

CIBERNÉTICA Y TEORÍA DE SISTEMAS

Leopoldo Acosta

La Cibernética puede entenderse como la ciencia que analiza racionalmente lo que significa gobernar. Esta función puede ser desempeñada por máquinas siempre que éstas sean capaces de captar información del estado de un sistema y de proporcionar órdenes, en función de la información recibida, que determinen la evolución futura de ese sistema.

El norteamericano Norbert Wiener publicó en 1948 la obra titulada *Cybernetics*, sobre la técnica de los sistemas de mando automático, en la cual desarrollaba nociones generales en relación con los mecanismos capaces de gobernar. En las próximas líneas vamos a dar un breve repaso de los conceptos clásicos más básicos en los que se sustenta la teoría de sistemas.

Los sistemas reales se describen de forma natural como pares de entrada-salida ($u(t)$, $y(t)$), esto es, un sistema reacciona ante unas entradas o estímulos dando una determinada respuesta que se manifiesta en una serie de salidas. Los sistemas pueden ser físicos, biológicos, económicos, etc.

Un ejemplo sencillo podría ser una habitación con un dispositivo climatizador. La entrada a este sistema sería la energía que se suministra y la salida la temperatura de la habitación. Otro sistema algo más complicado sería un manipulador robótico que debe agarrar un objeto. Las entradas de este sistema son las tensiones que se aplican a los motores para mover el robot, mientras que la salida es la posición de la pinza del robot.

La relación entre $u(t)$ e $y(t)$ es muchas veces una ecuación diferencial. El problema de la "identificación de sistemas" consiste en su versión más general en establecer un modelo para un sistema, o más habitualmente conocer los parámetros, conocida la estructura del modelo.

De forma clásica se han utilizado dos representaciones alternativas a las ecuaciones diferenciales o en diferencias: las transformadas de Laplace y Z , y la representación de variables de estado. La idea básica de la transformada de Laplace es pasar de la representación diferencial a una representación algebraica. Esto permite modelar el sistema por una función de transferencia, que es un cociente de dos polinomios, y por lo tanto una representación algebraica. Entonces es posible interconectar varios sistemas para constituir sistemas más complejos sin más que definir un álgebra de bloques.

Otra ventaja de trabajar con la transformada de Laplace es la interpretación que permite el dominio frecuencial. Debemos comentar también que los ordenadores trabajan con magnitudes discretas en el tiempo, por lo que es necesario realizar un proceso de discretización. La consecuencia es que las ecuaciones diferenciales se convierten en ecuaciones en diferencias y la transformada de Laplace en transformada Z . El paso de un sistema continuo a dis-

47

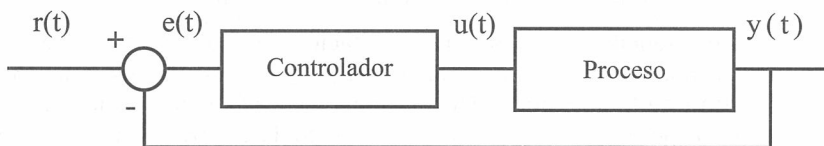
creto se hará con un periodo de discretización T acorde con el teorema enunciado por Shannon, discípulo de Wiener. La idea es que el periodo de muestreo T se elegirá pequeño para sistemas que varíen muy rápidamente. A partir de los valores discretos deberá poder reconstruirse la función continua.

La clave del control de sistemas es la realimentación que permite que el sistema siga controlado aunque las perturbaciones que operan sobre él lo desvíen del valor deseado. El concepto de realimentación consiste en que al generar las entradas $u(t)$ estas dependerán de la salida $y(t)$ alcanzada.

El problema de gobernar un sistema consiste en encontrar las entradas $u(t)$ para que el sistema realice una tarea determinada. Podemos distinguir básicamente tres problemas tipo:

- 1) Se alcance un valor de consigna r para la salida.
- 2) Se pase de un valor a otro en el menor tiempo posible, y con un gasto de comando (recursos, energía) que no supere unos determinados valores.
- 3) Se siga una determinada trayectoria.

La configuración clásica de mando es



47

con $e(t) = r(t) - y(t)$, error.

Nótese el bucle de realimentación que hace depender a $u(t)$ de $y(t)$. El símbolo circular indica un punto de suma. El bloque que relaciona el error $e(t)$ y la entrada a la planta $u(t)$ se denomina controlador.

El objetivo es alcanzar una consigna. En el primer ejemplo que hemos puesto la consigna sería la temperatura a la cual queremos que esté la habitación. La temperatura real será la salida del sistema. El error será la diferencia entre estos dos valores. El objetivo es que este error se haga cero. La entrada que se aplique al sistema dependerá de este error. Por ejemplo, si el error es muy grande y positivo deberemos aplicar una entrada muy grande al sistema (calentar mucho). Esta entrada irá disminuyendo hasta que se alcance la temperatura de consigna.

En el segundo ejemplo la consigna sería la posición del objeto que se quiere coger. La salida del sistema sería la posición de la pinza del robot, y el error la diferencia entre estos dos valores. El objetivo es hacer cero el error. Para ello se aplicará una entrada al sistema (tensión en los motores del robot) hasta que se coja el objeto.

