Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante
Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal
Grupo de Automática, Robótica y Visión Artificial

Manipulación robótica inteligente. Aplicaciones.

Fernando Torres Medina
Fernando.Torres@ua.es

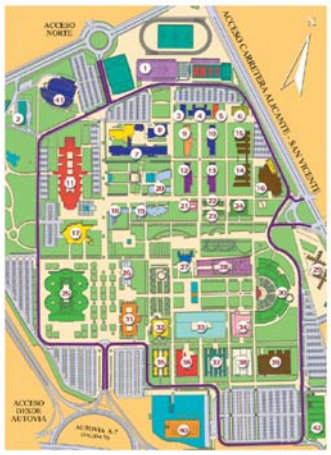
Grupo de Automática, Robótica y Visión Artificial
Universidad de Alicante
http://www.aurova.ua.es

Master en Ingeniería de Sistemas y Control
UNED, 16 de mayo de 2012

Índice

- *Presentación*
  - AUROVA
- Manipulación
- Sistema sensorial
- Cooperación
- Aplicaciones. Desensamblado Automático.

AUROVA



Personal

- Fernando Torres Medina. Catedrático Universidad. Dr. Ingeniero Industrial.
- Fco. Andrés Candelas Herias. Titular de Universidad. Dr. Ingeniero Informático.
- Santiago T. Puente Méndez. Titular de Universidad. Dr. Ingeniero Informático.
- Jorge Pomares Baeza. Titular de Universidad. Dr. Ingeniero Informático.
- Pablo Gil Vázquez. Titular de Universidad. Dr. Ingeniero Informático.
- Carlos A. Jara Bravo. Ayudante Doctor. Dr. Ingeniero Industrial.
- Gabriel J. García Gómez. Ayudante Doctor. Dr. Ingeniero Informático.
- Miguel Ángel Baquero Crespo. Profesor Asociado. Ingeniero Informático.
- Iván Perea Fuentes. Técnico de laboratorio. Ingeniero Informático.

Investigación

Visión por Computador

- Morfología Matemática en Color
- Visión 3-D
- Aplicaciones Industriales

Fabricación Avanzada y Robótica

- Manipulación
- Control visual
- Control de fuerza
- Robots cooperativos
- Aplicaciones Industriales. Desensamblado Automático.

Laboratorios virtuales y nuevas tecnologías en educación

- Redes de comunicación
- Docencia a través de Internet

Índice

- Presentación
- *Manipulación*
  - Definiciones
  - Tipos
  - Manipulación diestra
  - Agarre

- Sistema sensorial
- Cooperación
- Aplicaciones. Desensamblado Automático.

Definiciones

¿Qué entendemos por manipulación?

Según la Real Academia de la Lengua Española:

1. f. Acción y efecto de manipular.

¿Qué entendemos entonces por manipular?

(Del lat. manipŭlus, manojo, unidad militar, y en b. lat. el ornamento sagrado).

1. tr. Operar con las manos o con cualquier instrumento.
2. tr. Trabajar demasiado algo, sobarlo, manosearlo.
3. tr. Intervenir con medios hábiles y, a veces, arteros, en la política, en el mercado, en la información, etc., con distorsión de la verdad o la justicia, y al servicio de intereses particulares.
4. tr. coloq. Manejar alguien los negocios a su modo, o mezclarse en los ajenos.

Definiciones

¿Qué entendemos por manipulación en robótica?

- Teniendo en cuenta la Real Academia de la Lengua Española:
  - La acción de operar con herramientas.
- De otra manera:
  - La interacción de un robot con el entorno mediante la utilización de herramientas para su modificación se puede considerar como manipulación.
    - Ejemplos clásicos de manipulación en robótica:
      - La utilización de una ventosa para levantar parabrisas en la industria automovilística.
      - El uso de una pinza de dedos paralelos para agarrar un objeto.

Definiciones

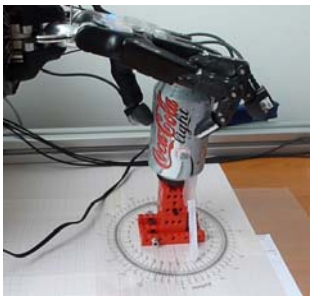
¿Qué entendemos por inteligencia artificial?

- Según la Real Academia de la Lengua Española:
  - Inteligencia:
    - 1. f. Capacidad de entender o comprender.
    - 5. f. Habilidad, destreza y experiencia.
- En manipulación robótica:
  - La inteligencia la podemos definir por un lado como la capacidad para adaptarse y realizar manipulación que no se puede hacer de manera “ciega”. Por otro, la manipulación con “habilidad y destreza”.
  - Son tareas en las que se requiere de información sensorial para poder llevarlas a cabo satisfactoriamente.
    - Información de fuerza.
    - Información visual.
    - Información táctil.

Definiciones

¿Qué entendemos por manipulación inteligente?

- En robótica:
  - La capacidad de interaccionar con el entorno mediante herramientas que permitan una adaptabilidad a las circunstancias de la tarea que se este llevando a cabo en cada momento, con “habilidad y destreza”.



Índice

- Presentación
- *Manipulación*
  - Definiciones
  - Tipos
  - Manipulación diestra
  - Agarre

- Sistema sensorial
- Cooperación
- Aplicaciones. Desensamblado Automático.

