

APUNTES

ROBÓTICA

ROBOTICA

INTRODUCCION

Como antecedentes a lo que es actualmente la robótica existían manipuladores mecánicos con control manual remoto, utilizados para varias cosas como manipular materiales radioactivos, en submarinos oceanográficos, naves espaciales tripuladas...

El hecho de requerir un operador humano que manejase estas máquinas hace que estos sistemas no puedan considerarse como robots.

El estudio de este tipo de mecanismos mejoraron la mecánica estática y dinámica y los avances informáticos paralelos. Se empezaron a hacer avances en el M.I.T. y en Stanford principalmente. Los países que más han contribuido a la Robótica son : EEUU, Japón, URSS, Gran Bretaña y Alemania Occidental.

La Robótica es una tecnología multidisciplinar que engloba:

- Automática.
- Mecánica.
- Electrónica.
- Informática
- Economía y Sociología.

Anteriormente, los robots eran demasiado grandes y costosos, además había que asociarles computadoras también muy caras. La aparición de Microprocesador abarató bastante los precios.

Los sistemas financieros son muy reacios a aceptar nuevas tecnologías como la robótica, ya que no la ven como una utilidad inmediata.

CLASIFICACIÓN DE LA ROBÓTICA DESDE

EL PUNTO DE VISTA INDUSTRIAL

La diferencia fundamental de un robot y una máquina/herramienta autómatas estriba en que esta última está especializada en su trabajo, mientras que el robot es más versátil y puede utilizarse como parte fundamental de una línea de producción flexible.

Tipos de Robots:

- **Robots Inteligentes:** son manipuladores o sistemas mecánicos multifuncionales controlados por computadores capaces de relacionarse con su entorno o a través de sensores y tomar decisiones en tiempo real. Concepto de Inteligencia Artificial.
- **Robots con control por Computador:** similares a los anteriores pero carecen de la capacidad de relacionarse con el entorno que les rodea.

- **Robots de Aprendizaje:** se limitan a repetir una secuencia de movimientos realizada con la intervención de un operador y luego lo memorizan todo. También se denominan Robots de Macro.
- **Robots Manipuladores:** son sistemas mecánicos multifuncionales cuyo sencillo sistema de control permite gobernar el movimiento de sus elementos de las formas siguientes:
 - Manual: el operador lo controla directamente.
 - De Secuencia Variable: es posible alterar algunas de las características de los ciclos de trabajo.

Nota: los manipuladores son considerados robots en Japón, pero no en Europa y EEUU, sólo algunos de secuencia variable.

CLASIFICACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL CONTROL DE SUS MOVIMIENTOS

Tipos de Robots:

- **Sin Servocontrol:** el programa que controla el movimiento de los diferentes componentes del robot se realiza en un posicionamiento punto a punto en el espacio.
- **Con Servocontrol:** este tipo de control permite dos formas de trabajo diferentes:
 - Gobierno de los movimientos de los elementos del robot en función de sus ejes. Los desplazamientos pueden realizarse punto a punto o con trayectoria continua.
 - Los movimientos se establecen en función de la posición respecto a los ejes de coordenadas (x,y,z) y de la orientación de la mano o herramienta del robot.

Nota: Servocontroles son sistemas realimentados que comparan la entrada con la salida

OBJETIVOS DE LA ROBÓTICA INDUSTRIAL

- **Aumento de la Productividad.**
- **Mejora de la Calidad.**

Las causas que ocasionan la mejora de la productividad se resumen en las siguientes:

- Aumento de la velocidad: se debe a la repetición automática de los movimientos del robot con optimización de la velocidad.
- Elevado tiempo en funcionamiento sin fallos.
- Mantenimiento reducido.
- Optimización sustancial del empleo del equipo o máquina que maneja el robot.
- Acoplamiento ideal para producciones de series cortas y medias.
- Rápida amortización de la inversión.

PROBLEMÁTICA DEL ESTUDIO

DE LA ROBÓTICA INDUSTRIAL

El primer problema que nos encontramos es la conjunción de diversas tecnologías dentro del robot, siendo muy difícil coordinar todas las funciones técnicas y mecánicas. El problema básico que se quiere resolver se puede plantear como:

La capacidad de colocar una herramienta en una determinada posición y orientación en el espacio.

