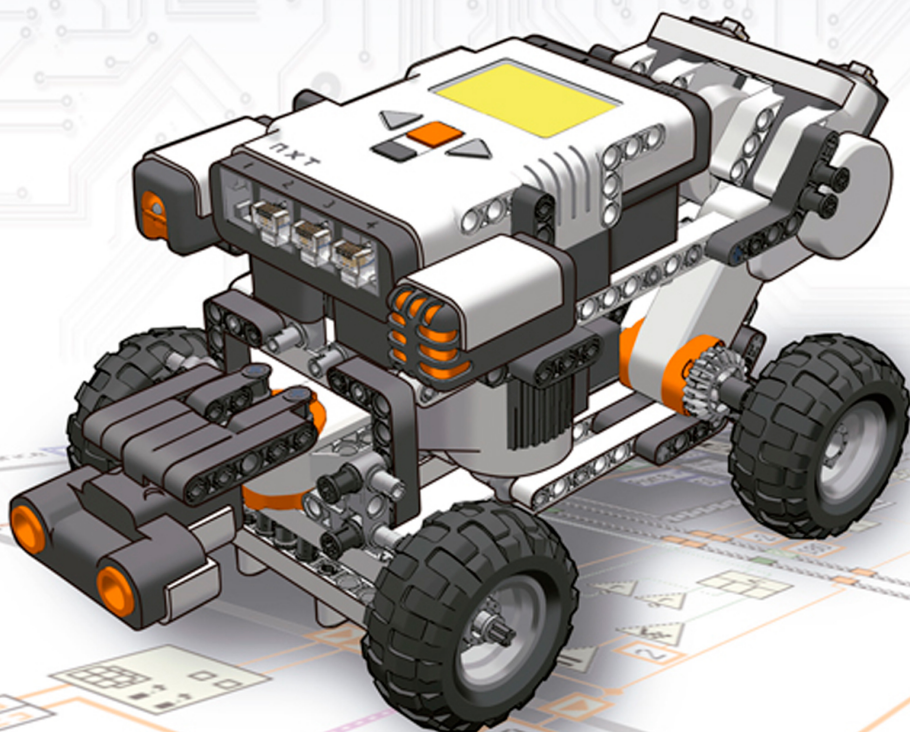


ROBÓTICA APLICADA

CON  **LabVIEW** Y 

- PEDRO PONCE CRUZ • VÍCTOR M. DE LA CUEVA HERNÁNDEZ
- HIRAM PONCE ESPINOSA

Apoyo en la



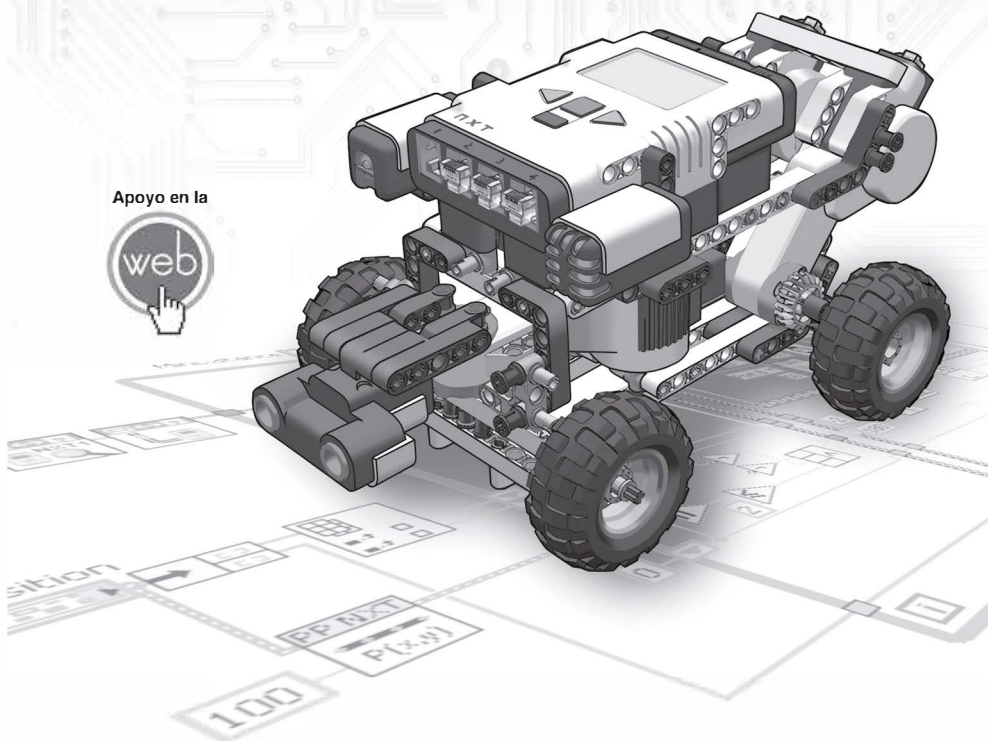
 **Alfaomega**

 **marcombo**
ediciones técnicas

ROBÓTICA APLICADA

CON  **LabVIEW**™ Y 

- PEDRO PONCE CRUZ • VÍCTOR M. DE LA CUEVA HERNÁNDEZ
- HIRAM PONCE ESPINOSA



 **Alfaomega**

 **marcombo**
ediciones técnicas

Robótica aplicada a LabVIEW y Lego

Pedro Ponce Cruz – Víctor M. De la Cueva Hernández – Hiram Ponce Espinosa

Derechos reservados © Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México.