Tipos.

Manipulación diestra

- Capacidad para manipular de forma hábil con el fin de cambiar la posición y/u orientación de objetos mediante movimientos de los dedos y sin apoyo externo.

Tipos

Manipulación diestra

- Capacidad para manipular de forma hábil con el fin de cambiar la posición y/u orientación de objetos mediante movimientos de los dedos y sin apoyo externo.

Agarre:

- Capacidad de mantener el dominio de los objetos manipulados, a pesar de todas las alteraciones posibles (fuerzas inesperadas, estimaciones erróneas de las características de los objetos, etc) mientras se mantiene un "suave" agarre suficiente como para no causar ningún daño en el objeto.

Índice

- Presentación
- *Manipulación*
  - Definiciones
  - Tipos
  - Manipulación diestra
  - Agarre
- Sistema sensorial
- Cooperación
- Aplicaciones. Desensamblado Automático.

Manipulación diestra

La manipulación inteligente de un producto real no es un concepto trivial.

Aspectos a considerar:

- Tipo de herramienta a utilizar
  - Manos: Número de dedos y grados de libertad
  - Pinzas
- Características del producto a manipular:
  - Fuerzas que se pueden realizar sobre él
  - Zonas accesibles y no accesibles
  - Partes peligrosas
  - Partes delicadas

Manipulación diestra

¿Cómo se hace?

- Con agarre dactilar: cada punto de contacto se establece entre los extremos o yemas de los dedos y el objeto.
  - Sin fricción: Simplifica el modelado.
  - Con fricción: Aparece el cono de fricción. Combinación lineal de la fuerza ejercida en dirección normal a la superficie y las fuerzas de rozamiento en dirección paralela a la superficie.
- Para reorientar, los puntos de contacto de los dedos varían durante la tarea:
  - Rodamiento de un dedo sobre un punto de contacto (rolling)
  - Deslizamiento de un dedo (sliding)
  - Liberación de uno de los dedos y posicionarlo en un punto de contacto nuevo (finger gaiting)
  - Depositar la pieza sobre una superficie y agarrarla de forma distinta (regrasping)

Manipulación diestra

¿Cómo se hace?

- Con agarre dactilar: cada punto de contacto se establece entre los extremos o yemas de los dedos y el objeto.
- Para reorientar, los puntos de contacto de los dedos varían durante la tarea:

Manipulación diestra

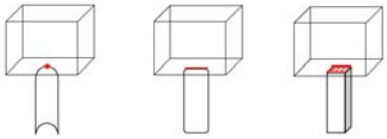
¿Cómo se hace?

- Con agarre dactilar: cada punto de contacto se establece entre los extremos o yemas de los dedos y el objeto.
- Para reorientar, los puntos de contacto de los dedos varían durante la tarea:

Manipulación diestra

Tipos de contacto:

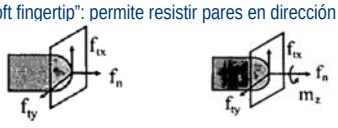
- Restricción de positividad: Las fuerzas aplicadas por las puntas de los dedos de la mano sólo pueden actuar contra el objeto.
- Dimensión del contacto:
  - Puntual: el dedo solo puede ejercer fuerza en dirección normal a la pieza. Hay un grado de libertad.
  - Lineal: el dedo puede ejercer fuerza perpendicular a la superficie y un par sobre el eje perpendicular a la línea de contacto y paralelo a la superficie. Hay dos grados de libertad.
  - Superficial: el dedo puede ejercer una fuerza perpendicular a la superficie y un par sobre cualquier eje contenido en la superficie. Hay tres grados de libertad.



Manipulación diestra

Tipos de contacto:

- Rozamiento entre pieza y dedo (fricción):
  - Puntual: el dedo puede ejercer fuerza en dirección normal y fuerzas tangenciales que se encuentre dentro del cono de fricción. Por lo tanto, hay tres grados de libertad en la pieza.
    - Contacto blando "Soft fingertip": permite resistir pares en dirección perpendicular a la superficie.



  - Lineal: el dedo puede ejercer fuerzas contenidas en el cono de fricción; un par sobre el eje perpendicular a la línea de contacto y paralelo a la superficie de la pieza; y un par sobre el eje perpendicular a la superficie. Hay cinco grados de libertad.
  - Superficial: se pueden ejercer fuerzas dentro del cono de fricción y pares en cualquier dirección. Hay seis grados de libertad.

Índice

- Presentación
- *Manipulación*
  - Definiciones
  - Tipos
  - Manipulación diestra
  - Agarre
- Sistema sensorial
- Cooperación
- Aplicaciones. Desensamblado Automático.

Agarre

¿Cómo se hace?

- Trata de inmovilizar una pieza de forma estable ejerciendo fuerzas y pares adecuados
- Tipos:
  - Agarre de fuerza o "force closure": un agarre cumple esta condición si es posible asegurar la inmovilidad a través de las fuerzas ejercidas sobre los puntos de contacto. No se tiene en cuenta la magnitud de las fuerzas.
  - Agarre de forma o "form closure": un agarre cumple esta propiedad cuando la situación de los puntos de contacto restringe completamente todos los movimientos de la pieza (inmovilidad).
  - Inmovilidad: un agarre cumple esta condición cuando cualquier movimiento del objeto ocasiona una penetración de alguno de los puntos de contacto en el mismo.

