

LA MECATRONICA Y LOS PRINCIPIOS BASICOS DE MODELADO DE ROBOTS

Giovanni Torres Charry
Area de Investigación y Desarrollo
Ingeniería Mecatrónica
Corporación Universitaria Autónoma de Occidente
gtorres@cua.edu.co

Resumen:

Se presentan las definiciones y los conceptos básicos de mecatrónica, al igual que los diferentes campos y áreas de tecnología involucrados en ella. Se esboza de manera general las técnicas más utilizadas en el modelado y simulación de robots.

1. Introducción

El diseño y la manufactura de productos modernos están cambiando rápidamente así como las nuevas tecnologías y las cambiantes demandas del cliente forzan a las compañías para introducir nuevos y más sofisticados productos en tasas cada vez más crecientes. La mecatrónica es una rama de ingeniería que trata de combinar los mejores aspectos de la mecánica, la electrónica, la computación y la ingeniería de control para lograr soluciones en los productos del consumidor y en los procesos de manufactura sobrepasando las limitaciones impuestas por la disciplina del pensamiento único. En el país de origen del concepto, Japón, se reconoció a mediados de los 70 que de los productos manufacturados y los procesos aproximadamente el 80 % tenían contenido mecatrónico. Para lograr y mantener competitividad, las compañías necesitan ingenieros entrenados con los principios y pensamiento mecatrónico.

Las cámaras del vídeo, las cámaras de autofocus y los reproductores de COMPACT DISC son comunes en nuestras vidas. Además de la transformación de viejos productos, tales como el control mecánico de la fotografía a principios electrónicos, nuevos productos que han sido posibles y que serían inconcebibles sin la interacción estrecha de las cuatro disciplinas básicas. Los sistemas contienen una cantidad cada vez más creciente de "inteligencia", simplemente porque deben reaccionar a cada vez más complicadas y divergente, y algunas veces conflictivos requerimientos de control y automatización. El carro y su altamente sofisticado motor es un primer ejemplo de ahorro de energía y reducción de la contaminación.

La evolución de la mecatrónica desde la electrónica de potencia a la mecatrónica inteligente es la siguiente:

Electrónica 1960-1970 Electrónica de potencia y motores Eléctricos (tiristores, motores ac)

1969 " nació la mecatrónica "

1975-1985 Control de Movimiento (Microprocesadores, teoría de control, dispositivos de alta velocidad , manipuladores)

1985 - La mecatrónica inteligente (visión, informática suave, fusión de sensor, redes)

2. Que es la mecatrónica ?

- La mecatrónica es una filosofía de diseño que utiliza la integración sinérgica de la mecánica, electrónica y el computador (control) para producir productos avanzados, procesos o sistemas (diseño y manufactura de productos y procesos industriales).
- La mecatrónica es una forma de pensar durante el proceso de diseño, dónde el equipo de diseño trata de vencer las barreras entre las disciplinas de ingeniería mecánica, electrónica, tecnología de información y física. Debido al efecto sinérgico, el resultado es más óptimo que en el que se obtendría en el caso de contribuciones separadas de las disciplinas diferentes. La visión mecatrónica del proceso del diseño gana popularidad en las industrias. La mecatrónica tiene muchas ventajas en el proceso de diseño, especialmente para productos con un gran valor agregado.
- La mecatrónica es la unión de fundamentos, procedimientos y técnicas para el servicio, producción y el desarrollo de máquinas, dispositivos e instalaciones orientados al futuro. La mecatrónica es así una interdisciplinaria técnica, construida sobre la base de la ingeniería mecánica clásica, eléctrica y electrónica, amarrando estas ciencias no el uno al otro, sino con informática e ingeniería de software. El foco central es el desarrollo integral de sistemas de componentes (" Meca"),el cual debe ser inteligentemente controlado (" tronica"). Un sistema compuesto de partes mecánicas y eléctricas, cubierto con una capa de sensores, que almacenan información, microprocesadores, que interpretan, procesan y analizan la información, y ensamblajes que reaccionan a esta información, así se vuelve un sistema completo mecatrónico.
- La forma de diseñar subsistemas de productos electromecánicos para asegurar el funcionamiento óptimo del sistema. Con seguridad, la mecatrónica es un área donde verdaderamente la metodología de ingeniería concurrente puede ser completamente explotada para garantizar los mejores resultados finales.

3. Campos interdisciplinarios

- Mecánica
- Eléctrica.
- Electrónica.
- Hidráulica, neumática.
- Control.
- Análisis numérico, Ingeniería de Software.

Pensum típico

4. Areas incluidas dentro de la mecatrónica

Las principales áreas técnicas incluidas en la mecatrónica son:

a. Modelado y Diseño.