Primera edición: Alfaomega Grupo Editor, México, febrero de 2015

Primera edición: MARCOMBO, S.A. 2015

© 2015 MARCOMBO, S.A.

www.marcombo.com

«Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra».

ISBN: 978-84-267-2249-2

D.L.: B-16542-2015

Impreso en

Printed in Spain

Acerca de los autores



Pedro Ponce estudió la carrera de Ingeniería en Control y Automatización, y es Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias con especialidad en ingeniería eléctrica.

El Dr. Ponce ha publicado tres libros y cinco capítulos en diferentes editoriales nacionales e internacionales, ha asesorado más de 25 tesis de licenciatura y posgrado en el área de control y automatización y ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Actualmente es Director de la Maestría y Doctorado en Ciencias de la Ingeniería del Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México.

El Dr. de la Cueva es Ingeniero en Sistemas Electrónicos, Maestro en Ciencias Computacionales con especialidad en Inteligencia Artificial y Doctor en Ciencias Computacionales con Especialidad en Inteligencia Artificial.

Es investigador en las áreas de Inteligencia Artificial, Robótica y Educación, y Director de Investigación y Posgrado del Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México.



Hiram Ponce es Ingeniero en Mecatrónica, Maestro en Ciencias de la Ingeniería con especialidad en Control Inteligente, y actualmente estudia el Doctorado en Ciencias Computacionales, desarrollando una nueva técnica de inteligencia artificial denominada Artificial Organic Networks.

Ha trabajado como investigador en robótica, mecatrónica, métodos de inteligencia artificial y control de sistemas, y es Profesor del departamento de computación en el Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México.



*A Norma, Jaime y Pedro con todo mi cariño.
A mi madre quien me enseña la parte
humana de la vida.
Pedro*

*A mi esposa Paty y a mis hijos Ana y Víctor.
Víctor*

*A Omar Saldivar, con especial afecto y gratitud.
A mis padres, por su apoyo incondicional.
A todos los que tienen alma de ingeniero
y corazón de niño.
Hiram*



Mensaje del Editor

Una de las convicciones fundamentales de Alfaomega es que los conocimientos son esenciales en el desempeño profesional, ya que sin ellos es imposible adquirir las habilidades para competir laboralmente. El avance de la ciencia y de la tecnología hace necesario actualizar continuamente esos conocimientos, y de acuerdo con esta circunstancia Alfaomega publica obras actualizadas, con alto rigor científico y técnico, y escritas por los especialistas más destacados del área respectiva.

Consciente del alto nivel competitivo que debe de adquirir el estudiante durante su formación profesional, Alfaomega aporta un fondo editorial que se destaca por sus lineamientos pedagógicos que coadyuvan a desarrollar las competencias requeridas en cada profesión específica.

De acuerdo con esta misión, con el fin de facilitar la comprensión y apropiación del contenido de esta obra, cada capítulo inicia con el planteamiento de los objetivos del mismo y con una introducción en la que se plantean los antecedentes y una descripción de la estructura lógica de los temas expuestos, asimismo a lo largo de la exposición se presentan ejemplos desarrollados con todo detalle y cada capítulo concluye con un resumen y una serie de ejercicios propuestos.

Además de la estructura pedagógica con que está diseñado el contenido de nuestros libros, Alfaomega hace uso de los medios impresos tradicionales en combinación con las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) para facilitar el aprendizaje. Correspondiente a este concepto de edición, todas nuestras obras tienen su complemento en una página Web en donde el alumno y el profesor encontrarán lecturas complementarias así como programas desarrollados en relación con temas específicos de la obra.

Los libros de Alfaomega están diseñados para ser utilizados en los procesos de enseñanza aprendizaje, y pueden ser usados como textos en diversos cursos o como apoyo para reforzar el desarrollo profesional, de esta forma Alfaomega espera contribuir así a la formación y al desarrollo de profesionales exitosos para beneficio de la sociedad, y espera ser su compañera profesional en este viaje de por vida por el mundo del conocimiento.