Agarre

¿Dónde ubicar los puntos de contacto de los dedos?

- Tarea compleja y que se conoce como planificación de agarre (Grasp planning)
- Consideraciones generales:
  - Modelar el objeto: figuras (2D) o cuerpos (3D) geométricos sencillos
  - Establecer regiones de puntos de contacto:
    - Condición de force closure, con o sin fricción
  - Determinar la postura de los dedos
  - Considerar restricciones:
    - Zonas accesibles (piezas ensambladas)
    - Zonas no deseadas (piezas a ensamblar)

Índice

- Presentación
- Manipulación
- *Sistema sensorial*
  - Introducción
  - Sistemas de visión
  - Control de fuerza
  - Sensores táctiles
  - Sistema multisensorial
- Cooperación
- Aplicaciones. Desensamblado Automático.

Introducción

Existen diversos métodos para incluir “inteligencia” en un sistema de manipulado:

- Utilizando sensores externos al robot.
  - Entendiendo por sensor externo, aquél que no esta situado en el propio robot o en la herramienta.
    - Sistemas de visión artificial (externos al robot).
    - Sensores de presencia en una cinta transportadora.
- Utilizando sensores en el robot.
  - Entendiendo por sensor en el robot, aquellos que están situados en el propio robot o en la herramienta.
    - Sistemas de detección de fuerza aplicada en el extremo del robot.
    - Sistemas de visión artificial (situados en el propio robot).
    - Sensores táctiles en el elemento terminal.

Introducción

- Sistemas de visión:
  - Permiten reconocer los objetos y/o localizarlos.
  - Utilización de una cámara, un par estereo. una cámara por tiempo de vuelo, etc.
  - Puede estar ubicado en el extremo del robot o en el entorno.
  - Sistemas de control visual.
- Control de fuerza
  - Permite determinar la fuerza adecuada a realizar para manipular un componente y adaptarse al entorno.
- Sensores táctiles
  - Permiten determinar los puntos de contacto entre dedo y mano. También pueden dar información sobre la presión que se realiza.

Índice

- Presentación
- Manipulación
- *Sistema sensorial*
  - Introducción
  - Sistemas de visión
  - Control de fuerza
  - Sensores táctiles
  - Sistema multisensorial
- Cooperación
- Aplicaciones. Desensamblado Automático.

Sistemas de visión

Sistemas de visión:

- Utilizando un sensor según la aplicación y procesamiento de imágenes.
  - Localización de piezas y/o de la mano.
  - Reconocimiento de objetos.
  - Reconocimiento de componentes parcialmente ocluidos mediante búsqueda del mejor ángulo de visión.
  - Seguimiento de la tarea.

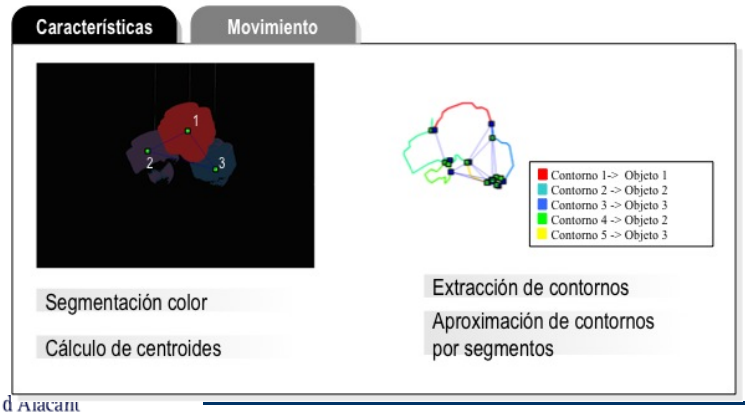
Control visual:

- Permite controlar la posición del robot para realizar un ajuste preciso con la posición deseada.

Sistemas de visión

Sistemas de visión:

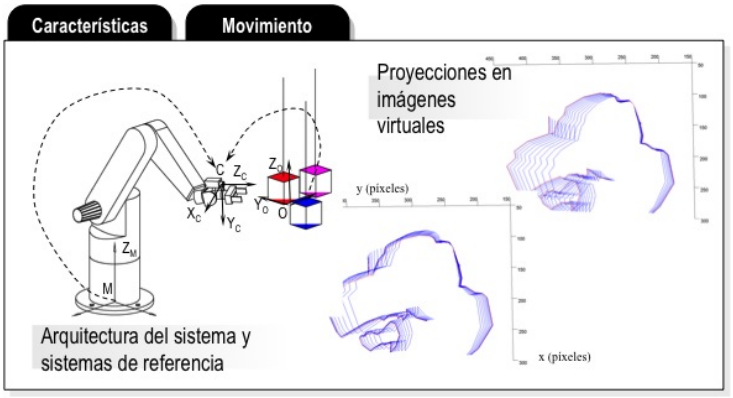
- Reconocimiento de componentes parcialmente ocluidos mediante búsqueda del mejor ángulo de visión.