Dado que esa herramienta se encuentra al final de una serie de elementos del robot, su posicionamiento se realizará moviendo dichos elementos. En este caso se tratará de un problema Cinemático. Este problema se resolverá a través del cálculo matricial para resolver ecuaciones y cambios rotacionales y posicionales.

Por otra parte será necesario aplicar fuerzas y momentos en los accionamientos para mover el mecanismo hasta la posición deseada. Este es el campo de interés de la Dinámica. Intervendría la fuerza añadida por el motor

El control de todo esto se haría a través de una computadora o microprocesador.

Nota: Momento de inercia: resistencia que un cuerpo en rotación opone al cambio de su velocidad de giro

Otros puntos a tener en cuenta en la problemática de la robótica serían:

- La programación con sus distintos lenguajes
- Sensores: diferenciación de los robots inteligentes de los tontos
- Procesamiento de imágenes, Inteligencia Artificial...
- ...

ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS

GENERALES DE LOS ROBOTS

CARACTERÍSTICAS:

- Grados de Libertad: es el número de parámetros que es preciso conocer para determinar la posición del robot, es decir, los movimientos básicos independientes que posicionan a los elementos del robot en el espacio. En los robots industriales se consideran 6° de libertad: tres de ellos para definir la posición en el espacio y los otros tres para orientar la herramienta.
- Precisión: en la continua repetición del posicionamiento de la mano de sujeción de un robot industrial se establece un mínimo de precisión aceptable de 0,3mm, aunque es factible alcanzar precisiones de 0,05mm.
- Capacidad de carga: es el peso en Kilogramos (generalmente) que el robot puede manipular. Si son pesos muy elevados se utilizarán mecanismos hidráulicos.
- Sistemas de coordenadas para los movimientos del robot: son los movimientos y posiciones que se pueden especificar en coordenadas cartesianas, cilíndricas y polares.
- Cartesianas: x,y,z.
- Cilíndricas: isométrico, caballera...
- Polares:
- Programación: puede ser manual, de aprendizaje (directa o mediante maqueta), punto a punto y continua.

Aprendizaje directo: se introduce la programación directamente.

Maqueta: aprende de los movimientos realizados por un operario. (comportamiento tipo macro)

Continúa: se pueden incluir funciones, por ejemplo la función de la elipse para un recorrido que sea elíptico.

Punto a Punto: Se colocan en una tabla todas las coordenadas punto a punto por las que va a pasar el robot.

Manual: se maneja el robot directamente, eligiendo las funciones. Se pueden pasar parámetros. No se puede reprogramar.

ESTRUCTURA

Configuración básica de un Robot: se divide en tres partes esenciales atendiendo a la clasificación entre manipuladores y robots:

Manipulador: constituye la parte mecánica del robot y está formado por los siguientes componentes:

- **Varios elementos relacionados entre si mediante uniones** que permiten su movimiento rotativo. En principio, consideramos estos elementos rígidos con pocos grados de libertad, ya que hablamos de Robótica Industrial.

A estas uniones se les llama pares cinemáticos y se permiten dos movimientos:

Rotación: alrededor de un eje (par de rotación)

Traslación: par prismático

La notación es para el par de rotación y para el par de traslación.

- **Dispositivos de agarre y sujeción:** conocidos como manos y que poseen la capacidad de sujetar, orientar y operar sobre las piezas manipuladas.
- **Sistemas Motores:** estos sistemas proporcionan una energía mecánica que se transmite directamente o a través de elementos auxiliares como engranajes, correas dentadas...

Control: sirve para manejar los motores, se verá posteriormente.

Sistemas Sensitivos: son aquellos que permiten la interacción del robot con el entorno. Pueden ser de dos tipos:

De contacto directo -> de fuerza

Remotos: de visión y de sonido

Un ejemplo seria el robot que reconoce un objeto ópticamente y utiliza el contacto para manipularlo. También se puede guiar por el sonido.

También hay que decir que dentro de un robot existen dos tipos de sensores:

Internos: no dotan al robot de inteligencia pero sirven para controlar los mecanismos internos del robot.