Contenido

Acceso al material complementario	XIII
Introducción	XV
Capítulo 1. Introducción a la robótica	1
1.1. Introducción	2
1.2. ¿Qué es un robot?	2
1.3. Componentes básicos de un robot	5
1.3.1. Sensores	5
1.3.2. Actuadores	12
1.3.3. Unidad de control	16
1.3.4. Diseño mecánico	19
1.4. Clasificación de robots	20
1.5. Modelado de los robots	23
1.5.1. Modelado de robots fijos	23
1.5.2. Modelado de robots móviles	24
1.6. Aplicaciones de los robots	28
Capítulo 2. Robots LEGO NXT	29
2.1. Introducción	30
2.2. ¿Qué es un robot NXT?	30
2.3. Componentes básicos de un robot NXT	31
2.3.1. Sensores NXT	32
2.3.2. Motores NXT	46
2.3.3. Conectores	47
2.3.4. Bloque inteligente NXT	49
2.3.5. Estructura de bloques LEGO	53
2.4. Ejemplos de robots NXT	55
2.4.1. Diseño de tracciones	55
2.4.2. Diseño de piernas	57
2.4.3. Diseño de brazos robóticos y manipuladores	58

Capítulo 3. Entorno de programación NXT	61
3.1. Introducción	62
3.2. Conexión entre el robot NXT y LabVIEW	62
3.3. Introducción a la programación básica en LabVIEW	63
3.4. Estructura de la caja de herramientas LEGO NXT	73
3.5. Inicialización de la programación NXT en LabVIEW	75
3.6. Manejo de sensores NXT	78
3.6.1. Sensor de contacto NXT	78
3.6.2. Sensor de luz NXT	80
3.6.3. Sensor ultrasónico NXT	81
3.6.4. Sensor de sonido NXT	81
3.6.5. Brújula NXT	82
3.6.6. Sensor de color NXT	84
3.6.7. Acelerómetro NXT	84
3.6.8. Sensor de temperatura NXT	85
3.7. Manejo de motores NXT	85
3.8. Comunicación	86
3.8.1. Comunicación USB y comunicación Bluetooth	87
3.8.2. Programación de la comunicación en robots NXT	88
Capítulo 4. Sistemas de control empleando robots NXT	93
4.1. Introducción	94
4.2. Sistemas de control	95
4.2.1. Señales que conforman un sistema de control	96
4.2.2. Componentes básicos de un sistema de control	98
4.3. Sistema de control en lazo abierto y lazo cerrado	100
4.4. Tipos de controladores	103
4.4.1. Controlador de dos posiciones	104
4.4.2. Controladores PID	107
4.5. Robot Segway. Antecedentes	116
4.5.1. Transporte personal Segway	116
4.5.2. Modelación de un Segway mediante robots NXT	116
4.5.3. Robot Segway NXT	117
4.5.4. Implementación del robot Segway NXT	120
Capítulo 5. Introducción al entorno de programación de los LEGO Mindstorms	123

5.1. Introducción	124
5.2. Funciones básicas en el NXT LEGO Mindstorms	126
5.2.1. Funciones básicas con los comandos directos del NXT	126
5.2.2. Sensor al tacto	128
5.2.3. Sensor ultrasónico	128
5.2.4. Sensor de luz y color	130
5.2.5. Motores	131
5.3. Funciones básicas con el Toolkit NXT	132
5.3.1. Visualización de mensajes	133
5.3.2. Sensor al tacto	134
5.3.3. Sensor ultrasónico	135
5.3.4. Sensor de luz	135
5.3.5. Motores	136
5.3.6. Sensor de rotación	137
5.3.7. Comunicación vía Bluetooth entre el robot NXT LEGO Mindstorms y LabVIEW	138
5.4. Ingeniería de control para las ruedas	141
Capítulo 6. Planificación de ruta	149
6.1. Introducción	150
6.2. Robots en la planificación de ruta	154
6.3. Técnicas básicas de planeación de ruta	155
6.3.1. Robots fijos	155
6.4. Espacio de configuración	162
6.5. Robots móviles	164
6.5.1. Hojas de ruta	164
Capítulo 7. Planificación de trayectorias con espacios variantes en el tiempo	177
7.1. Introducción	178
7.2. Introducción del tiempo en el espacio de trabajo	178
7.3. Definición del problema	181
7.4. Planificación para dos objetos en movimiento en un plano	181
7.4.1. Un solo espacio de configuraciones	182
7.4.2. Desacoplando los robots	184
7.4.3. Manteniendo el tiempo de recorrido constante	187
7.4.4. Movimientos secuenciales de los robots	190
7.5. Otros problemas de planificación con objetos en movimiento	192

Capítulo 8. Planificación de trayectorias en reversa (o planificación invertida de trayectorias)	195
8.1. Introducción	196
8.2. Definición del problema	197
8.3. Espacio discreto de planificación en reversa	198
8.4. Algoritmo de propagación de onda	199
8.5. Algoritmo de búsqueda en árboles	202
8.6. Algoritmo de diagramas de Voronoi	205
8.6.1. Conexión mediante búsqueda en árboles	208
8.6.2. Recorrido mediante propagación de onda	209
8.7. Algoritmos de planificación en reversa en espacios continuos	210
Capítulo 9. Planificación de trayectorias con sensores	213
9.1. Introducción	214
9.1.1. Definición del problema	214
9.2. Algoritmos de seguimiento de orillas	215
9.2.1. Algoritmo de seguimiento de orillas básico	216
9.2.2. Algoritmo de seguimiento de orillas modificado	218
9.3. Algoritmos de navegación sin choque	220
9.4. Algoritmos de seguimiento de línea	221
9.5. Algoritmos para sensores de visión	224
Capítulo 10. Ejemplos de planificación LEGO	227
10.1. Ejemplos del capítulo 7	228
10.2. Ejemplos del capítulo 8	234
10.3. Ejemplos del capítulo 9	239
Bibliografía	243
Índice analítico	245

Acceso al material complementario

Para tener acceso al material complementario del libro Robótica aplicada con LabVIEW y LEGO es necesario:

1. Ir a la página: <http://libroweb.alfaomega.mx>
2. Ir a la sección de catálogo y seleccionar la imagen de la portada del libro, al dar doble clic sobre ella, tendrá acceso al material descargable.