Sistemas de visión

Sistemas de visión:

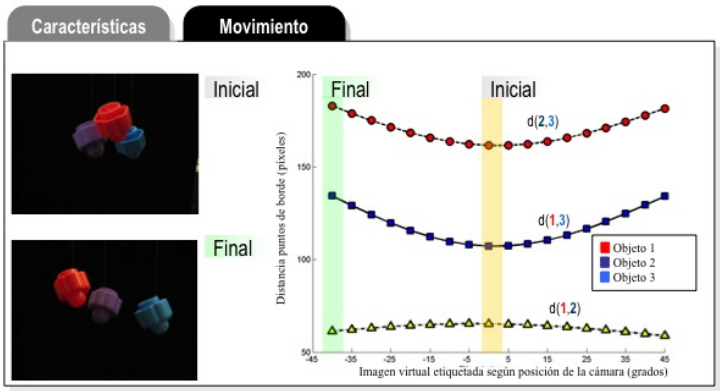
- Reconocimiento de componentes parcialmente ocluidos mediante búsqueda del mejor ángulo de visión.



Sistemas de visión

Sistemas de visión:

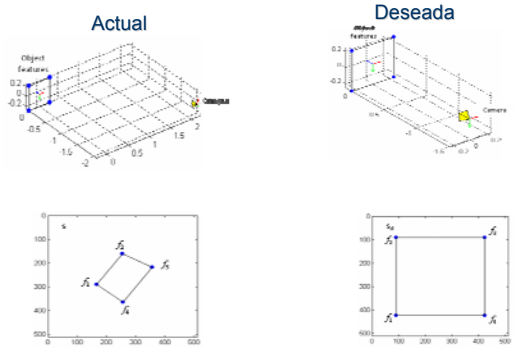
- Reconocimiento de componentes parcialmente ocluidos mediante búsqueda del mejor ángulo de visión.



Sistemas de visión

Control visual:

- Permite controlar la posición del robot para realizar un ajuste preciso con la posición deseada.



Sistemas de visión

Ejemplo de aplicación: Desensamblado de la tapa y los tornillos de un juguete utilizando sistemas de visión para localizar.

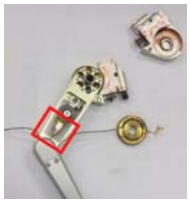
Índice

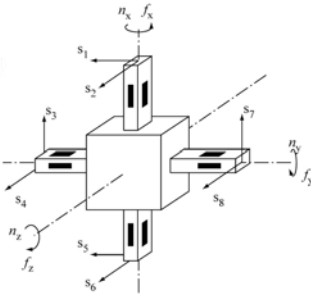
- Presentación
- Manipulación
- *Sistema sensorial*
  - Introducción
  - Sistemas de visión
  - Control de fuerza
  - Sensores táctiles
  - Sistema multisensorial
- Cooperación
- Aplicaciones. Desensamblado Automático.

Control de fuerza

Sistemas de fuerza:

- Utilizando un sensor que fuerza que proporciona información de fuerzas y pares en los tres ejes.
- La información obtenida permite realizar manipulación de elementos basados en información general sobre el producto.
- Permite realizar inserciones fácilmente, mejorando la precisión del sistema.





Control de fuerza

Ejemplo: Fusión sensorial control visual-fuerza.

Índice

- Presentación
- Manipulación
- *Sistema sensorial*
  - Introducción
  - Sistemas de visión
  - Control de fuerza
  - Sensores táctiles
  - Sistema multisensorial
- Cooperación
- Aplicaciones. Desensamblado Automático.

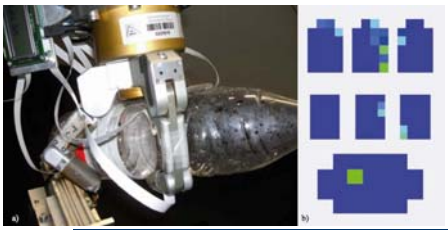
Sensores táctiles

Según la forma de la medida:

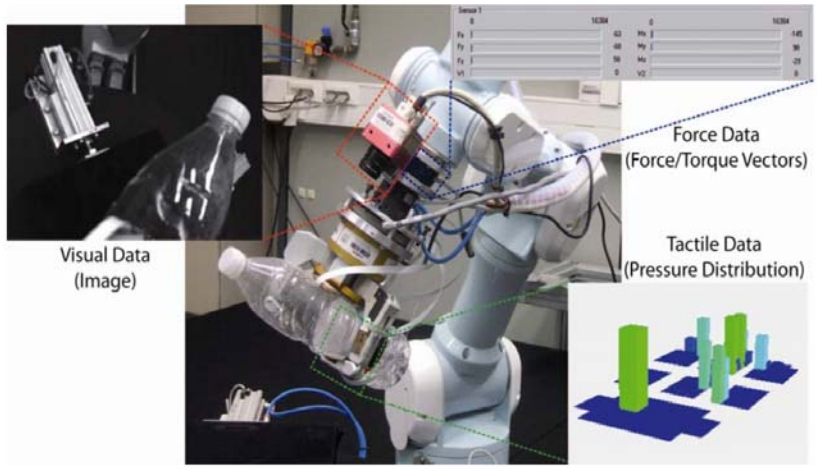
- Estáticos: analizan las propiedades físicas de las dos superficies en contacto sin movimiento entre ellas. Generalmente miden la presión en la normal del punto de contacto, deformación, fuerza o par.
- Dinámicos: analizan las propiedades físicas de dos superficies en contacto y en movimiento entre ellas. Generalmente miden a través de vibraciones en el contacto en movimiento.