- Métodos de diseño optimizados.
- Desarrollo rápido del producto.
- Diseño robusto.
- Ingeniería concurrente.

b. Manufactura.

- Mejoramiento del producto
- Sistemas de calidad.

c. Integración de sistemas.

- Sistemas mecatrónicos comprensivos optimizados como un todo.
- Subsistemas electromecánicos aseguran el funcionamiento optimo del sistema.

d. Control de movimiento.

- control de trayectorias

e. Actuadores y Sensores.

- Medición de superficies poco rígidas
- Manejo de productos poco rígidos
- Sistemas médicos

f. Control de Vibración y Ruido.

g. Control Inteligente.

h. Micro Dispositivos y Sistemas Opto-Electronicos.

i. Sistemas dentro de los automóviles.

j. Robots.

k. Otras aplicaciones.

Conocimiento básico en cada área

Los temas en cada área de la Ingeniería mecatrónica son:

- Mecánica - el estudio de fuerza y el movimiento: estática, cinemática y cinética, conjuntamente con aplicaciones al análisis y diseño de estructuras y máquinas.
- Sistemas Dinámicos y Control - la cinemática y la dinámica del mecanismo, el modelaje y dinámica de sistemas mecánicos, eléctricos, neumáticos e hidráulicos, teoría de control clásica y moderna.

- Computación - arquitectura de computador, diseño de programas, programación en FORTRAN y en C, gráficos por computador y solución de problemas con paquetes de software como MATLAB.
- Ingeniería Eléctrica y Electrónica - Corriente directa y alterna, teoría de circuitos, circuitos magnéticos y máquinas eléctricas, dispositivos semiconductores, amplificadores operacionales, introducción a sistemas digitales y a los sistemas de microprocesadores. Teoría de circuitos, control de máquinas eléctricas, semiconductores de potencia, y diseño digital.
- Sistemas digitales - el diseño de lógica programable, sistemas por computador en tiempo real, sistemas avanzados de microprocesadores y microcontroladores.
- Electrónica - amplificadores de potencia y de señales pequeñas usando transistores bipolares y de efecto de campo, filtros pasivos y activos, osciladores, transductores, acondicionamiento de señal e interconexión, optoelectrónica, control EMI, y suministro de potencia.
- Máquinas Eléctricas - máquinas eléctricas al igual que motores y generadores, semiconductores de potencia, y control electrónico en corriente alterna y directa.
- Mecánica aplicada e Ingeniería de materiales - el estudio de fuerzas, y los esfuerzos internos que estas producen en los elementos de máquinas, conjuntamente con la ciencia de materiales tal que pueda resistir las cargas aplicadas.
- Diseño Mecánico y Mecatrónico - la aplicación del conocimiento de ingeniería para crear dispositivos prácticos, máquinas y productos que incorporan tecnología mecánica y mecatrónica.
- Manufactura - Técnicas de manufactura tradicionales y modernas, Máquinas herramientas NC y robótica industrial.
- Gestión de Ingeniería - una introducción al manejo de negocios de Ingeniería en áreas como cálculo de costos y precios, estrategias para la solución y planeación de negocios.

Algunos temas de mayor profundidad son :

- Control por computador en tiempo Real - Diseño e implementación de sistemas de ejecución de multitareas para aplicaciones de medición y control.
- Diseño de maquinaria automática - Un estudio de los elementos que comprenden las típicas máquinas de propósito especial y automatizadas que son usadas en manufactura. La síntesis de máquinas desde estos elementos es también estudiada.
- Sistemas Robotizados -Éste tema se concentra en las aplicaciones automatizadas, programación, y en la integración del robot con otra maquinaria automatizada.
- Microprocesadores en Productos de Ingeniería - Diseño, desarrollo y designación realista de productos basados en microprocesadores.
- Ingeniería de Software - el Software debe ser diseñado, no sólo escrito. Este tema cubre el análisis, el diseño y mantenimiento de grandes proyectos de software.

5. Modelado y simulación en mecatrónica

El análisis computacional y el diseño de dispositivos mecatrónicos necesitan una fuerte aproximación (interacción) interdisciplinaria. Esto requiere la construcción de un modelo interdisciplinario del entorno para el control por computador del modelo físico.

El desarrollo asistido por computador de sistemas mecatrónicos es un proceso que abarca tres diferentes puntos de vista del modelado:

1. "Constructivo" Construcción y especificación del modelo en el estado de desarrollo de ingeniería usando herramientas CAD y CAE.
2. "Descriptivo" Construcción del modelo para el análisis del comportamiento dinámico físico e informacional.
3. "Procedimental" Modelado para codificar en computador y ser utilizado en sistemas de simulación y experimentos computacionales.