NOTA: Se recomienda respaldar los archivos descargados de las páginas web en un soporte físico.

Introducción

La robótica es, sin lugar a dudas, uno de los temas favoritos en los que un joven estudiante piensa cuando decide dedicarse a la ingeniería, es una rama de la ciencia sumamente atractiva. Desde luego que la ciencia ficción ayudó mucho a aumentar su popularidad, sin embargo, en la actualidad su popularidad la ha ganado con creces al mostrar todos los beneficios que tiene su aplicación en muchas áreas del conocimiento.

Otra razón por la que ha ganado tanta popularidad tiene que ver con su naturaleza multidisciplinaria. La robótica se puede tratar desde el punto de vista de la mecánica, la computación, la inteligencia artificial, la ingeniería industrial, el control, entre otras. Inclusive algunas áreas que no son de la ingeniería tienen que ver de alguna forma con la robótica. Tal es el caso por ejemplo de la mercadotecnia que tuvo que diseñar nuevas campañas de publicidad para productos derivados de la robótica, o la psicología que ha tenido que entender ahora la interacción humano-máquina en una forma diferente a como lo hacía con la computadora.

La robótica se incorporó rápidamente a los programas de estudios en muchas universidades y, en la actualidad, las escuelas primarias, secundarias y preparatorias, también la han agregado a sus estudios debido a que han desarrollado aplicaciones educativas que ayudan a entender ciertos conceptos a los alumnos de una forma más práctica e intuitiva. En este sentido la robótica es una excelente herramienta para cursos de introducción a la ingeniería, computación, matemáticas, física y muchas otras.

El punto fundamental que detonó la adopción de la robótica en los centros educativos fue la posibilidad de adquirir robots para las prácticas de los alumnos. Algunas empresas se dedicaron a la fabricación de robots de bajo costo que los colocó al alcance de los centros educativos. Estos robots parecen juguetes pero en realidad cuentan con las características necesarias para poder practicar su control y luego extender lo aprendido a robots industriales. A este tipo de robótica se le conoce como minirobótica o robótica educativa.

Una de las primeras compañías en fabricar este tipo de robots fue LEGO[®], la cual es una compañía líder en robótica educativa.

Las nuevas tecnologías y el acelerado crecimiento de éstas han dado como resultado la solución de muchos problemas sociales, la facilidad y comodidad de nuestras vidas diarias, la automatización de procesos domésticos e industriales, etc. No obstante, también han facilitado la oportunidad de acercamiento al conocimiento científico y tecnológico de un mayor número de personas.

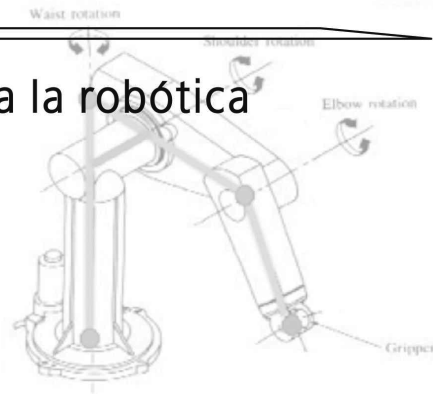
Desde esta perspectiva, este libro tiene el objetivo de mostrar de forma teórica y práctica distintas técnicas utilizadas en la academia e industria para el desarrollo de sistemas robóticos, haciendo un recorrido desde los conceptos de robótica hasta los algoritmos de control y técnicas de planificación de trayectorias.

En especial, se hace uso de los sistemas robóticos LEGO Mindstorms NXT junto con la plataforma de desarrollo LabVIEW con la finalidad de mostrar y proveer una plataforma de rápido desarrollo a estudiantes, profesionistas, científicos, investigadores e interesados en las tecnologías mecatrónicas.

En términos más específicos en el capítulo 1 se define lo que es un robot, se describen los componentes básicos del mismo y se presenta la clasificación, modelado y aplicaciones generales de los robots; en el capítulo 2 se define el robot NXT, se describen sus componentes básicos y se presentan ejemplos de éste; en el capítulo 3 se expone la relación entre el robot NXT y el programa LabVIEW, así como la programación asociada con el manejo de los sensores y motores NXT; en el capítulo 4 se exponen los sistemas de control y el robot segway; en el capítulo 5 se describen las funciones básicas en el NXT LEGO Mindstorms y con el Toolkit NXT; en los capítulos 6 y 7 se presenta la planificación de ruta de robots móviles; en el capítulo 8 se exponen los algoritmos de propagación de onda, de búsqueda de árboles, de diagramas de Voronoi, y de planificación en reversa en espacios continuos; en el capítulo 9 se presenta el algoritmo de seguimiento de orillas, de navegación sin choque, y de seguimiento de línea; finalmente en el capítulo 10 se exponen ejemplos desarrollados de lo expuesto en los capítulos 7, 8 y 9.