Externos: dotan al robot de cierta inteligencia ya que interactúan con el entorno.

MOTORES

Motor: es un sistema basado en las leyes del electromagnetismo básicas, convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Además es un sistema reversible.

Generador: es una máquina que basada en las leyes del electromagnetismo básicas sirve para convertir la energía mecánica en eléctrica.

Destaca en especial la utilización de los motores de Corriente Continua por su elevada relación par/velocidad que los hacen más apropiados en muchas aplicaciones, por otra parte también destaca la sencillez de control y su fácil adaptación a los circuitos electrónicos basados en microprocesadores. Una función de los motores de Corriente Continua eléctricos es la siguiente:

Si alimentamos el motor, éste toma una muestra de la señal de entrada, al ser un sistema realimentado al final hace una comparación con la señal de entrada y la que le llega después.

Por su bajo coste y la supresión de la realimentación en la determinación de la posición del eje, los motores Paso a Paso son muy interesantes.

SECCIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO

PRINCIPIOS GENERALES DEL ELECTROMAGNETISMO

Se ha comprobado experimentalmente que un conductor recorrido por una corriente eléctrica y colocado en un campo magnético, está sometido a la acción de una fuerza de tipo electromagnética. Se genera un campo magnético:

Principio del Motor:

Vamos a tomar un elemento diferencial de conductor de una longitud dl sometido a la acción de un campo magnético $\mathbf{B}$ que es recorrido por una intensidad $\mathbf{I}$ y que forma un ángulo con la dirección de campo.

La fuerza electromagnética presenta una dirección perpendicular al plano de la figura desplazando al conductor en un sentido opuesto al observado. En el caso de que el eje del conductor sea perpendicular al campo magnético la expresión quedaría:

$$F = B \cdot I \cdot l$$

El inducido en el que se distribuye un bobinado de Z conductores, alojados en ranuras practicadas en un paquete de chapas magnéticas, se sitúa sobre un cuerpo rotor o eje dispuesto sobre cojinetes que permiten su fácil rotación. Los Z conductores del bobinado del inducido se encuentran bajo la influencia del campo inductor producidos por los polos norte y sur repartidos regularmente en el interior de la carcasa del motor.

Los conductores del inducido colocados axialmente en el interior de las ranuras presenta una dirección perpendicular al flujo del entrehierro (lo más pequeño posible teniendo en cuenta la ventilación del motor).

El sistema constructivo del motor con sus dispositivos de portaescobillas y escobillas repartidas sobre la superficie del colector, determina que, con independencia de la posición del inducido sobre su giro, las corrientes absorbidas de la red de alimentación, circulen en una dirección en los conductores situados bajo un polo inductor N (norte) y en una dirección bajo un inductor S (SUR)

Este hecho da lugar a la aparición de un par motor que hace girar el motor.

PAR MOTOR

Los pares motores son unas fuerzas paralelas sobre un dispositivo rígido que gira creando un momento.

$$T = F.R.Z$$

$$F = B.I.l.\sin$$

$$= 90^\circ \sin = 1$$

$$B = \frac{1}{S}$$

$$K = \frac{Z}{I+R}$$

$$S = \text{cte} \rightarrow k = \frac{Z}{I+R+S}$$

TENSIONES GENERALES

En todo conductor que se mueve a través de un campo magnético se genera una tensión.

Si existe un flujo magnético de valor constante y uniforme (se mide en webers) y en su interior se mueve un conductor, se genera entre los extremos A y B una tensión de tal forma que cuanto más aumenta la velocidad más aumentará la Fuerza Electromotriz (FEM) entre A y B.

Cuando la velocidad es constante la aceleración es nula.

$$a = \text{cte}$$

$$v = \text{uniforme}$$

$$a = 0$$

t = tiempo en seg. Que tarda en recorrer el campo.

$$\text{Tensión generada} = \text{cte} = \frac{e}{t}$$

Si el flujo de no varía:

$$\text{Pequeña fuerza Electromotriz} = \frac{d\phi}{dt}$$

$$\text{Cuando } L, v \text{ y } B \text{ son perpendiculares podemos aplicar las dos fórmulas anteriores: } \frac{d\phi}{dt} = B.L.v \text{ y Tensión generada} = \frac{e}{t}$$

Teniendo en cuenta que no es el número total de conductores el que contribuye a la tensión interna, sino que hay en cada uno de los circuitos en derivación (Z/Z_a), se obtiene que:

$$e = B.L.v.Z/Z_a \Rightarrow$$

Por tanto la tensión interna generada es igual al producto del flujo total () por el número de conductores de

cada circuito en paralelo del inducido y por el número total de revoluciones por segundo de la máquina.