En el estado de desarrollo de ingeniería los modelos deben ser especificados de tal manera que los productos puedan ser manufacturados. Es decir, los componentes y subsistemas serán creados conceptualmente, proyectados y calculados, y formalmente descritos - es decir modelados. Para una buena práctica de ingeniería, los productos son modularizados funcionalmente en componentes y subsistemas que son desarrollados entonces de acuerdo con las disciplinas establecidas en la ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ingeniería de control, etc. Esto es soportado por un gran rango de herramientas de CAD/CAE tales como AutoCAD para diseño mecánico en 2 y 3D con una interface directa a CAM, es decir, Manufactura asistida por computador; PADS para manejo de circuitos, Power View para programación lógica de dispositivos y SIMULINK para diseño por diagrama de bloque de controles retroalimentados. Esto solo para mencionar algunas de las herramientas que son corrientemente utilizadas en los laboratorios de robótica. El reto en este estado es la integración funcional de todas las partes del sistema en una geométrica, estática, cinemática, electrónica de estado estable y planificada lógica base.

Los productos mecatrónicos consisten de componentes y sistemas que tienen una intrínseca y fuerte base de mecánica, electrónica y control por computador, solo para mencionar las mayores disciplinas involucradas. De aquí que para un proceso de diseño mecatrónico eficiente nosotros necesitamos una aproximación soportada por herramientas CA para integración dinámica en adición a la función integradora mencionada anteriormente.

La integración dinámica requiere un apropiado modelado físico (energía involucrada) y comportamiento informativo (control por computador involucrado) de los sistemas de ingeniería. Hasta ahora esta tarea de modelado estaba siendo soportada por paquetes de simulación, o simuladores de propósito general tales como ACSL o una variedad de simuladores de propósito especial tales como SIMPACK para dinámica multicuerpos, o SPICE para la dinámica de circuitos integrados. Sin embargo, esta situación no es bien satisfecha para el modelado multicisciplinario de la mecatrónica donde todas estas disciplinas deben ser tratadas concurrentemente y con igual énfasis. Aquí, una cualitativa nueva aproximación es hecha por Dymola, basado en el paradigma del modelado orientado a objetos.

El problema de la simulación y control de manipuladores robotizados ha hecho que los investigadores produzcan algoritmos computacionalmente eficientes para modelos

dinámicos y cinemáticos no lineales complejos. Modelos dinámicos adecuados para el control digital fueron desarrollados una década tras. Para reducir el tiempo de computación de modelos cinemáticos y dinámicos, paquetes de software han sido desarrollados desde entonces para producir estos modelos en forma algebraica. Su salida es un código de computador que puede ser unido dentro de una simulación compilada o software de control. Aunque los modelos generados por esta aproximación son muy eficientes, el usuario debe proveer un ambiente para soportar la simulación o síntesis de control. Existe comercialmente software diverso para la simulación robótica, sin embargo los principios básicos pueden ser utilizados bajo plataformas de programación tanto o menos sofisticadas para generar rutinas que adecuadamente se aproximen al comportamiento de los robots, convirtiéndose en una herramienta útil en la simulación y análisis experimental.

Las dos técnicas mas utilizadas son :

1. Programación orientada a objetos para simulación de manipuladores. (C++)

- Eficiencia computacional.
- Permite su implementación en tiempo real.
- El código es compilado, no interpretado, esto lo hace mas rápido.
- Utilizar las características del lenguaje C++.

2. Programación y/o manejo matemático con las utilidades de Matlab. (Rutinas que utilizan algoritmos eficientes para la cinemática y dinámica de los robots)

- Las rutinas son generalmente escritas de manera plana o en texto, útil desde el punto de vista pedagógico mas que por eficiencia computacional.
- Las utilidades proveen muchas de las herramientas necesarias para modelado y simulación de robots, así también como para el análisis experimental e instrucción.
- Rápido prototipado de las leyes de control y estrategias de generación de trayectorias, pero la naturaleza interpretativa de MATLAB previene el uso eficiente de los recursos del computador para proveer implementación en tiempo real.

Independientemente de la técnica utilizada y de las ventajas y desventajas de cada una de ellas, estas se rigen por los mismos principios cinemáticos y dinámicos.

Cinemática.

Cinemática directa, es el problema de resolver la posición cartesiana y orientación del efector final conociendo la cinemática de la estructura y las coordenadas de las juntas. La cinemática de la estructura puede ser bien descrita en términos de los parámetros de Denavit-Hartenberg.

Cinemática Inversa, es el problema de encontrar las coordenadas de las juntas, dada una transformación homogénea que representa la posición del efector final.

Dinámica

La dinámica de los manipuladores trata con las ecuaciones de movimiento, la forma en que el manipulador se mueve en respuesta a torques aplicados por los actuadores, o fuerzas externas.