Según la ubicación:

- Intrínsecos: están dentro del robot.
- Extrínsecos: son externos. Pieles artificiales.



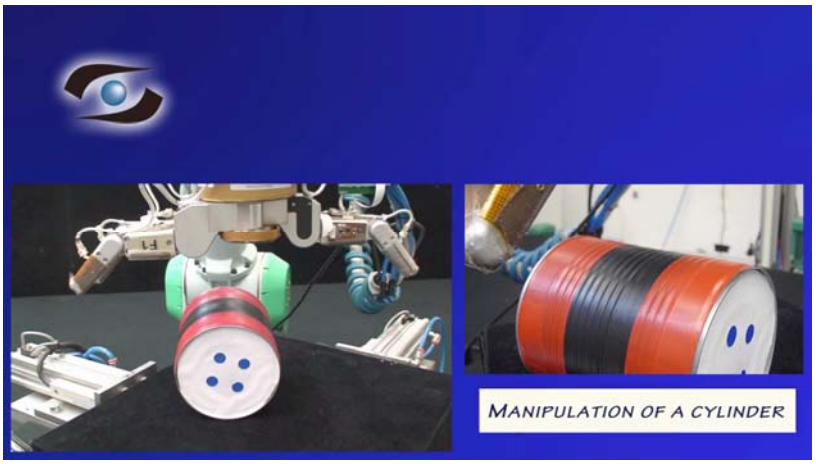
Sistema multisensorial



Índice

- Presentación
- Manipulación
- *Sistema sensorial*
  - Introducción
  - Sistemas de visión
  - Control de fuerza
  - Sensores táctiles
  - Sistema multisensorial
- Cooperación
- Aplicaciones. Desensamblado Automático.

Sistema multisensorial



Índice

- Presentación
- Manipulación
- Sistema sensorial
- *Cooperación*
  - Clasificación
  - Sistemas de localización de humanos
  - Sistemas de captura de movimiento
- Aplicaciones.

Clasificación

Utilizar cooperación robot-robot en tareas de manipulación permite mejorar el rendimiento y aumenta la versatilidad.

Se pueden realizar tareas que un solo robot no puede realizar.

Las tareas se dividen en dos tipos:

- Tareas Conjuntas
  - Requiere la presencia de dos o más manipuladores realizando la misma tarea, es decir, compartiendo el área de trabajo.
  - Este tipo de tarea aparece por ejemplo, cuando debemos retirar unos tornillos que sujetan un componente, si retiramos los tornillos el componente podría desplazarse de su posición y resultar dañado. Para evitarlo otro manipulador debe mantenerlo estable.
  - También aparece en tareas de traslado de componentes excesivamente pesados para un solo manipulador.

Clasificación

Utilizar cooperación robot-robot en las tareas de manipulación permiten mejorar el rendimiento.

Se pueden realizar tareas que un solo robot no puede realizar.

Las tareas las dividimos en dos tipos:

- Tareas Conjuntas
- Tareas Paralelas
  - Cada manipulador realiza una tarea específica y distinta en el mismo intervalo temporal.
  - Cada robot manipula en el espacio de trabajo correspondiente.
  - En sentido estricto, no hay cooperación.
  - Un ejemplo sería separar una placa PCI y a la vez retirar la fuente de alimentación de un ordenador.

Clasificación

Cooperación humano-robot:

- La cooperación entre humanos y robots para tareas de manipulación no es trivial.
- Hay que considerar el área de trabajo del humano.
- Por seguridad, requiere de sistemas sensoriales que permitan determinar la localización precisa del humano en el área de trabajo.
- En tiempo real hay que modificar la trayectoria y comportamiento de los robots en función del comportamiento del humano.
- El humano puede realizar tareas guiado del robot o bien trabajar simultáneamente sobre el mismo producto.
- El cálculo de los puntos de agarre tiene una gran importancia.

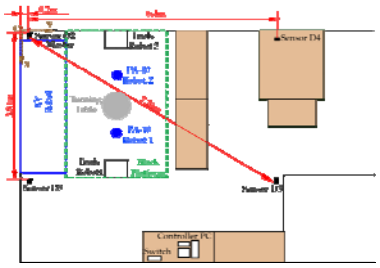
Índice

- Presentación
- Manipulación
- Sistema sensorial
- *Cooperación*
  - Clasificación
  - Sistemas de localización de humanos
  - Sistemas de captura de movimiento
- Aplicaciones.

Sistemas de localización de humanos

Para localizar el operador en el área de trabajo:

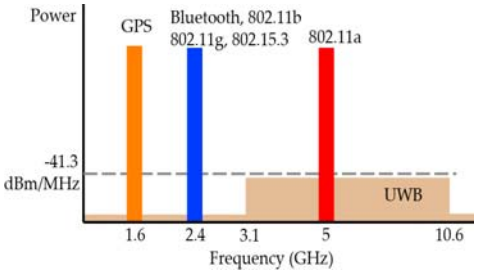
- Sistema de localización espacial global
  - Exteriores: GPS
  - Interiores:
    - Ultrasonidos: Alta precisión, instalación compleja.
    - Ópticos: Problemas de visibilidad.
    - Radiofrecuencia: Sin problemas de visibilidad e instalación más sencilla: WIFI, RFID y UWD
      - WIFI y RFID: Baja precisión (m.)
      - UWD: Alta precisión (cm.)



