

Control de un Helicóptero con dos grados de libertad por medio de un controlador difuso y un controlador por realimentación de estados.

Sofía Vélez, estudiante IX semestre Universidad del Quindío, darkangel4s5v@hotmail.com

Resumen—En este artículo se describe el modelo matemático de un helicóptero, y se aplican diferentes técnicas de control para controlar la posición acimut del helicóptero, así como el ángulo de desplazamiento. Las técnicas empleadas son un control por realimentación de estados y un controlador difuso implementados en la herramienta Matlab.

Palabras claves—posición acimut, ángulo desplazamiento, puntos de equilibrio, lógica difusa, variables de estado.

I. INTRODUCCIÓN

Los modelos lineales son frecuentemente utilizados para el aprendizaje de las técnicas de control, o generalmente para simplificar algunos procesos. Pero en el mundo real, la mayoría de los procesos tienen comportamientos no lineales: el clima, la bolsa de valores, los aparatos mecánicos, eléctricos, neumáticos etc. Este trabajo describe el modelamiento de un helicóptero a través de ecuaciones no lineales; además se presentan dos estrategias de control: control por variables de estado y control difuso, que permiten controlar la posición acimut de la barra y el ángulo de desplazamiento de la barra.

Para emplear el control por variables de estado sobre la planta escogida, se hace primero un proceso de linealización, se diseña el control para la planta lineal y luego se implementa sobre la planta original. Es importante tener en cuenta que este control puede tener algunas restricciones de funcionamiento debido a la no linealidad del sistema. La lógica difusa se utiliza cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen modelos matemáticos precisos, para procesos altamente no lineales. El comportamiento de las estrategias de control utilizadas para controlar la planta se presentan en la sección de resultados; en esta se argumenta porque el control difuso es más eficiente que el control por variables de estado para esta planta en particular.

II. MODELO MATEMÁTICO DEL HELICÓPTERO

Las ecuaciones no lineales que describen el helicóptero se presentan en las ecuaciones (1)

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= u_1 - f_h(x_1) \\ \dot{x}_2 &= (m_1 u_2 - m_2 x_4 + g_h(x_1)) \cos x_6 - m_3 q(x_2, x_6) \\ \dot{x}_3 &= q(x_2, x_6) \\ \dot{x}_4 &= u_2 - f_v(x_4) \\ \dot{x}_5 &= m_4 u_1 - m_5 x_1 + g_v(x_4) - m_6 x_5 + r(x_2, x_6) \\ \dot{x}_6 &= x_5 \end{aligned} \quad (1)$$

Donde

u_1 es la entrada de control para el rotor de la cola

u_2 es la entrada de control para el rotor principal

x_1 es la velocidad angular del rotor de la cola [rad/s]

x_2 es el momento angular de la barra [$kg \cdot m^2 \cdot rad / s$]

x_3 es la posición acimut de la barra [rad]

x_4 es la velocidad angular del rotor principal [rad/s]

x_5 es la velocidad de desplazamiento de la barra [rad/s]

x_6 es el ángulo de desplazamiento de la barra.

Las funciones $f_h(x_1)$, $f_v(x_4)$, $g_h(x_1)$ y $g_v(x_4)$ dependen de las velocidades angulares x_1 y x_4 , también de la geometría de las aspas de los rotores y representan la resistencia al movimiento y la aerodinámica a través de los rotores. Estas funciones se pueden aproximar por polinomios descritos en las siguientes ecuaciones (2).

$$\begin{aligned} f_h(x_1) &= a_1 x_1 + a_2 x_1^2 + a_3 x_1^3 + a_5 x_1^5 \\ f_v(x_4) &= b_1 x_4 + b_2 x_4^2 + b_3 x_4^3 + b_5 x_4^5 \\ g_h(x_1) &= c_1 x_1 + c_2 x_1^2 + c_3 x_1^3 + c_5 x_1^5 \\ g_v(x_4) &= d_1 x_4 + d_2 x_4^2 + d_3 x_4^3 + d_5 x_4^5 \\ r(x_1, x_4) &= -e_1 q(x_2, x_6)^2 \sin x_6 \cos x_6 \\ &\quad - e_2 \cos x_6 - e_3 \sin x_6 \\ q(x_2, x_6) &= \frac{x_2}{k_1 \cos^2 x_6 + k_2} \end{aligned} \quad (2)$$

III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONTROL.

Como se dijo anteriormente se utilizan dos estrategias de control: por variables de estado y por lógica difusa. En esta sección se hará una descripción detallada de cada uno de los controladores.

A. Control por variables de estado.

Para la implementación de esta técnica de control sobre la planta no lineal se debe primero linealizar el modelo alrededor de un punto de equilibrio. Se obtiene un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas.

$$x_{1eq} (c_1 + c_2x_{1eq} + c_3x_{1eq}^2 + c_5x_{1eq}^4) + x_{4eq} (m_1b_1 - m_2 + m_1b_2x_{4eq} + m_1b_3x_{4eq}^2 + m_1b_5x_{4eq}^4) = 0 \tag{4}$$

$$x_{1eq} (m_4a_1 - m_5 + m_4a_2x_{1eq} + m_4a_3x_{1eq}^2 + m_4a_5x_{1eq}^4) + x_{4eq} (d_1 + b_2x_{4eq} + b_3x_{4eq}^2 + b_5x_{4eq}^4) = e_2 \tag{5}$$

Para encontrar las soluciones de las ecuaciones (4) y (5) se utilizó una herramienta matemática muy poderosa: MATLAB. La función solve permitió resolver el sistema de ecuaciones. Para estas ecuaciones existen 25 soluciones cualquiera de ellas es solución de las ecuaciones (4) y (5). Pero por efectos prácticos solo tomaremos los valores reales. Y de estos valores solo escogeremos un punto de equilibrio. Con las condiciones de equilibrio, linealizamos el sistema. Esta linealización se hace aplicando el jacobiano a las ecuaciones de las variables de estado. En todos los procesos en que sea necesario el cálculo de ecuaciones complejas se hace uso de la herramienta Matlab.