Dinámica directa, es el cálculo de la aceleración de las juntas dadas la posición y la velocidad en un estado, y los torques aplicados por los actuadores útiles en simulación de sistemas de control de robots.

Dinámica inversa, calcula los torques requeridos en las juntas para alcanzar la condición de posición de la junta, velocidad y aceleración.

6. Simulación robótica con MATLAB

A continuación se describen los aspectos principales utilizados en el procedimiento general seguido para representar la cinemática y la dinámica de manipuladores por medio de matrices. Estas comprenden, en el caso más simple, los parámetros de Denavit-Hartenberg del robot y pueden ser creados por el usuario para todo manipulador unido en serie. La descripción del manipulador puede ser más elaborada, aumentando la matriz para incluir la inercia del material, la inercia del motor y parámetros de fricción. Tales matrices proveen un medio conciso para describir un modelo de robot.

a. Representación de traslación y orientación en 3D

En coordenadas cartesianas la traslación puede ser representada por un vector de posición A_p , con respecto al origen del marco de referencia A y donde $p \in \mathbb{R}^3$. Muchas representaciones de orientaciones en 3D han sido propuestas pero la más comúnmente utilizada en robótica son las matrices ortonormales de rotación. La transformación homogénea es una matriz 4x4 que representa traslación y orientación y puede ser creada simplemente por multiplicación de matrices. Las transformaciones homogéneas describen la relación entre planos de coordenadas cartesianas en términos de una traslación cartesiana, p , y orientación expresada como una matriz ortonormal de rotación 3x3, R .

Las transformaciones homogéneas pueden ser generadas a partir de los ángulos de Euler, o rotación alrededor de un vector arbitrario.

b. Interpolación

Frecuentemente en robótica es necesario interpolar entre dos posiciones u orientaciones.

c. Cinemática

La cinemática del manipulador es representada de manera general por una matriz que utiliza las convenciones standard de Denavit-Hartenberg, donde cada fila representa un brazo del manipulador. El procedimiento para todo robot específico puede ser derivado simbólicamente y comúnmente se puede una solución cerrada.

d. Trayectorias

Como se anotó, transformaciones homogéneas pueden ser utilizadas para representar la posición y orientación de un marco coordenado en el espacio cartesiano. En robótica frecuentemente necesitamos tratar con trayectorias o caminos, es decir, una secuencia

de marcos cartesianos o ángulos de las juntas. Cuando se resuelve para una trayectoria, la junta de origen para cada solución en cinemática inversa es tomada como el resultado de la previa solución.

e. Dinámica

La dinámica y cinemática del manipulador son representadas de una manera general por una matriz en la que cada fila representa un brazo del manipulador, para la matriz dinámica se tiene la misma matriz que para cinemática a la que se le agregan columnas para los parámetros de inercia y masa, así como para la inercia del motor y los parámetros de fricción.

La formulación recursiva de Newton-Euler es un algoritmo eficiente orientado a matrices para evaluar la dinámica inversa.

7. Conclusiones

- La mecatrónica es una rama de la ingeniería que trata de combinar los mejores aspectos de la mecánica, electrónica, la computación y la ingeniería de control para lograr soluciones optimizadas en los productos y en los procesos de manufactura.
- La mecatrónica es un área donde la metodología de la ingeniería concurrente puede ser completamente explotada para garantizar los mejores resultados finales.
- El análisis computacional y el diseño de dispositivos mecatrónicos necesitan una fuerte interacción interdisciplinaria. Se requiere la construcción de un modelo interdisciplinario del entorno para el control por computador del modelo físico.
- Aceptando que existe comercialmente software diverso para la simulación robótica, los principios básicos pueden ser utilizados bajo plataformas de programación tanto o menos sofisticadas para generar rutinas que adecuadamente se aproximen al comportamiento de los robots, convirtiéndose en una herramienta útil en la simulación y análisis experimental.
- Bajo Matlab la representación de la cinemática y la dinámica de manipuladores se hace por medio de matrices. Estas comprenden, en el caso más simple, los parámetros de Denavit-Hartenberg del robot y pueden ser creados por el usuario para todo manipulador unido en serie.
- Las rutinas para Matlab son generalmente escritas de manera plana o en texto, útil desde el punto de vista pedagógico mas que por eficiencia computacional. Las utilidades proveen muchas de las herramientas necesarias para modelado y simulación de robots, así también como para el análisis experimental e instrucción.
- Con Matlab se puede fácilmente hacer análisis dinámico y cinemático (inversa y directa) y su manejo permite además obtener gráficamente las trayectorias generadas en la simulación.

Cualquier comentario o sugerencia [EscriBaMe](#)