Sistemas de localización de humanos

UWD (Ultrawideband)

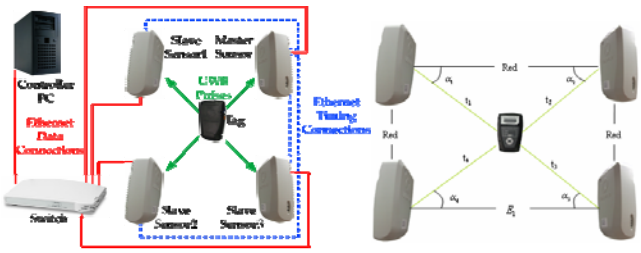
- Transmite pulsos aislados de corta duración (décimas de nanosegundo) en un amplio rango de frecuencias a baja potencia



Sistemas de localización de humanos

UWD (Ultrawideband)

- Transmite pulsos aislados de corta duración (décimas de nanosegundo) en un amplio rango de frecuencias
- El esquema de funcionamiento del sistema de localización se basa en tres pasos principales:
  - La etiqueta (Tag) manda su ID y un pulso UWB.
  - Los sensores calculan la localización de la etiqueta con técnicas TDOA (Time-Difference Of Arrival) y AOA (Angle Of Arrival).
  - El sensor maestro planifica el siguiente pulso UWB.



Índice

- Presentación
- Manipulación
- Sistema sensorial
- *Cooperación*
  - Clasificación
  - Sistemas de localización de humanos
  - Sistemas de captura de movimiento
- Aplicaciones.

Sistemas de captura de movimiento

Para localizar el operador en el área de trabajo:

- Sistema de localización espacial global
- Sistema de captura de movimiento:
  - Además de la localización puntual de la persona hay que determinar dónde se encuentran las extremidades para evitar colisiones con los robots.
  - Para ello se utiliza un sistema de captura de movimiento que precisa información sobre los movimientos que realiza la persona.
  - Combinado con el sistema de localización espacial anterior se obtiene una localización completa y a medida de la persona dentro de la zona de trabajo.
  - La información correspondiente a la zona de trabajo de la persona se utiliza para determinar la planificación de las tareas a realizar, así como, para evitar las colisiones.

Sistemas de captura de movimiento

Para localizar el operador en el área de trabajo:

- Sistema de localización espacial global
- Sistema de captura de movimiento:
  - Mecánicos: exoesqueletos con transductores electromecánicos.
    - Buena precisión de ángulos, sin problemas de interferencias.
    - Uso complejo e incomodo.
    - Medidas no absolutas.

Sistemas de captura de movimiento

Para localizar el operador en el área de trabajo:

- Sistema de localización espacial global
- Sistema de captura de movimiento:
  - Mecánicos
  - Magnéticos: uso de sensores que miden la fuerza y/o la dirección del vector de campo magnético local alrededor del sensor.
    - Posiciones y orientaciones absolutas.
    - Baja precisión.

Sistemas de captura de movimiento

Para localizar el operador en el área de trabajo:

- Sistema de localización espacial global
- Sistema de captura de movimiento:
  - Mecánicos
  - Magnéticos
  - Ópticos: uso de cámaras calibradas y proceso de triangulación.
    - Activos pasivos.

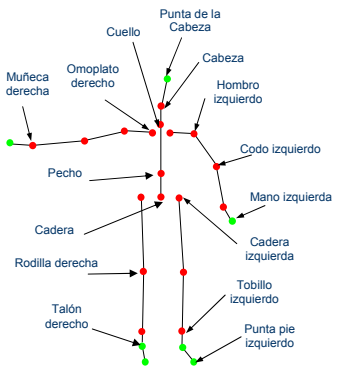
Sistemas de captura de movimiento

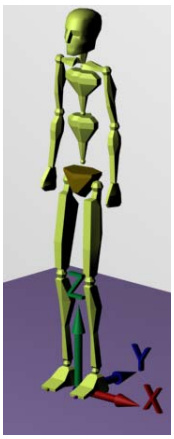
Para localizar el operador en el área de trabajo:

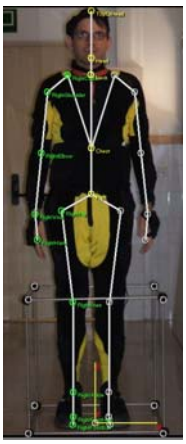
- Sistema de localización espacial global
- Sistema de captura de movimiento:
  - Mecánicos
  - Magnéticos
  - Ópticos
  - Inerciales: acelerómetros y giróscopos
    - Alta velocidad
    - Sin problemas de visibilidad
    - Alta precisión
    - Medidas relativas

Sistemas de captura de movimiento

Sistema de captura de movimiento inercial:



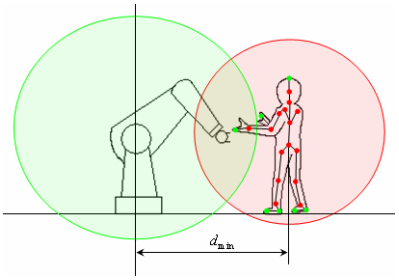


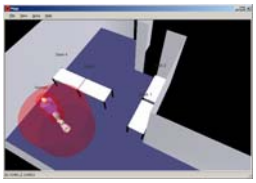


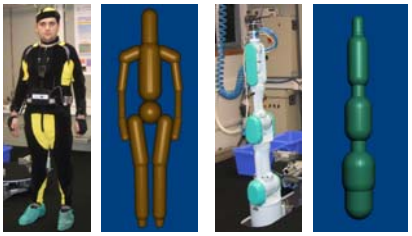
Sistemas de captura de movimiento

Fusión sensorial: Combinando dicha información se determina el área de trabajo de la persona y el robot.

