



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**

Centro de Investigación y Desarrollo  
de Tecnología Digital

MAESTRIA EN SISTEMAS DIGITALES

**“DISEÑO DE UN CONTROLADOR ROBUSTO EMPLEANDO  
LA TECNICA  $\mu$  PARA UN ROBOT MANIPULADOR DE  
CINCO GRADOS DE LIBERTAD”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS PRESENTA

ING. SERGIO JESUS ANDRADE GALAN

OCTUBRE DEL 2000

TIJUANA, B. C.

## Resumen

### Diseño de un controlador robusto empleando la técnica- $\mu$ para un robot manipulador de cinco grados de libertad

En esta tesis se plantea el diseño de un controlador utilizando la técnica de síntesis- $\mu$  para un robot manipulador de cinco grados de libertad. El robot en su forma original presentaba severos problemas de funcionamiento dinámico producidos entre otras fuentes por ruido en los sensores, fricción en las articulaciones y rebote en las transmisiones mecánicas. También, presentaba una regulación pobre a disturbios en la salida de la planta. El objetivo de este trabajo fue el diseñar un controlador que produjera un sistema controlado que fuera estable y funcionara dentro de las especificaciones a pesar de las no-linealidades mencionadas y de dinámicas no modeladas.

El valor singular estructurado  $\mu$  de un sistema es una medida de robustez del sistema a perturbaciones en la planta debidas a dinámicas no modeladas. El valor inverso de  $\mu$  nos indica el margen de robustez del sistema a estas dinámicas. Por lo tanto se busca un controlador que minimice esta cantidad. La técnica de diseño empleada es un método iterativo conocido como la iteración D-K, donde D es una matriz de escalamiento que sirve para adelgazar la brecha entre las cotas de  $\mu$  y K es el controlador que se deriva con una minimización  $H_{\infty}$ . Se obtuvieron dos soluciones al problema; una a través de la aplicación sistemática del paquete de Síntesis- $\mu$  de MATLAB y otra determinando la matriz de escalamiento por un método de optimización. La mejor solución se obtuvo para este segundo caso produciendo un controlador de orden tratable con el cual se obtuvo un sistema controlado robusto tanto en su estabilidad como en su funcionamiento. Finalmente, se realizó la simulación del sistema controlado obteniéndose respuestas dentro de las especificaciones.

## **Abstract**

### **Robust control design by $\mu$ -synthesis for a 5 DOF robot manipulator**

In this thesis  $\mu$ -synthesis was applied to derive a robust controller for a robot manipulator. The robot showed undesirable performance due to sensor noise, friction, and backlash in the mechanical transmissions. Also, regulation to disturbance at the output of the plant was not adequate. The aim of this work is to design a controller such that the controlled system be stable and performs under design specifications even when nonlinearities, as mentioned above, and non modeled dynamics were present.

The structured singular value  $\mu$  gives a measure of robustness of the controlled system to plant perturbations due to non modeled dynamics. The inverse value of  $\mu$  indicates the margin of robustness of the system to such perturbations. Hence, a controller is derived to minimize such quantity. The design technique is an iterative process known as the D-K iteration, where D is a scaling matrix used to reduce the gap of the bounds of  $\mu$  and K is the controller designed by applying an  $H_\infty$  minimization. Two solutions were found to this problem; one through the systematic use of the  $\mu$ -synthesis toolbox and the other using an optimization method to calculate the scaling matrix D. The last method proved to produce a better controller that satisfy robust stability and robust performance with the added advantage of a more computationally tractable controller. Finally, simulation was carried out and excellent results were obtained.