

# ROBOTS Y SISTEMAS SENSORIALES

por TORRES MEDINA

Isbn 8420535745

## Índice del Contenido

Índice de figuras

Prefacio

Prólogo

### Parte I Robótica básica

#### 1. Introducción a la robótica

##### 1.1. Historia

##### 1.1.1. Antecedentes

##### 1.1.2. La revolución tecnológica: el nacimiento de la robótica

##### 1.1.3. El vocablo robot

#### 1.2. La robótica: clasificación y aplicaciones

##### 1.2.1. Clasificación

##### 1.2.2. Aplicaciones

#### 1.3. Mercado y tendencias

##### 1.3.1. Robots industriales

##### 1.3.2. Robots de servicios

##### 1.3.3. La robótica en España

Ejercicios

#### 2. Componentes y subsistemas

##### 2.1. Introducción

#### 2.2. Componentes mecánicos y estructurales básicos

##### 2.2.1. Materiales

##### 2.2.2. Tipos de articulaciones y configuraciones cinemáticas

##### 2.2.2.1. Tipos de articulaciones

##### 2.2.2.2. Configuraciones cinemáticas

##### 2.2.3. Accionadores

##### 2.2.3.1. Accionadores eléctricos

##### 2.2.3.2. Accionadores neumáticos e hidráulicos

##### 2.2.3.3. Comparación entre accionadores

##### 2.2.4. Transmisiones y reductores

##### 2.2.4.1. Transmisiones

##### 2.2.4.2. Reductores

##### 2.2.5. Frenos

#### 2.3. Subsistemas mecánicos en brazos

##### 2.3.1. Muñecas

##### 2.3.2. Elementos terminales

##### 2.3.2.1. Garras

##### 2.3.2.2. Garras magnéticas

##### 2.3.2.3. Herramientas

##### 2.3.2.4. Otros dispositivos

#### 2.4. Subsistema sensorial

#### 2.5. Subsistema de control

##### 2.5.1. Armario de control

##### 2.5.2. Interfaz del operador

Ejercicios

- 3. Fundamentos matemáticos y físicos
  - 3.1. Descripción de la posición y orientación
    - 3.1.1. Sistemas de referencia
    - 3.1.2. Descripción de la posición
      - 3.1.2.1. Coordenadas cartesianas
      - 3.1.2.2. Coordenadas cilíndricas
      - 3.1.2.3. Coordenadas esféricas
    - 3.1.3. Descripción de la orientación
      - 3.1.3.1. Matrices de rotación
    - 3.1.4. Matrices y coordenadas homogéneas
    - 3.1.5. Matriz homogénea de transformación inversa
  - 3.2. Transformaciones básicas: traslación y rotación
    - 3.2.1. Traslación
    - 3.2.2. Rotación
  - 3.3. Composición de transformaciones
    - 3.3.1. Rotaciones compuestas
      - 3.3.1.1. Alabeo, cabeceo y guiñada
      - 3.3.1.2. Ángulos de Euler
  - 3.4. Velocidades y aceleraciones
    - 3.4.1. Velocidades
    - 3.4.2. Aceleraciones
  - 3.5. Momento de inercia, centro de masa y tensor de inercia
    - 3.5.1. Momento de inercia
    - 3.5.2. Centro de masa. Momentos lineal y angular
    - 3.5.3. Tensor de inercia
- Ejercicios

- 4. Cinemática
  - 4.1. Introducción
  - 4.2. Espacio articular y espacio cartesiano
  - 4.3. Problema cinemático directo
    - 4.3.1. Parámetros de Denavit y Hartenberg
    - 4.3.2. Asignación de sistemas de referencia
    - 4.3.3. Transformación homogénea
    - 4.3.4. Resumen
  - 4.4. Problema cinemático inverso
    - 4.4.1. Métodos de solución
    - 4.4.2. Solución de Pieper
  - 4.5. Cinemática de movimiento
    - 4.5.1. Matriz Jacobiana
    - 4.5.2. Matriz Jacobiana inversa
      - 4.5.2.1. Singularidades
  - 4.6. Fuerzas estáticas
- Ejercicios

- 5. Dinámica
  - 5.1. Introducción
  - 5.2. Formulación Lagrangiana
    - 5.2.1. Energía cinética
    - 5.2.2. Energía potencial
    - 5.2.3. Ecuaciones del movimiento
  - 5.3. Formulación de Newton-Euler
    - 5.3.1. Ecuaciones del movimiento de Newton-Euler
    - 5.3.2. Formulación recursiva para un robot
  - 5.4. Dinámica en robots reales
- Ejercicios