Teniendo en cuenta que en cada máquina $2p \cdot Z / Z_a$ es un valor constante que llamaremos K'

$$\mathcal{E}$$

$$= K' \cdot n$$

Sin tener en cuenta lo anterior:

$$d = B \cdot L \cdot dl$$

$$\mathcal{E}$$

$$= d / dt = (B \cdot L \cdot dl) / dt \cdot dv$$

FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ

Al conectar la máquina en la red de alimentación se desarrolla un par que determina el ciclo del motor. La existencia de un campo inductor portando a Z conductores alojados en las ranuras del rotor que gira a una cierta velocidad, genera fuerzas electromotrices en estos conductores. *Se cumple siempre que la tensión interna generada en el bobinado del inducido es opuesta a la tensión aplicada en bornes del motor*, por eso se llama Fuerza Contraelectromotriz, porque va en sentido contrario al motor.

TIPOS DE MOTORES SEGÚN SU EXCITACIÓN

Hay dos tipos de motores, en serie o en paralelo (Shunt)

MOTORES SERIE

En este tipo de motores, el bobinado de excitación (bobinado del estator) se conecta en serie con el bobinado del inducido. Los motores en serie tienen varios usos:

- Tracción eléctrica: conseguir arrastrar cosas...
- Trenes de laminación: para laminar con rodillos...
- Grúas Puente: se usan en naves para trasladar cosas...
- Cintas transportadoras...
- ...

Estos motores se utilizan por su dureza y durabilidad en sus servicios.

Características de funcionamiento

Las expresaremos con un gráfico:

Sentido de Giro:

En un motor serie, la inversión de su sentido de giro se puede conseguir invirtiendo la dirección de la corriente en el bobinado inductor o en el inducido. Para cambiar el sentido de giro sólo tenemos que cambiar la polaridad del motor, saldrá o entrará del bobinado.

Fuerza Contraelectromotriz e Intensidad Absorbida

LA tensión interna generada, nula en el arranque, aumenta gradualmente de valor, hasta alcanzar un límite impuesto por la corriente necesaria para establecer un par motor igual al resistente solicitado por la máquina accionada.

Resistente solicitado → lo que solicita la máquina que usa el motor.

En el arranque, el valor de E es nulo y la Intensidad de arranque puede ser muy elevada, de allí que sea necesario colocar resistencias intercaladas entre la línea y los bornes del motor.

El caso anterior hace que la intensidad sea muy alta, por lo cual sumaremos una resistencia R' suplementaria para estabilizar el motor. Cuando conseguimos una fuerza contraelectromotriz, quitamos R'. Estas resistencias suelen estar temporizadas por relés.

$$I = V / (R + R')$$

Velocidad

$$I = (V - E) / R \quad n = E / (K' \cdot \phi) = (V - I \cdot R) / (K' \cdot \phi)$$

$$E = K' \cdot \phi \cdot n \quad n = (V - I \cdot R) / (K' \cdot \phi)$$

Para un flujo magnético y eléctrico constantes, la velocidad dependerá de la tensión aplicada en los bornes.

MOTORES SHUNT

Los motores en derivación, conocidos como motores Shunt, se caracterizan porque el bobinado de excitación se encuentra en paralelo con el bobinado del inducido.

La velocidad es sensiblemente constante entre el vacío y la plena carga.

Vacío: el motor gira con el eje libre sin carga

Plena Carga: toda la energía es absorbida por la carga.

Esta clase de motores se usan para ventiladores industriales, bombas centrífugas y máquinas herramienta.

