la grúa. Estos dos ángulos son medidos en cada instante y muestran la oscilación de la carga tanto en dirección radial ( $\gamma$ ), como transversal ( $\alpha$ ), tomando como referencia la torre de la grúa.

La motivación de la experiencia radica, principalmente, en el problema asociado a la traslación de objetos, por medio de una grúa, considerando, por una parte la minimización de la oscilación sobre la carga y, por otra, optimización en el tiempo de traslación. Este desafío resulta complejo e involucra tanto aspectos de seguridad, como también económicos. En este sentido, el control predictivo basado en modelos busca integrar gran cantidad de información en miras a minimizar una función de costos que considere los aspectos mencionados anteriormente.



Figura 1: *Grúa con tres grados de libertad*

Considerando los subsistemas a utilizar es que se provee de los modelos de espacio de estados, que se obtienen de una linealización en tiempo continuo de ambos subsistemas a utilizar.

El vector de estado de la torre es  $X_{\mathcal{T}} = [\theta \quad \alpha \quad \dot{\theta} \quad \dot{\alpha}]^T$ .  $\theta$  es el ángulo de desplazamiento del brazo de la grúa y  $\alpha$  es el bamboleo transversal. Las matrices del espacio de estado correspondientes a este subsistema se muestran a continuación.

$$\mathcal{A}_{\mathcal{T}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1,3108 & 0 & 0 \\ 0 & -12,5835 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{B}_{\mathcal{T}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1006,529 \\ -939,9211 \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{C}_{\mathcal{T}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{D}_{\mathcal{T}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$



El vector de estado del brazo de la grúa (Jib) es  $X_{\mathcal{J}} = [x \ \gamma \ \dot{x} \ \dot{\gamma}]^T$ .  $x$  es el avance del carro en el brazo de la grúa y  $\gamma$  corresponde al bamboleo radial. Las matrices del espacio de estado correspondientes a este subsistema se muestran a continuación.

$$\mathcal{A}_{\mathcal{J}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1,7019 & 0 & 0 \\ 0 & -13,3301 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{B}_{\mathcal{J}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 18,2478 \\ 21,1299 \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{C}_{\mathcal{J}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{D}_{\mathcal{J}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Cabe destacar que el tiempo de muestreo es  $T_s = 0,01[s]$ . A continuación se describe el desarrollo de la experiencia.

## 2. Controlador Tower

Para controlar la torre de la grúa, se adoptará la estrategia de control predictivo basado en modelos.

### Actividad 1

Diseñe en Matlab-Simulink un controlador predictivo basado en modelo para la Tower. La función objetivo del controlador es la que se muestra a continuación

$$\sum_{j=N_1}^{N_2} \lambda_1 (x_1(t+j) - r_1)^2 + \sum_{j=N_1}^{N_2} \lambda_2 (x_3(t+j) - r_3)^2 + \sum_{j=1}^{N_u} \lambda_u \Delta u(t+j-1)$$

$$s.a. -3 < x_2 < 3$$

¿Cuáles son los parámetros del controlador que puede manipular el diseñador?, ¿en qué afecta cada uno de ellos?

Al realizar las pruebas considere las referencias

- $\theta = 60^\circ$
- $\theta = 90^\circ$

Además, como referencia para el estudio considere  $N_1 = 1$ ,  $N_2 = 60$ ,  $N_u = 40$ ,  $\lambda_1 = 30$ ,  $\lambda_2 = 10$  y  $\lambda_u = 0,1$ . Analice la variación de éstos y su incidencia en el desempeño. En particular incluya los siguientes casos de estudio:

- $\lambda_u = 0$
- $\lambda_1 = \lambda_2$

## Actividad 2

Re-diseñe, nuevamente, el controlador considerando una mayor importancia asociada a la oscilación de la carga (expresada a través de los pesos en la función objetivo), cuando existen perturbaciones. Considere la siguiente referencia para realizar la prueba:

- $\theta = 0^\circ$  e introduzca perturbaciones<sup>1</sup> a la carga presente en la grúa.

<sup>1</sup> El perfil de perturbación consiste en usar una entrada de  $0.5[A]$  durante 0.5 segundos, luego  $-0.5[A]$  durante 0.5 segundos, para finalmente dejar oscilando durante 1 segundo antes de ejecutar cualquier acción de control. Este perfil de puede observar gráficamente en la Figura (2).