## Parte II Sistemas sensoriales

### 6. Sensores

- 6.1. Introducción
  - 6.2. Definición y características generales
    - 6.2.1. Descriptores estáticos
    - 6.2.2. Descriptores dinámicos
    - 6.2.3. Empleo de sensores
  - 6.3. Sensores de desplazamiento y proximidad
    - 6.3.1. Potenciómetros
    - 6.3.2. Sensores capacitivos
    - 6.3.3. Transformadores diferenciales
    - 6.3.4. Otros sensores inductivos
    - 6.3.5. Sensores basados en el efecto Hall
    - 6.3.6. Encoders ópticos
    - 6.3.7. Otros sensores ópticos
    - 6.3.8. Sensores de ultrasonidos
    - 6.3.9. Sensores de interruptor
  - 6.4. Sensores de velocidad
    - 6.4.1. Tacogeneradores
    - 6.4.2. Encoder incremental
  - 6.5. Sensores de fuerza
    - 6.5.1. Sensores piezoeléctricos
  - 6.6. Sensores de aceleración
  - 6.7. Sensores de luz
    - 6.7.1. Dispositivos sensores de luz
    - 6.7.2. Arquitecturas de sensores fotoeléctricos
    - 6.7.3. Sensores infrarrojos
  - 6.8. Sensores neumáticos
  - 6.9. Sensores táctiles
  - 6.10. Sensores ópticos: cámaras de vídeo
    - 6.10.1. Cámaras CCD
    - 6.10.2. Cámaras CID
    - 6.10.3. Cámaras matriciales frente a lineales
    - 6.10.4. Iluminación
- Ejercicios

### 7. Técnicas de visión artificial

- 7.1. Introducción
- 7.2. Geometría de la adquisición de imágenes
  - 7.2.1. Modelo de una cámara
    - 7.2.1.1. Modelo de pinhole
    - 7.2.1.2. Desplazamiento del punto principal
    - 7.2.1.3. Escalado
    - 7.2.1.4. Distorsión óptica
    - 7.2.1.5. Distancia focal
  - 7.2.2. Modelo de dos cámaras
  - 7.2.3. Calibración
    - 7.2.3.1. Parámetros intrínsecos y extrínsecos
    - 7.2.3.2. Proceso de calibración
    - 7.2.3.3. Métodos de calibración: método de Tsai
- 7.3. Preprocesamiento
  - 7.3.1. Conceptos básicos
    - 7.3.1.1. Vecindad
    - 7.3.1.2. Conectividad

- 7.3.1.3. Distancia
- 7.3.1.4. Histograma
- 7.3.1.5. Convolución
- 7.3.2. Reducción de ruido
  - 7.3.2.1. Filtros lineales
  - 7.3.2.2. Filtros no lineales
- 7.3.3. Realce de bordes
- 7.4. Detección
  - 7.4.1. Detección de bordes
    - 7.4.1.1. Técnicas basadas en máscaras orientadas
    - 7.4.1.2. Técnicas basadas en el operador gradiente
    - 7.4.1.3. Técnicas basadas en el operador Laplaciana
    - 7.4.1.4. Técnicas basadas en derivadas Gaussianas: operador de Canny
  - 7.4.2. Detección de esquinas
- 7.5. Segmentación
  - 7.5.1. Técnicas basadas en frontera: transformada de Hough
    - 7.5.1.1. Uso de la transformada de Hough para detectar líneas rectas
  - 7.5.2. Técnicas basadas en valores de intensidad: umbralización
    - 7.5.2.1. Métodos del umbral óptimo
    - 7.5.2.2. Métodos basados en píxeles de borde
  - 7.5.3. Técnicas basadas en regiones
    - 7.5.3.1. Crecimiento de regiones
    - 7.5.3.2. División y unión de regiones
- 7.6. Descriptores y representación de características
  - 7.6.1. Área, perímetro y compactación
  - 7.6.2. Número de Euler
  - 7.6.3. Elongación
  - 7.6.4. Convexidad
  - 7.6.5. Centro de gravedad o centroide
  - 7.6.6. Momentos de inercia centrales
  - 7.6.7. Momentos invariantes
  - 7.6.8. Códigos de cadena
  - 7.6.9. Descriptores de Fourier y firmas
- Ejercicios

## 8. Visión estereó

- 8.1. Introducción
  - 8.1.1. El Modelo estereó
  - 8.1.2. Modelo de ejes alineados
  - 8.1.3. Modelo de ejes convergentes
  - 8.1.4. Rectificado
- 8.2. La correspondencia estereoscópica
- 8.3. Restricciones aplicadas al problema de correspondencia
  - 8.3.1. Línea epipolar
  - 8.3.2. Límite de disparidad
  - 8.3.3. Límite en el gradiente de disparidad
  - 8.3.4. Unicidad
  - 8.3.5. Ordenación
  - 8.3.6. Restricciones fotométricas y dependientes de las primitivas extraídas
- 8.4. Técnicas de correspondencias
  - 8.4.1. Técnicas basadas en luminancias
  - 8.4.2. Técnicas basadas en características
- 8.5. Cálculo de profundidades por método de triangulación activa
- 8.6. Visión estereó desde el punto de vista de la geometría proyectiva
  - 8.6.1. Introducción
  - 8.6.2. La matriz de proyección. Cálculo de la matriz de proyección

