

Identificación de Sistemas

OSCAR F AVILÉS S, IE*

RESUMEN

Identificación es la obtención de modelos dinámicos, ecuaciones para describir el comportamiento de un sistema a través del estudio de las señales de entrada y de salida. Podría definirse entonces como el campo de construir modelos a partir de datos experimentales, con el fin de tener herramientas fundamentales en el diseño de sistemas de control.

INTRODUCCIÓN

Durante siglos el hombre se ha valido de modelos para describir la naturaleza de las cosas. El, en su afán de adquirir más conocimientos, ha ido desmenuzando los distintos fenómenos hasta obtener las "leyes" que los gobiernan. Así es que se dispone de la mecánica de Newton, el electromagnetismo de Maxwell, la relatividad de Einstein, la mecánica cuántica, leyes químicas y otras. Pese a que estas leyes son sólo modelos y no la realidad mis-

* Ingeniero Electrónico, Docente Fac. Ingeniería. Jefe Área de Automatización y Control. Dpto. de Ingeniería Mecatrónica. UMNG

ma, la describen con tanta exactitud que se usan como leyes fundamentales.

En un ambiente industrial o de laboratorio los modelos se utilizan para predecir y controlar la evolución de los distintos procesos. Para obtenerlos se puede recurrir a las leyes fundamentales de la física y de la química, y combinarlas hasta obtener un modelo global, o también se haría útil el empleo de ordenadores con el fin de obtener los modelos de manera experimental haciendo mediciones directas sobre el proceso que se quiere modelar, de este modo, se obtiene no solamente un modelo de la planta, sino también cierta intuición de los fenómenos involucrados.

Afortunadamente, existe otra manera de obtener modelos más simples, que es la identificación de sistemas. Por identificación se entiende el estudio de las señales de entrada y de salida de un proceso, y la obtención de un modelo a partir de ellas. La identificación se basa en la experimentación, que es el mismo método que ayudó durante siglos a la deducción de las leyes fundamentales de la naturaleza.

OBJETIVO

El objetivo principal del presente documento es mostrar la importancia de la identificación de sistemas, este es el resultado de la revisión bibliográfica de diferentes documentos referentes al tema.

CLASES DE MODELOS

Muchos de los procesos industriales, deben ser controlados para una mayor seguridad y eficiencia; para el diseño de estos reguladores se requiere el modelo del proceso. Los modelos pueden ser de varios tipos y grados de sofisticación. En algunos casos es suficiente conocer la frecuencia de corte y el margen de fase en un diagrama de Bode. En otros casos

tales como el diseño de un controlador óptimo se necesitará un modelo más detallado que describa también las propiedades de las perturbaciones actuando sobre el proceso.

Una aplicación de la modelización es el diagnóstico de equipos o de sistemas, donde se puede supervisar el buen funcionamiento de este, ver figura 1.

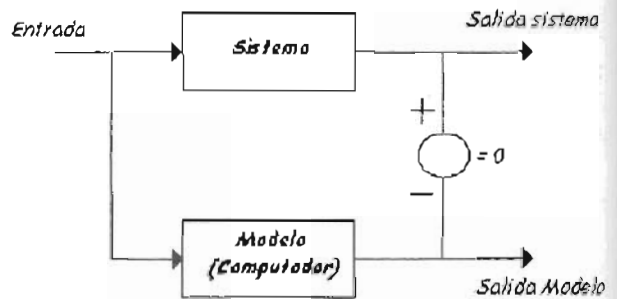


Figura 1. Monitoreo y diagnóstico de un sistema

El rápido desarrollo de los controladores digitales en los sistemas de control hacen necesario que los profesionales de Ingeniería tengan una excelente preparación en este campo. Uno de los requisitos básicos para poder realizar control es conocer el comportamiento del sistema a controlar para poder estimar los parámetros del mismo y con ellos realizar el análisis correspondiente, de tal manera que sea óptimo el control que se desarrolle para el sistema.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES EN EL PROCESO DE IDENTIFICACIÓN

Los modelos pueden ser simples conceptos intuitivos que se usan casi inconscientemente. En un sistema de un calentador eléctrico, por ejemplo, se sabe que aumentando el voltaje y por tanto la corriente eléctrica del calentador, la temperatura del fluido a la salida también aumenta. Este concepto es muy elemental pero puede ser suficiente para controlar adecuadamente

te el sistema, es común llamar a este tipo de modelos “mentales”, pues son realizados a partir de la intuición, es decir, no se involucra una formulación matemática.