- Uso de volúmenes dinámicos

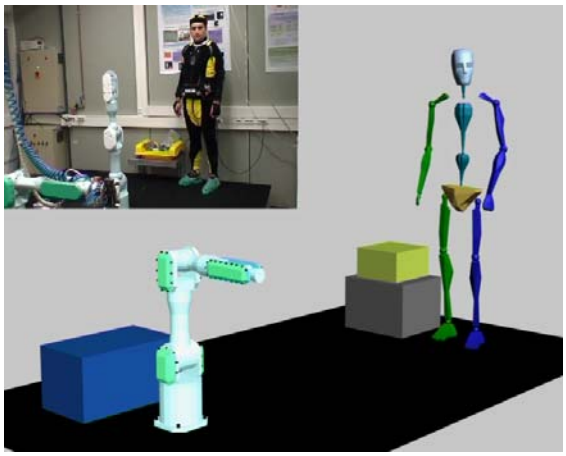






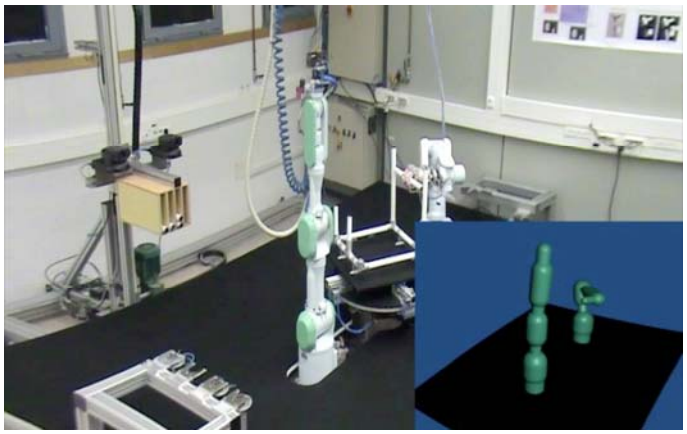
Sistemas de captura de movimiento

Sistema UWB + captura de movimiento inercial:



Sistemas de captura de movimiento

Sistema UWB + captura de movimiento inercial + volúmenes dinámicos:

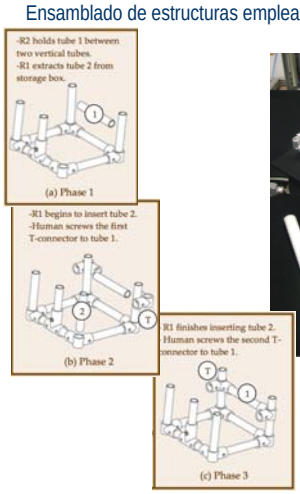


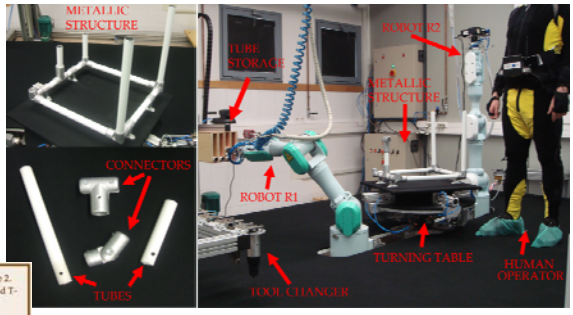
Índice

- Presentación
- Manipulación
- Sistema sensorial
- Cooperación
- *Aplicaciones.*

Aplicaciones

Ensamblado de estructuras empleando información sensorial.



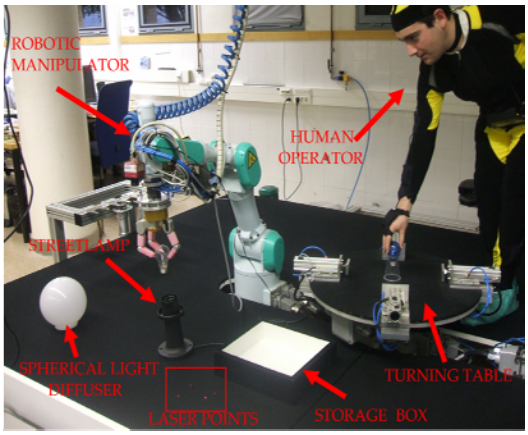


Aplicaciones

Ensamblado de estructuras empleando información sensorial.

Aplicaciones

Cambio de una bombilla.