Métodos para el control de velocidad en los motores Shunt

- *Control del campo inducido:* cuanto mayor es el campo más disminuye la velocidad.
- *Control de la tensión del inducido:* cuanta más tensión caiga en la bobina del motor Shunt, más velocidad adquirirá este.
- *Control de combinación:* es una combinación de los dos métodos anteriores.
- *Control del inducido mediante resistencias:* intercalar una resistencia para disminuir la velocidad del motor, ya que la tensión en los bornes disminuye.

Regulación de la velocidad del motor mediante el campo inducido

Un decremento de la Intensidad de excitación manteniendo constante la tensión V, provoca una disminución del flujo y conlleva un aumento de la velocidad n.

MOTORES COMPOUND

También se llaman motores de excitación compuesta. Se distinguen por disponer de un bobinado inductor en serie cuyas fuerzas electromotrices se suman a las del bobinado inductor Shunt.

Estos motores se aplican en trenes de laminación, grúas puente, palas excavadoras, cintas transportadoras, etc...

Para cambiar el sentido de giro se realiza por el cambio de sentido de la corriente del inducido o del inductor indistintamente.

SISTEMAS DE CONTROL

SISTEMA DE LAZO ABIERTO

La salida no influye en la entrada, es decir, la salida no tiene efecto sobre la acción de control.

SISTEMAS DE LAZO CERRADO

En este tipo de sistemas la salida tiene un efecto directo sobre la señal de control.

Se recoge una muestra de la salida eléctrica, el elemento de realimentación la recoge y la lleva a un elemento todavía más complicado que compara la muestra con lo que quiere, después modifica el accionador según los resultados. Podríamos desear una velocidad determinada para el motor sin saber su carga, por lo que deberá recoger la velocidad a la que va el motor y tomar las medidas pertinentes para luego usar los accionadores. Si por ejemplo quitáramos la carga del motor, el motor se realimentará y se modificará a través de los accionadores.

CONTROL DE MOTORES DE CORRIENTE CONTÍNUA

Teniendo en cuenta que la velocidad de un motor de Corriente Continua es directamente proporcional a la tensión aplicada en los bornes e inversamente proporcional al flujo, se intentará controlar la velocidad (n) modificando estos dos factores en la fórmula

$$n = (V - I \cdot R) / (K \cdot \Phi)$$

La mayoría de los controladores de velocidad de tipo industrial requieren un par constante para distintas velocidades. Se consigue manteniendo el flujo constante y la tensión V variable.

Por otra parte, algunas aplicaciones requieren regulación de velocidad manteniendo constante la Potencia. Habría que mantener el Par y la Potencia constantes, el producto $V \cdot I$ se deberá mantener constante, el flujo sería variable. Esto se conseguiría variando la excitación del campo de un motor de tipo Shunt que es el que permite variar el flujo Φ .

MOTORES PASO A PASO

Son sencillos y económicos con respecto a los servomotores CCC con realimentación. El problema de estos motores es que tienen una potencia limitada (1CV).

El motor Paso a Paso es un elemento capaz de transformar pulsos eléctricos en movimientos mecánicos. El eje del motor gira un determinado ángulo por cada impulso de entrada, con lo que el movimiento es muy preciso y fiable.

El motor Paso a Paso puede girar en los dos sentidos, y el ángulo de giro puede variar entre $0,72^\circ$ 500 pasos / 1 vuelta y 90° , 4 pasos / 1 vuelta.

Principios de funcionamiento

Se modifican los polos para provocar el giro.

El motor Paso a Paso perfecto sería el que tuviera polos infinitos, así se obtendrían giros de 0 grados.

Para permitir una mejor resolución por paso, se añaden más polos al estator; además en dichos polos se mecanizan.

Tipos de motores Paso a Paso

- De imán permanente: en lugar de electroimanes tienen imanes permanentes.
- De reluctancia variable: se crea un campo magnético variable con reluctancias variables.
- Híbridos: es una mezcla de los dos anteriores.

Características principales de los motores Paso a Paso

Además del giro, también hay otras características. El momento depende de cuatro factores:

- Velocidad de Paso: el tiempo que tarda en recorrer el arco de giro. Los impulsos deben estar sincronizados con la velocidad de paso para no perder tiempo.
- Corriente del devanado: la corriente que atraviesa las bobinas del motor paso a paso. Si el motor se queda quieto después de girar, la corriente usada para el nuevo impulso será muy elevada.
- Diseño del controlador

EL ROBOT Y SU ENTORNO

ELEMENTOS TERMINALES Y SENSORES

- Elementos terminales(manos): hay de dos tipos:
 - Dispositivos aprensores o manos mecánicas.
 - Herramientas de trabajo.