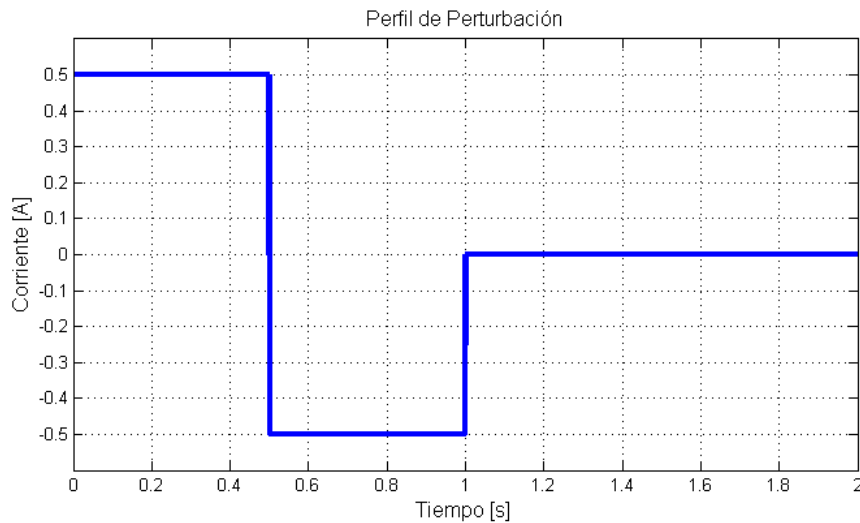


Figura 2: Perfil de perturbación para prueba de reducción de oscilaciones

El objetivo de ésta prueba es minimizar el tiempo en que la oscilación ( $\alpha$ ) queda acotado por una banda de  $3^\circ$  y no vuelve a salir.

Comente las diferencias entre el controlador de la actividad anterior y este último. ¿Cuáles son los parámetros con mayor incidencia al intentar minimizar la oscilación de la carga?, ¿Y cuáles para la velocidad de convergencia?, ¿Cuál es el efecto de manipular el horizonte de predicción en el funcionamiento del controlador?



### 3. Controlador Jib

Para controlar el Jib de la grúa, se adoptará la estrategia de control predictivo basado en modelos de una manera análoga al caso de control del Tower.

#### Actividad 1

Diseñe en Matlab-Simulink un controlador predictivo basado en modelo para el Jib repitiendo el procedimiento seguido en la Actividad 1 de la Sección 2 empleando la misma función objetivo y bajo la misma restricción sobre el segundo estado. Considere las siguientes referencias para realizar las pruebas:

- $x = 0,2[m]$
- $x = -0,2[m]$

#### Actividad 2

Re-diseñene, nuevamente, el controlador considerando una mayor importancia asociada a la oscilación de la carga, cuando existen perturbaciones. Considere la siguiente referencia para realizar la prueba:

- $x = 0[m]$  e introduzca perturbaciones<sup>1</sup> a la carga presente en la grúa.

El objetivo de esta prueba es minimizar el tiempo en que la oscilación ( $\gamma$ ) queda acotado por una banda de  $3^\circ$  y no vuelve a salir.

Comente las diferencias entre el controlador de la actividad anterior y este último. ¿Cuáles son los parámetros con mayor incidencia al intentar minimizar la oscilación de la carga?, ¿Y cuáles para la velocidad de convergencia?, ¿Cuál es el efecto de manipular el horizonte de predicción en el funcionamiento del controlador?

### 4. Controladores acoplados

Finalmente, para comprobar el funcionamiento conjunto de ambos subsistemas, se pide implementar ambos controladores predictivos en la grúa del laboratorio y realizar pruebas considerando las siguientes referencias:

- $\theta = 60^\circ$ ,  $x = 0,2[m]$
- $\theta = 0^\circ$ ,  $x = 0[m]$  e introduzca perturbaciones<sup>1</sup>.

¿Cómo afectan las diferentes configuraciones de los parámetros del controlador, en el desempeño del controlador, según cada prueba?, ¿En qué casos podría producirse un error al acoplar ambos controladores?