8.6.3. La matriz fundamental  
8.7. Análisis estéreo dinámico: flujo óptico  
Ejercicios

9. Fusión sensorial  
9.1. Introducción  
9.2. Configuraciones de múltiples sensores  
9.2.1. Complementaria  
9.2.2. Competitiva  
9.2.3. Cooperativa  
9.2.4. Híbrida  
9.3. Procesamiento sensorial  
9.3.1. Procesamiento sensorial de medidas  
9.3.2. Procesamiento sensorial para el reconocimiento  
9.4. Tipos de fusión sensorial  
9.4.1. Fusión sensorial de medidas  
9.4.1.1. Fusión centralizada  
9.4.1.2. Fusión distribuida  
9.4.1.3. Fusión híbrida  
9.4.2. Fusión sensorial para el reconocimiento  
9.4.2.1. Fusión a nivel de datos  
9.4.2.2. Fusión a nivel de características  
9.4.2.3. Fusión a nivel de interpretación  
9.5. Redundancia y tolerancia a fallos  
9.5.1. Fusión de información sensorial contradictoria  
9.6. Almacenamiento de datos  
9.6.1. Matrices de datos  
9.6.2. Árboles y grafos  
9.6.3. Funciones  
Ejercicios

### Parte III Control y programación

10. Control de robots  
10.1. Introducción  
10.2. Generación de trayectorias  
10.2.1. Trayectorias en el espacio articular  
10.2.1.1. Interpolación de una trayectoria articular con puntos inicio y fin  
10.2.1.2. Interpolación de una trayectoria articular con puntos intermedios  
10.2.1.3. Tipos de trayectorias articulares  
10.2.2. Trayectorias en el espacio cartesiano  
10.3. Control del movimiento en el espacio articular  
10.3.1. Control monoarticular  
10.3.1.1. Modelo dinámico de un motor eléctrico  
10.3.2. Control multiarticular  
10.4. Control del movimiento en el espacio cartesiano  
10.4.1. Control por Jacobiana inversa  
10.4.2. Control por Jacobiana traspuesta  
10.5. Control adaptativo  
Ejercicios

11. Control visual  
11.1. Introducción  
11.2. Arquitectura del sistema de visión  
11.2.1. Cámara externa al robot  
11.2.2. Cámara en el extremo del robot

- 11.3. Clasificación de los sistemas de control visual
    - 11.3.1. Ver y mover estático
    - 11.3.2. Ver y mover dinámico
    - 11.3.3. Control visual directo
    - 11.3.4. Control basado en posición y basado en imagen
  - 11.4. Control basado en posición
    - 11.4.1. Controlador basado en posición
      - 11.4.1.1. Cámara externa fija
      - 11.4.1.2. Cámara en el extremo del robot
    - 11.4.2. Conclusiones
  - 11.5. Control basado en imagen
    - 11.5.1. Imagen Jacobiana
    - 11.5.2. Controlador usando la imagen Jacobiana
  - 11.6. Control visual directo frente a control visual indirecto
- Ejercicios

- 12. Control de fuerza
  - 12.1. Introducción
  - 12.2. Control por el par articular
  - 12.3. Métodos pasivos
  - 12.4. Control por métodos activos
    - 12.4.1. Control por rigidez
    - 12.4.2. Control por impedancia mecánica
  - 12.5. Control híbrido posición-fuerza
    - 12.5.1. Restricciones naturales y artificiales
    - 12.5.2. Arquitectura de control

Ejercicios

- 13. Programación
  - 13.1. Introducción
  - 13.2. Programación on-line frente a programación off-line
  - 13.3. Programación por aprendizaje
  - 13.4. Tipos de lenguajes de programación de robots
    - 13.4.1. Evolución de lenguajes de programación de robots
    - 13.4.2. Clasificación de los lenguajes de programación
  - 13.5. Niveles de programación
  - 13.6. Programación orientada a la tarea
    - 13.6.1. Planteamiento general
  - 13.7. Programación orientada al robot
    - 13.7.1. Características de los lenguajes de programación orientados al robot
    - 13.7.2. Programación en ACL

Ejercicios

#### Parte IV Aplicaciones

- 14. Aplicaciones
  - 14.1. Microrrobótica
    - 14.1.1. Aplicaciones médicas o biológicas
    - 14.1.2. Microensamblado
    - 14.1.3. Mantenimiento
  - 14.2. Teleoperación
  - 14.3. Robots móviles
    - 14.3.1. Robots móviles con patas
    - 14.3.2. Robots móviles con ruedas
    - 14.3.3. Guiado
  - 14.4. Robots industriales

14.4.1. Aplicaciones por industrias

14.4.2. Aplicaciones por tareas

14.5. Robots de servicio

Ejercicios

15. Casos prácticos

15.1. Introducción

15.2. Requisitos e instalación

15.3. Entorno de visualización

15.4. Interfaz de interacción

15.5. Trayectorias

15.6. Velocidades articulares

15.7. Simulación de operaciones

15.8. Lista de órdenes

15.9. Ejemplos de uso

15.9.1. Resolución del problema cinemático directo

15.9.2. Resolución del problema cinemático inverso

15.9.3. Simulación de trayectorias

15.9.3.1. Trayectoria articular lineal con ajuste parabólico

15.9.3.2. Trayectoria cartesiana

Ejercicios

Tabla de notación

Bibliografía

Índice de materias