La forma de aprensión de las manos mecánicas da lugar a la siguiente clasificación:

- Manos de sujeción por presión.
- Manos de sujeción por enganche.
- Manos de sujeción por acción auxiliar. (Electroimán, Ventosa, adhesivos vacíos...)
- Manos dotadas de sensores (un ejemplo sería un robot para apretar tornillos que debe calcular la fuerza al enroscar).
- Manos de diseño específico.
 - Sensores utilizados en la robótica:

- De posición y proximidad: que pueden ser internos o externos.
- De velocidad y aceleración.
- Fuerzas y pares (para el apreta-tornillos...).
- Dimensiones y entornos de objetos
- Sensores de Temperatura, Presión...

Sensores Optoeléctricos

- LED (Ligth Emitting Diode): emisor
- Fotodiodos: dispositivos receptores que permiten la circulación de corriente según la luz que le incide.
- Fototransistores: es un receptor que tiene la base al aire libre y se excita por la acción de los fotones.

Aplicaciones:

Sensores Electromecánicos

- Presductores: es un sensor de presión. Se suele poner en robots que deben calibrar su fuerza. Se suelen crear en mallas que, según la presión y la posición, un codificador determinará las variables, que en este caso serían digitales. Hay otros que cuantifican la presión.
- Galgas Extensiométricas: sirven para medir la fuerza que se aplica sobre un material flexible.

Sensores de proximidad

- Inductivos: para ferromagnéticos.
- Capacitivos.
- Triangulación: es una mezcla de la trigonometría y de los sistemas optoeléctricos, así podremos medir la proximidad. Se usan haces reflectantes o refractantes.

Sensores Eléctricos

Suelen usarse para conocer el estado de motores de corriente continua.

Sensores Electromecánicos

- Dinamos tacométricas: generan una tensión proporcional a la velocidad del eje al que se aplican
- Resolver: se emplean en los sensores internos del brazo del robot. Se emplean para la medida de la posición del eje de un motor.
- Transductores de Vibración: se suelen emplear acelerómetros (sensores), sensores de velocidad, etc. Determinan la vibración que hay en el punto que queremos medir.
- Interruptores: por ejemplo, para que una mano tenga tacto, se usan membranas Myler; al igual que cualquier cosa de la que se quiera medir la presión. Otro tipo son los interruptores secos, que creo que son los de presión.

Matriz de interruptores: con este tipo de interruptor calculamos la posición del contacto.

- Sensores de efecto Hall: sólo perciben corriente cuando no es perpendicular. Son dispositivos que

generan un voltaje cuando un campo magnético los cruza perpendicularmente, son semiconductores, de estado sólido (como un transistor)

Sensores ultrasónicos.

Se emplean bastante en la industria, usados para limpieza de conductores...

Se utilizan por varias razones:

- Tienen una frecuencia elevada (por encima de frecuencias de 15000 Hz).
- Por su bajo coste.

La velocidad con que las ondas ultrasónicas atraviesan a los materiales, depende de su elasticidad y de su densidad. Si el medio es un gas también influye considerablemente la Temperatura.

Cuando las ondas ultrasónicas que circulan por un medio chocan con otro diferente, una parte de ellas se reflejan hacia su origen.

Teniendo en cuenta la velocidad de propagación y el tiempo que transcurre hasta el regreso de la onda al emisor(a la fuente que genera la señal), se puede calcular fácilmente la distancia entre el foco de ultrasonidos y el objeto reflector, así como el espesor de los materiales. Va a atravesar el objeto hasta que no pueda atravesarlo más, entonces vuelve el haz.

Sistema con rayo láser

Es otro tipo de sensor con un funcionamiento similar que el ultrasónico. Aunque tiene más ventajas:

- Es puro, es monofásico, no es una mezcla de distintas frecuencias como el ultrasónico (lo que le pasaba es que se le abría el haz). Aquí se mantiene la frecuencia.