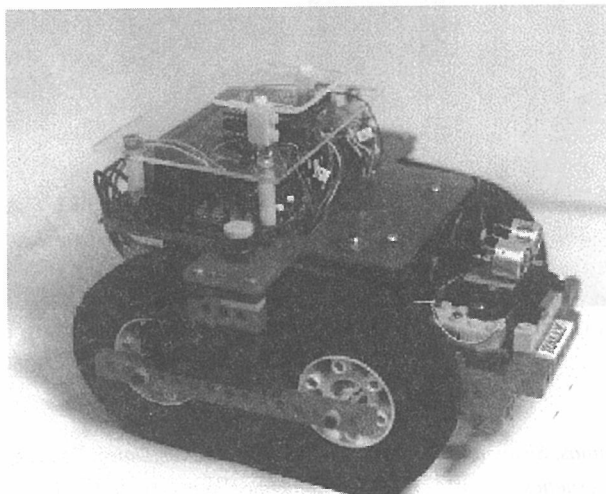
Las técnicas de control óptimo son también muy útiles. La idea básica es plasmar la especificación de diseño en una función de costo J . Esta función de coste dependerá de una serie de factores. La idea es encontrar las entradas al sistema que minimicen esta función J . Por ejemplo, si los recursos son limitados (un depósito de combustible con una determinada capacidad) y se desea seguir una trayectoria se deberá traducir estas especificaciones en una función cuya minimización permita obtener la mejor solución, esto es, seguir "aceptablemente bien" la trayectoria sin superar los recursos disponibles.

Estos problemas fueron muy importantes con la llegada de la era espacial, en ella se dio un fuerte impulso a la cibernética. Los nuevos requerimientos de diseño con sistemas que debían ser muy precisos, donde además era muy importante minimizar tiempos y recursos energéticos contribuyeron a desarrollar la teoría del control óptimo. Por estas necesidades despertaron gran interés los métodos del dominio temporal debidos a los matemáticos Lyapunov, Minorsky o Popov. También L. S. Pontryagin en Rusia y R. Bellman en Estados Unidos desarrollaron las teorías del control óptimo.

La idea de sustituir en los bloques de decisión las expresiones analíticas clásicas por una red neuronal artificial fue también una interesante contribución de Wiener. Estas redes tendrán como entradas las informaciones sensoriales y como salidas las órdenes de control.

Una neurona artificial es un elemento de cálculo que produce una salida que es la suma de las entradas multiplicadas por unos parámetros llamados pesos. La salida a su vez se alimenta de un elemento no lineal del tipo toda-nada o sigmoide. Inicialmente los pesos de todas las entradas o sinapsis de cada una de las neuronas en la red se ajustan a valores arbitrarios, de manera que la respuesta inicial de la red a unos estímulos en la entrada es aleatoria. Para obtener la respuesta deseada de la red se requieren ajustar todos esos pesos a unos valores que permitan que la red responda a los estímulos cono-

47



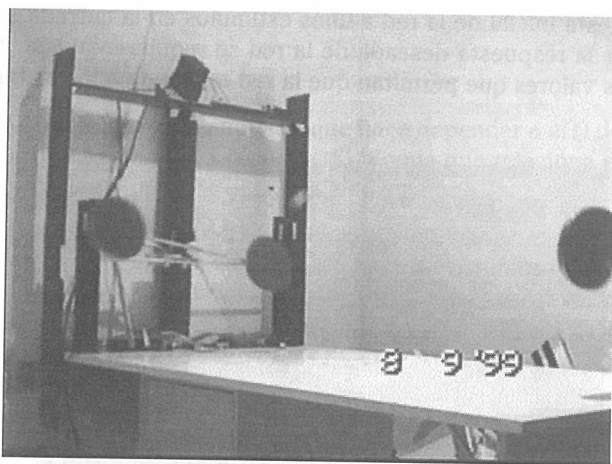
cidos con la respuesta correcta. Este proceso se conoce como entrenamiento o aprendizaje de la red. Una de las formas más comunes de entrenamiento, el "Backpropagation", se basa en la aplicación de técnicas de gradiente descendente.

En las redes neuronales el conocimiento es adquirido a partir de conjuntos de entrenamiento. A través del entrenamiento se almacena de una manera distribuida en la estructura conexionista de la red, esto es, en los valores de los pesos de la red. Estos son capaces de ajustarse para alcanzar buenas relaciones entrada-salida. Este aprendizaje distribuido permite que la red responda a una situación nueva a partir del conocimiento acumulado previamente. En consecuencia la mayor ventaja de las redes neuronales es su habilidad para manejar sistemas de difícil modelización analítica.

Otra alternativa que ha dado buenos resultados es la sustitución de los bloques de decisión y control por un conjunto de reglas, y el uso de la lógica "fuzzy" (difusa). La idea es representar un bloque con entradas y salidas numéricas mediante reglas que reflejen el conocimiento experto que se tiene de un sistema.

Un campo de aplicación de todas estas teorías es la robótica. Un robot es el dispositivo cibernético por antonomasia. Un robot es cualquier estructura mecánica que opera con algún grado de autonomía, normalmente bajo control de un ordenador y que dispone de un sistema sensorial más o menos evolucionado para obtener información de su entorno. En las fotografías se muestran dos ejemplos de estos dispositivos cibernéticos: un jugador de ping-pong y el robot móvil Sultán.

47



Bibliografía

- Aracil J.: *Máquinas, Sistemas y Modelos. Un Ensayo sobre Sistemica*. Tecnos, 1986.
Wiener, N.: *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. 1948.