Capítulo 1

Introducción a la robótica



- 1.1 Introducción
- 1.2 ¿Qué es un robot?
- 1.3 Componentes básicos de un robot
- 1.4 Clasificación de robots
- 1.5 Modelado de los robots
- 1.6 Aplicaciones de los robots

Al igual que los hijos biológicos de generaciones anteriores, las máquinas representan la mejor esperanza de la humanidad para un futuro a largo plazo.

Moravec

1.1 Introducción

Desde hace mucho tiempo se ha tenido la idea de crear máquinas con capacidades similares a las del ser humano. Después de muchos esfuerzos y sobre todo a partir del siglo XX, se comenzaron a desarrollar las máquinas automáticas, naciendo de esta manera los sistemas robóticos.

Así los sistemas robóticos se encuentran dentro del desarrollo tecnológico enfocándose esencialmente en el diseño, construcción, implementación, comercialización y aplicación de robots. Con ello se busca obtener máquinas automáticas que permitan tomar decisiones en los campos industrial, de la medicina, aeroespacial y biotecnológico, entre muchos otros donde es posible que los trabajos sean peligrosos o rutinarios para las personas. En otros casos, los sistemas robóticos también se aplican para la solución de problemas sociales y el entretenimiento. El núcleo principal de todo sistema robótico es la máquina automática conocida como robot.

Con la finalidad de entender los sistemas robóticos, se introduce en este capítulo el concepto de robot y las partes que lo componen. También se describen las formas más comunes de clasificarlos, y posteriormente algunos métodos de modelación de robots que permiten diseñar y desarrollar tareas robóticas. Por último, en la parte final de este capítulo se presentan algunas aplicaciones de robots en el mundo actual.

1.2 ¿Qué es un robot?

Robot

Un robot es un dispositivo electromecánico capaz de interactuar en un medio sujeto a las leyes físicas, el cual incluye un sistema de sensores y un sistema de actuadores, que en conjunto son regulados a través de una unidad de control.

El objetivo principal de un robot es la realización de tareas mediante ejecuciones de movimiento dentro del medio. Para realizar las distintas tareas que se les asignan, los robots deben contar con un diseño mecánico único y adaptado a las necesidades o requerimientos, de tal manera que los robots pueden ser: vehículos con ruedas o piernas (figura 1.1a), manipuladores en forma de brazo o manos (figura 1.1b), sistemas aéreos con alas o hélices (figura 1.1c), o una combinación de los anteriores, entre otros. Por lo tanto, un componente esencial de cualquier robot es su sistema mecánico, que además de funcionar como soporte o esqueleto de éste, también está adaptado para las funciones que realizará.

En la actualidad, los robots no están limitados al mundo físico; también existen robots virtuales.

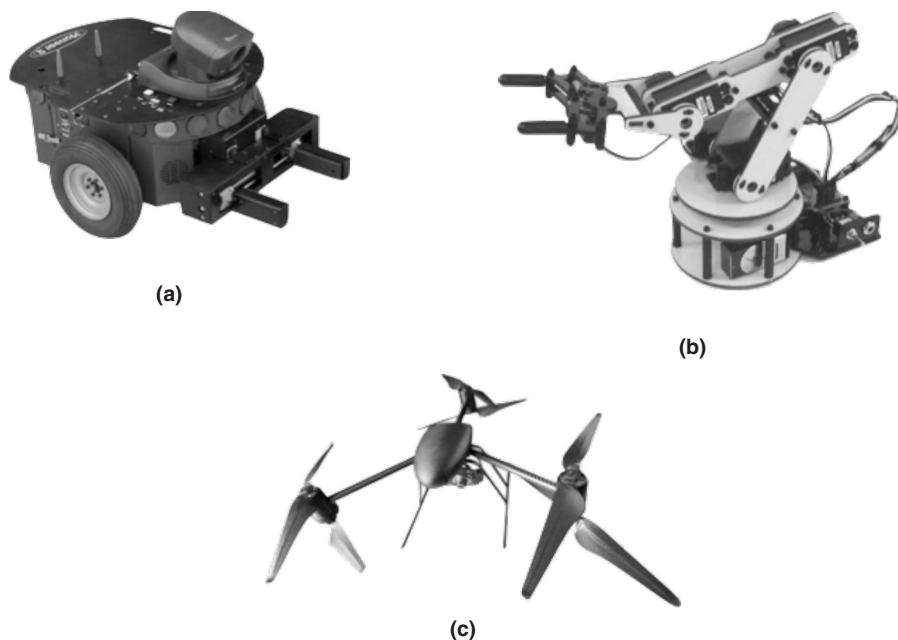


Figura 1.1 Ejemplos de robots: (a) vehículo terrestre; (b) manipulador; (c) vehículo aéreo.