Los gráficos y las tablas son modelos un poco más precisos. Entre ellos se pueden mencionar los diagramas de Bode, respuesta paso de un sistema, su respuesta impulso, el gráfico de curva característica de un semiconductor, etc, entonces estos modelos son llamados “Modelos Gráficos”.

En otro nivel de sofisticación los modelos pueden estar dados por sistemas de ecuaciones diferenciales o en diferencias. Las ecuaciones diferenciales aparecen naturalmente al aplicar leyes fundamentales de la física y de la química, y están definidas para sistemas en tiempo continuo, por ejemplo:

$$y'' + \frac{\beta}{m} y' + \frac{k}{m} y = f(t) \quad (1)$$

que sería la ecuación que describe el comportamiento de un sistema de orden 2 (p. Sistema masa resorte) y en donde los coeficientes de la ecuación (1) tienen un significado físico, mientras que las ecuaciones en diferencias aparecen generalmente como consecuencia de la discretización de ecuaciones diferenciales y del muestreo de señales analógicas, es decir para sistemas en tiempo discreto, por ejemplo:

$$\begin{aligned} y(k) + a_1 y(k-1) + \dots + a_n y(k-n) = \\ b_0 y(k) + b_1 y(k-1) + \dots + b_m y(k-m) \end{aligned} \quad (2)$$

la cual es una ecuación de diferencias de orden n ; en estas ecuaciones los coeficientes no tienen un significado físico como los coeficientes de la ecuación (1), pero estos son usados como herramientas para dar una buena descripción del comportamiento del sistema, este tipo de modelos son llamados “Modelos Matemáticos”.

COMO CONSTRUIR UN MODELO

Básicamente un modelo tiene que ser construido a partir de datos observados o datos experimentales. Una ruta para encontrar el modelo es dividir el sistema en subsistemas donde sus propiedades son conocidas de experiencias previas, luego estos subsistemas son unidos matemáticamente para obtener el modelo general. Este procedimiento es conocido como “*modelización*” y no involucra necesariamente algún tipo de experimentación. Otro camino es básicamente usar la experimentación, las señales de entrada y salida del sistema son grabadas y sujetas a un análisis para encontrar el modelo, se llama también “*sistemas de identificación*”, como muestra la figura 2.

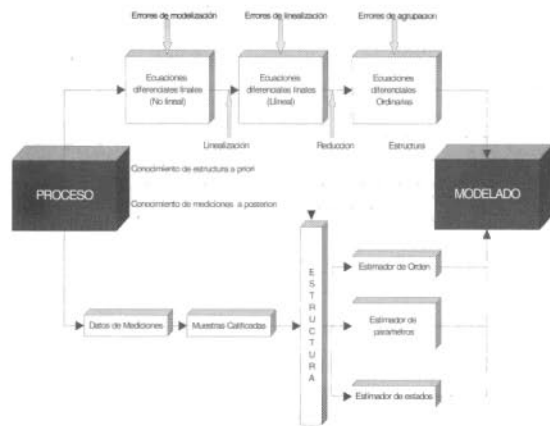


Figura 2. Proceso de Modelización

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION

Simulación: Con el apoyo de los modelos matemáticos se puede analizar el comportamiento de un sistema por simulación. Por ejemplo en casos en los cuales experimentar puede resultar demasiado peligroso o costoso.

Predicción: En algunos casos se está interesado en la predicción del comportamiento futuro de un sistema cuando es excitado por diferentes entradas.

Filtrar óptimamente: Los modelos matemáticos pueden ser utilizados para estimar variables que no pueden ser medidas directamente.

Controlar: Con el apoyo del modelo matemático de un sistema se pueden desarrollar controladores que satisfagan algunos criterios de comportamiento.

IDENTIFICACIÓN

El estudio de las leyes fundamentales y de los modelos derivados a partir de ellas revela que la mayoría de los modelos resultantes tienen una estructura similar: están dados por un conjunto de ecuaciones diferenciales. Las ecuaciones diferenciales son ecuaciones en las que intervienen las variables principales; en el ámbito industrial es común hablar de temperatura, presión, nivel y caudal. En los casos más simples, los coeficientes de esas ecuaciones diferenciales son constantes y están dados por parámetros tales como la masa, el momento de inercia, la resistividad, coeficientes térmicos, coeficientes viscosos, etc.

Entre las variables principales mencionadas se encuentran las señales de entrada (las señales de control y las señales espúreas, básicamente) y las señales de salida, que son aquellas que queremos controlar: presión, temperatura, grado de cocción, etc. Los coeficientes de las ecuaciones diferenciales determinan el modo en el que estas variables están relacionadas.