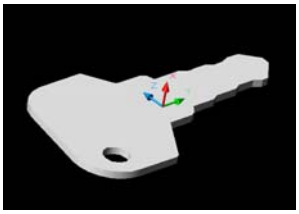


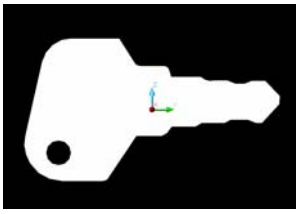
Aplicaciones

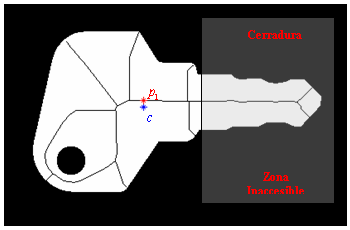
Cambio de una bombilla.

Aplicaciones

Extracción de una llave de una cerradura.







Aplicaciones

Extracción de una llave de una cerradura.

Conclusiones

- La utilización de robótica cooperativa abre un mayor abanico de posibilidades en la manipulación de objetos.
  - Se dispone de cooperación robot-robot y humano-robot.
- La inclusión de humanos en el entorno de trabajo requiere un conocimiento de su localización en todo momento.
- El cálculo de los puntos de agarre tiene gran importancia a la hora de trabajar con sistemas cooperativos.
- La manipulación inteligente es una vía que abre nuevas posibilidades a la robótica.
- El control visual permite ajustar la posición del robot respecto del componente que se esta manipulando de manera dinámica.

Conclusiones

- El uso de sensores de fuerza permite llevar a cabo tareas que faciliten la cooperación entre personas y robots.
- Los sensores táctiles también ayudan a realizar ciertas tareas que sin ellos no sería posible determinar de manera automática como llevarlas a cabo.
- Los puntos de agarre de un componente no se deben olvidar ya que su correcta definición determinar la correcta manipulación del producto.
- Los puntos de agarre cobran más importancia en la cooperación con humanos ya que se deben elegir para que el humano soporte la menor carga posible y/o no requiera manipular el objeto por superficies peligrosas.
- Todas la investigaciones aquí presentadas son resultado del trabajo realizado por los miembros del grupo de investigación AUROVA de la Universidad de Alicante.
  - Gracias a la financiación del Plan Nacional de I+D+i del Gobierno de España y de la Generalitat Valenciana.

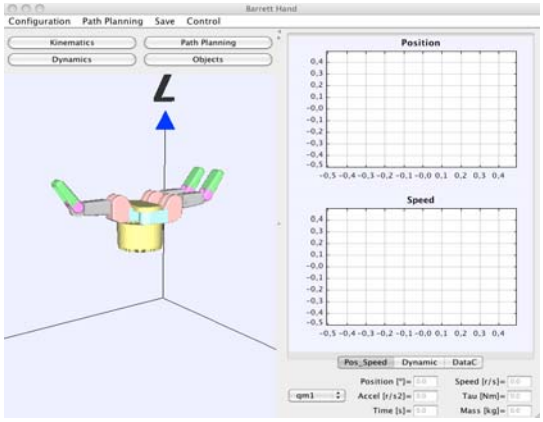
Resultados

- Tesis Doctorales:
  - Safe human-robot interaction based on multi-sensor fusion and dexterous manipulation planning. Juan Antonio Corrales ramón. Dirigida por: Fernando Torres Medina, Francisco A. Candelas Herías. 2011.
  - Control visual-fuerza autocalibrado para seguimiento de trayectorias en tareas cooperativas robóticas. Gabriel Jesús García Gómez. Dirigida por: Jorge Pomares Baeza, Fernando Torres Medina. 2010.
  - Manipulación cooperativa robot-robot y humano-robot. Aplicación a sistemas flexibles de desensamblado automático. Carolina S. Díaz Baca. Dirigida por: Fernando Torres Medina, Santiago T. Puente Méndez. 2007.
  - *Control visual 2D indirecto para el seguimiento intemporal de trayectorias y su aplicación a estrategias de control visual-fuerza en manipuladores*. Jorge Pomares Baeza. Dirigida por: Fernando Torres Medina. 2004.
  - *Desensamblado automático no destructivo para la reutilización de componentes. Aplicación al desensamblado de PC's*. Santiago Timoteo Puente Méndez. Dirigida por: Fernando Torres Medina, Rafael Aracil Santonja. 2002.
- Publicaciones:
  - http://www.aurova.ua.es/pub.html

Referencias

- Grupos nacionales:
  - Univ. Politècnica de Catalunya, Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales, Division de robotica
  - Univ. Politècnica de Catalunya, GRINS - Grup de Robòtica Intel!ligent i Sistemas.
  - Univ. Politècnica de Catalunya, IRI – Grupo de Percepción y Manipulación
  - Univ. Carlos III de Madrid, Robotics Lab
  - Univ. Jaume I, Robotic Intelligence Lab
  - Univ. Miguel Hernández (Elche, Alicante) Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática.
- Grupos internacionales:
  - Columbia University, Robotics Group
  - DLR, Institute of Robotics and Mechatronics, Germany
  - ISIR, Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique, CNRS-UPMC, Paris, France
  - Università di Pisa, Robotics Group
  - The Robotics Institute, Carnegie Mellon University

Simulador



http://www.aurova.ua.es/dpi/index.php/es/multimedia/simulaciones

© Grupo de Automática, Robótica y Visión Artificial