Robots virtuales

Los robots virtuales son implementaciones computacionales que actúan de manera automática para llevar a cabo un fin, tomando en cuenta sistemas de decisión que le aportan un nivel de “inteligencia”.

De acuerdo con estas definiciones, en términos generales un robot de cualquier tipo se considera un agente automático basado en la toma de decisiones y que interactúa en un medio específico.

Todo robot es considerado un agente inteligente, donde la inteligencia se entiende como los distintos niveles que tiene el proceso de toma de decisiones. Por ejemplo, si un robot únicamente reacciona a la presencia o ausencia de luz (sin importar la intensidad de ésta), se habla de un robot poco inteligente; en cambio, un robot aerodinámico que toma decisiones con respecto a la humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, etcétera, y hace un pronóstico sobre la mejor decisión posible, se considera como un robot con un nivel de inteligencia mayor. En contraparte, un robot que es operado por un ser humano o por otro robot se dice que no es inteligente porque la toma de decisiones no está a su cargo.

Sin embargo, la noción de inteligencia robótica sigue siendo aún tema de debate entre científicos y tecnólogos. Lo único claro es que el proceso de toma de decisiones se encuentra implementado en otro componente importante de los robots que se conoce como unidad o sistema de control.

Unidad de control

La unidad de control de un robot consta de hardware especializado, como microprocesadores, y de software que incluye la lógica de programación (algoritmos) junto con las reglas de decisión.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta en los robots es su sistema de sensores, el cual actúa permite hacer mediciones al medio y con base en éstas tomar las decisiones necesarias. Hay muchos sensores que, dependiendo de la aplicación, son elegidos e incorporados a los robots. En especial, la distribución de los sensores en el robot es un aspecto muy importante a tomar en cuenta, así como los posibles riesgos o interferencias que puedan tener por el medio mismo.

Finalmente, el sistema de actuadores es el último componente importante de cualquier robot. Estos actuadores están diseñados para llevar a cabo acciones sobre el medio; en particular, los actuadores toman las señales eléctricas provenientes de la unidad de control y las transforman en otro tipo de energía, casi siempre mecánica. Un ejemplo clásico son los motores, transformando la energía eléctrica en movimiento circular que posteriormente puede acoplarse a otros sistemas mecánicos y llevar a cabo distintos tipos de movimiento.

Por lo anterior, un robot es un sistema complejo que toma en cuenta sensores y actuadores que son regulados a través del sistema de control; y que en conjunto, llevan a cabo acciones del robot sobre el medio ambiente en donde se desenvuelve.

1.3 Componentes básicos de un robot

Como se describió anteriormente, un robot cuenta con cuatro componentes básicos que en conjunto le permiten alcanzar el objetivo de las tareas especificadas. Los cuatro componentes básicos son: sistema de sensores, sistema de actuadores, sistema de control y estructura mecánica. La figura 1.2 muestra un diagrama sobre los componentes de un robot. A continuación, se explica brevemente cada uno de los componentes básicos de un robot.

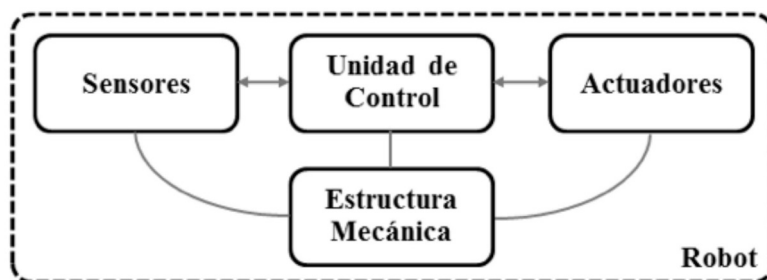


Figura 1.2 Componentes de un robot.

1.3.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de medir cantidades físicas y expresar esa información en una señal que pueda ser leída o interpretada por otro dispositivo. La mayoría de los sensores actuales y los utilizados en las aplicaciones robóticas, expresan las mediciones mediante señales eléctricas. Algunas cantidades físicas, llamadas variables de instrumentación, que pueden medirse con sensores son: temperatura, humedad relativa, intensidad luminosa, fuerza mecánica, inclinación, desplazamiento, aceleración, presión, intensidad sonora, etc. Algunos ejemplos de sensores, se presentan en la figura 1.3.

Cuando se está desarrollando una aplicación robótica es importante determinar cuáles sensores van a ser utilizados en el robot y cómo funcionarán; además de escoger con cuidado el lugar donde se colocarán en la estructura mecánica. Con el propósito de tener una perspectiva clara sobre los sensores, en este apartado se tratarán las características principales de los sensores y los tipos de sensores según su principio de funcionamiento.