Si el modelo es suficientemente exacto, se pueden calcular las señales de salida a partir de las señales de entrada. El hecho a destacar es que el proceso inverso también es posible: conociendo cómo responde el sistema a ciertas señales de entrada podemos deducir qué coeficientes corresponden al modelo. Esta es la esencia de la identificación. Si efectuamos los experimentos apropiados, podemos dejar de lado el hecho que los coeficientes dependen de parámetros tales

como la masa, la resistividad, etc, y calcularlos a partir del modo en el que se comporta el sistema, o sea que la identificación es un proceso experimental.

ETAPAS DE LA IDENTIFICACIÓN

Los modelos deben ser construidos a partir de datos experimentales. Se comienza primero recolectando tanta información del sistema como sea posible. Eso da la primera pauta de qué tipo de modelo será el más adecuado: lineal o no lineal, de bajo o de alto orden, de dominio temporal o frecuencial, etc.

Luego se planea el diseño del experimento que se llevará a cabo y cuáles serían las restricciones que se deben tener en cuenta; enseguida es importante plantear la pregunta de cómo se harán las mediciones de las variables involucradas en el proceso que se pretende identificar. Las señales de entrada y de salida se miden y almacenan en disco para su posterior análisis, o se utilizan inmediatamente si se dispone de un sistema de cómputo de tiempo real, en este caso se deben tener en cuenta algunas consideraciones como: cuál será el periodo de muestreo, cuáles son las consideraciones de ruido y cuáles son las señales de entrada con que se piensa excitar el proceso.

El tercer paso es la determinación de la estructura del modelo, para lo cual se hace uso del conocimiento previo que se tenga del sistema así como también de conclusiones preliminares que se saquen de las mediciones tomadas. En un caso simple de un sistema de calentamiento, podríamos proponer un modelo del tipo:

$$\frac{dT}{dt} = a_2 t^2 + a_1 t^1 + a_0 t^0 \quad (3)$$

Uno puede aferrarse a esta estructura siempre que sepa que el sistema se ajusta razonablemente. En un caso más general se de-

ben explorar modelos de mayor orden y analizar los errores producidos por cada uno de ellos.

El paso siguiente consiste en la estimación de los parámetros del modelo, que para este caso son a_0 , a_1 y a_2 . El método más utilizado cuando la estructura del modelo lo permite es el de mínimos cuadrados, pero también se utilizan rutinas de optimización que eligen los parámetros que mejor se ajustan con un criterio dado. Los criterios de optimización pueden ser: minimización del error de predicción, minimización de cotas de error, minimización del orden del modelo dado cierto margen de error, etc.

Finalmente el modelo obtenido debe ser validado. Esto significa que debe verificarse que el modelo describe la planta o el proceso con la exactitud que se pretende; es decir, si la salida que predice el modelo es similar o no a la salida real de la planta. Existen varios test estadísticos que ayudan a decidir si un modelo dado debe o no ser aceptado, aunque la experiencia del ingeniero y el sentido común son irremplazables en esta cuestión. Si al validar el modelo el resultado es negativo, se deben repetir los pasos anteriores haciendo los ajustes necesarios hasta obtener un modelo que sí satisfaga los requerimientos. Estos ajustes pueden incluir nuevas mediciones para puntos de trabajo diferentes o modificaciones en la estructura del modelo. En el ejemplo del sistema de

calentamiento se podría incrementar el orden del modelo o incluir algún término que modele el retardo natural de este tipo de sistema.

CONCLUSIÓN

Para obtener un modelo de la planta se pueden seguir dos metodologías diferentes. La primera de ellas es el estudio minucioso de cada uno de los procesos que tienen lugar en la planta. La segunda metodología es la identificación, que es el estudio de las señales de entrada y de salida sin tener en cuenta las causas físicas de la interrelación entre ellas. Los mejores resultados se obtienen combinando ambos métodos. Primero se estudian los fenómenos que ocurren en la planta y se propone un modelo con cierta estructura. Los parámetros de estos modelos son estimados luego a través de la identificación. Si los modelos obtenidos inicialmente son inexactos, se exploran estructuras más complejas.

BIBLIOGRAFÍA

- LJUNG, Lennart, "*Systems Identification, Theory for the User*", PTR Prentice Hall, second edition, 1999.
- GUTIÉRREZ, Ana Isabel. Briers, Jan, "*Sistemas de Identificación*", Automatización Industrial SENA regional Bogotá, Corporación Universitaria de Ibagué, Bogota 1997.
- LJUNG, Lennart, Glad, Torkel, "*Modeling of Dynamic Systems*", PTR Prentice Hall, 1994.