El control por variables de estado se construye para el modelo lineal, luego se implementa sobre la planta no lineal. Para la construcción del controlador se escogen unas especificaciones de tiempo de establecimiento y sobreimpulso máximo. Con estas especificaciones se construye el controlador lineal. Para encontrar los valores de la matriz K, se utiliza la función place de Matlab. Esta función requiere de los parámetros A, B y p, donde A y B son las matrices respectivas del modelo linealizado y p es un vector que contiene los polos que definen el comportamiento del controlador. Para la implementación del control las entradas al sistema están dadas por $U = -KX$. En la **Figura 1** se puede apreciar

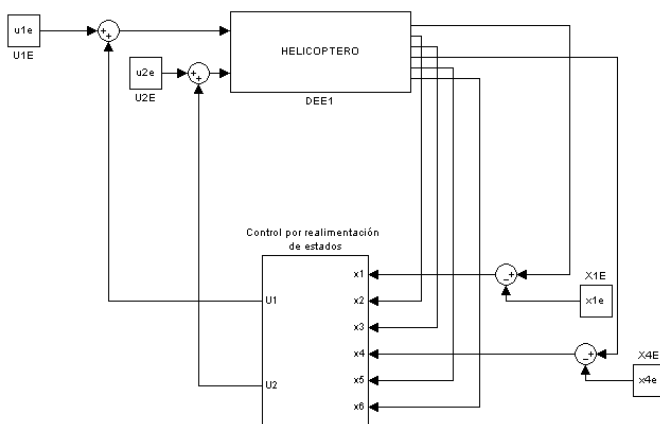


Figura 1. Implementación del control por variables de estado sobre la planta no lineal.

B. Controlador Difuso.

Para la implementación el controlador difuso es necesario tener un conocimiento previo del comportamiento de la planta. A partir de este comportamiento se definen unas reglas que permiten mantener o llevar la planta al punto de equilibrio. Utilizando la herramienta Matlab, se construye el controlador difuso y se implementa sobre la planta, como se muestra en la **Figura 2**.

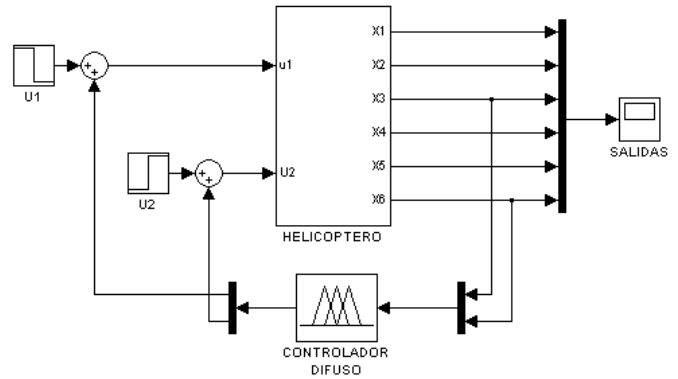


Figura 2. Implementación del controlador difuso en Matlab.

IV. CONCLUSIONES

La primera gran apreciación que puede hacerse del trabajo contenido en este artículo es que el control difuso es una herramienta muy eficaz cuando se trata de controlar sistemas no lineales. Por otra parte, los procedimientos para construir un control clásico sobre una planta no lineal son más complicados y puede que solamente funcionen para un rango de operación. De manera general, con el control difuso, los grados de libertad permitidos para los ángulos del helicóptero son bastante amplios, mientras que el control clásico permite solo pequeñas variaciones de estos. Por otra parte, el uso de la herramienta Matlab es fundamental para la implementación de los modelos matemáticos y las estrategias de control. Esta herramienta ofrece una gran variedad de funciones que permiten solucionar de manera óptima este tipo de problemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Giraldo, Diddier. Giraldo, Eduardo, Sanchez Santiago. Control por planos deslizantes difusos de un helicóptero con un grado de libertad. Universidad Tecnológica de Pereira. Diciembre de 2007.
- [2] http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_difusa
- [3] http://www.geocities.com/wilben_latino/cap12.html
- [4] <http://www.monografias.com/trabajos14/inteligenciartif/inteligenciartif.shtml>
- [5] http://www.itson.mx/dii/mpacosta/archivos/variables_de_estado.doc
- [6] <http://iaci.unq.edu.ar/materias/control2/web/tp/Lineal.pdf>
- [7] <http://www.aistmexico.org.mx/archivos/publicaciones/06%20sistema%20de%20control%20difuso....pdf>
- [8] <http://www2.unalmed.edu.co/dyna2005/134/identificacion.pdf>
- [9] Tanaka, Kazuo. **Fuzzy Control systems. Design and Analysis.** A Wiley Interscience Publication. Pag 6.
- [10] <http://www.redeya.com/electronica/cursos/fuzzy/fuzzy.htm>