Características de los sensores

Una de las prácticas principales en el momento de elegir los sensores que se requieren en un robot, es la detección de las características más comunes. A continuación, se presentan algunas características:

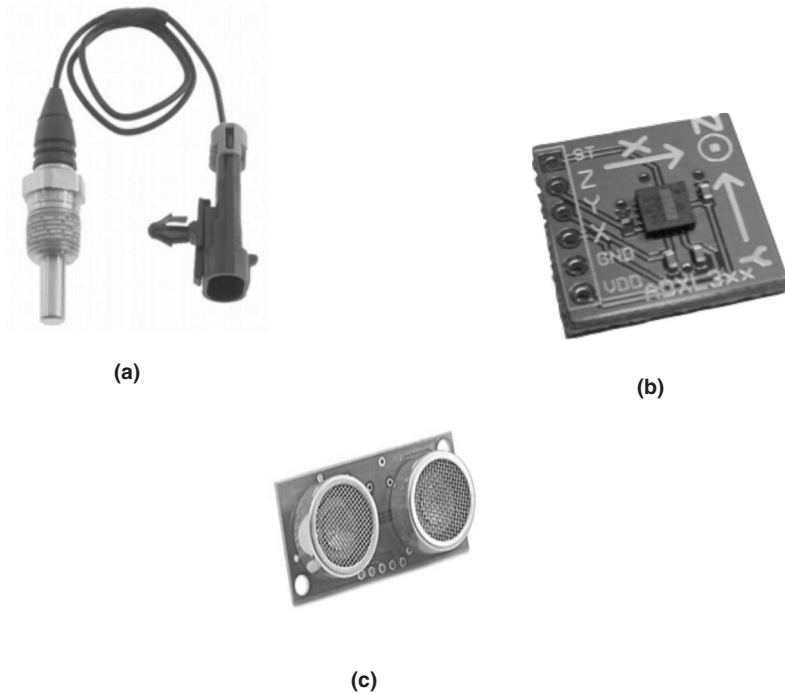


Figura 1.3 Ejemplos de sensores: (a) de temperatura, (b) acelerómetro, (c) de distancia.

- **Rango.** Es el intervalo de medición del sensor, determinado por el valor más pequeño de la cantidad física a medir y el valor más grande que puede ser medido. Por ejemplo, si un termómetro puede medir valores entre -6°C y $+120^{\circ}\text{C}$; entonces, éstos datos son el rango de medición del sensor.
- **Precisión.** Es la magnitud del valor máximo de error que existe entre el valor esperado y el valor medido por el sensor; es decir, después de una serie de repetir un mismo experimento y medir la misma cantidad física con el mismo instrumento, la precisión define qué tan cercano o alejado está el valor medido con respecto al valor real esperado, típicamente calibrado a través de estándares. Entre más pequeño sea este valor, significa que el sensor tiene mejor precisión.

- **Linealidad.** Determina la correlación existente entre el valor medido de la cantidad física y el valor de interpretación o codificación del sensor. Si la variación en el valor medido es proporcional a la variación en el valor codificado; entonces, el sensor presenta linealidad. En caso contrario, el sensor es no lineal.
- **Resolución.** Valor mínimo de la magnitud de variación que puede ser medido. Por ejemplo: si la temperatura de un ambiente oscila entre los valores reales de $+5.0^{\circ}\text{C}$ y $+8.4^{\circ}\text{C}$; pero un termómetro sólo entrega como valores medidos $+5^{\circ}\text{C}$, $+6^{\circ}\text{C}$, $+7^{\circ}\text{C}$ y $+8^{\circ}\text{C}$; entonces, se dice que la variación mínima que puede medir el sensor es de 1°C .
- **Rapidez.** Determina qué tan rápido o qué tan lento puede medir los cambios de valor en la cantidad física.
- **Señal de salida.** Es el tipo de señal que se entrega una vez que se ha medido el valor de la cantidad física. Existen las señales de salida analógicas y las digitales. Las primeras son aquellas que varían dentro de un rango de valores posibles; por ejemplo: medición de temperatura, medición de humedad relativa, etc. Por el contrario, las señales de salida digitales son aquellas que están representadas mediante valores finitos conocidos como valores lógicos (cero o uno).
- **Tipo de material.** Dependiendo de las aplicaciones o del ambiente donde se desarrolle el robot, los sensores tienen que cumplir con materiales que permitan la máxima duración y que no manipule o interfiera con las mediciones. Los materiales pueden ser anticorrosivos, inoxidable, biocompatibles, etc.

Tipos de sensores

Además de las características de un sensor, también se debe considerar cuál es el principio de funcionamiento ya que dependiendo de esto se pueden encontrar diferencias al momento de hacer una medición sobre una cantidad física. Por lo tanto, cada principio de funcionamiento tiene sus ventajas y desventajas que han de tomarse en cuenta para la selección de sensores en los sistemas robóticos. La mayoría de los sensores ocupa alguno de los siguientes principios: resistivos, capacitivos, inductivos, piezoeléctricos, ópticos, termoelectrónicos y ultrasónicos.

A continuación, se presenta una breve descripción de cada principio de funcionamiento y algunos ejemplos de sensores que los ocupan.

- **Sensores resistivos.** Basados en la resistividad eléctrica, los sensores de este tipo miden cantidades físicas que de manera directa o indirecta afectan la resistencia de algún componente resistivo. Algunos componentes resistivos más utilizados para estos propósitos son los potenciómetros y las galgas extensiométricas.

Los potenciómetros son componentes eléctricos que permiten variar de manera proporcional su resistencia a través de un cursor típicamente cilíndrico; otros potenciómetros tienen cursores de desplazamiento lineal que también tienen el mismo funcionamiento. En cualquier caso, los sensores basados en este tipo de potenciómetros tienen una salida analógica proporcional al valor de medición de la cantidad física. La figura 1.4a muestra un ejemplo de potenciómetro.

Por otra parte, las galgas extensiométricas son delgadas láminas que pueden deformarse ligeramente y regresar a su estado normal después de aplicar una fuerza externa. Este tipo de materiales varían ligeramente la resistencia eléctrica del material, lo cual permite medir el valor de una cantidad física correlacionada. La figura 1.4b muestra un ejemplo de galga extensiométrica.

Los sensores resistivos pueden utilizarse en la medición de fuerza, posición, peso, presión, entre otros.



Figura 1.4 Ejemplos de componentes resistivos: (a) potenciómetros, (b) galgas extensiométricas.



Figura 1.5 (a) Capacitor variable, (b) sensor capacitivo de proximidad.

- **Sensores capacitivos.** Basados en la medida del cambio de la capacitancia sufrida por un capacitor cuando un objeto está expuesto de manera cercana a éste, los sensores capacitivos permiten medir presencia, posición, aceleración, presión, nivel de líquidos, entre otros.

Por lo tanto, el capacitor o condensador es el componente eléctrico fundamental en este tipo de sensores. La idea que hay en el funcionamiento de estos sensores es la variación de la capacitancia del condensador; por lo que existen tres formas de variarlo según los parámetros de capacitancia, los cuales son la permisividad relativa del material, el área efectiva entre las placas del condensador y la distancia entre las placas. En la figura 1.5 se muestra un ejemplo de capacitor variable (figura 1.5a) y un sensor capacitivo de proximidad (figura 1.5b).

- **Sensores inductivos.** Este tipo de sensores están basados en la variación de la reluctancia en materiales inductivos; por lo que son buenos sensores para aplicaciones como detección de presencia, determinación de posición, contadores de piezas, finales de carrera, entre otros.

Estos sensores contienen una bobina con núcleo ferromagnético el cual está alimentado por un circuito oscilador que permite mantener una señal sinusoidal de amplitud constante a una frecuencia determinada. Cuando un objeto se encuentra cerca del sensor, la amplitud de la señal sinusoidal se ve disminuida por el aumento de la reluctancia del material, lo cual permite distinguir entre la presencia y ausencia de objetos; además la variación de esta amplitud también permite determinar la cercanía de los objetos. En la figura 1.6 se muestra un ejemplo de sensor inductivo.



Figura 1.6 Ejemplo de sensor inductivo de proximidad.

- **Sensores piezoeléctricos.** Este tipo de sensores están basados en el efecto piezoeléctrico de algunos materiales; lo cual permite relacionar algunas cantidades físicas como la fuerza con respecto al material piezoeléctrico del sensor y así producir una medición.

Un material piezoeléctrico (por ejemplo el cuarzo) es aquel que tiene la propiedad tal que al momento de deformarse puede producir una pequeña variación de voltaje durante unos instantes después de la deformación. Debido a que únicamente por unos instantes se produce la variación de voltaje, las mediciones

únicamente son válidas unos instantes después de la deformación, mientras que en tiempo infinito esto no es válido. En la figura 1.7 se muestra un sensor piezoeléctrico.

Estos sensores son muy utilizados para medición de impactos, vibraciones, tracción y compresión; es decir, hacen mediciones de fuerzas con dinámicas muy altas.



Figura 1.7 Ejemplo de sensor piezoeléctrico para vibraciones.

- **Sensores ópticos.** Este tipo de sensores está basado en la transmisión de rayos de luz y su posterior recepción, lo cual permite determinar rápidamente la presencia de objetos, el conteo de piezas, la frecuencia de rotación, entre otros.

Existen distintas configuraciones de sensores ópticos. Por ejemplo, se puede tener el transmisor del haz de luz en un lugar y el receptor en otro, lo que permite la detección de interrupciones de este rayo. Otra configuración es tener el transmisor y receptor en un mismo lugar; en este caso es necesario un espejo que permita el rebote de la señal de luz para que regrese al receptor. De manera similar al anterior, están los sensores difusos que en lugar de utilizar un espejo, utilizan al propio objeto a detectar, asumiendo que este tiene una superficie laminar que permita el retorno del haz de luz al receptor. En cualquier caso, este tipo de sensor utiliza luz infrarroja que no es perceptible por el ojo humano, o bien, rayos láser. En la figura 1.8 se muestra un sensor óptico.



Figura 1.8 Ejemplo de sensor óptico.