

CONTROL DE AGARRE Y POSICIONAMIENTO EN UNA PLATAFORMA ROBOT CON SENSORES TÁCTILES

J.L. Pedreño-Molina

Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Juan.Pmolina@upct.es

A.Guerrero-González

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Antonio.Guerrero@upct.es

J.Guerrero-González

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

J. López-Coronado.

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. JL.Coronado@upct.es

Universidad Politécnica de Cartagena.

Campus Muralla del Mar. Cartagena (Murcia). SPAIN.

Resumen

En este artículo se presenta una plataforma formada por un brazo robot de 5 grados de libertad y una pinza robot de 1 sólo grado de libertad, con superficies táctiles. Este sistema obtiene, en tiempo real, las distribuciones de presión cuando un objeto ha sido agarrado, produciendo una realimentación del control de la posición y fuerza.

1 INTRODUCCIÓN

El agarre y manipulación de objetos es un concepto de fundamental importancia en el campo de la robótica tanto industrial como de uso doméstico. Muchos han sido los esfuerzos dedicados al diseño y construcción de sistemas robot dedicados a tareas de agarre para aplicaciones de ensamblaje, elevación o transporte de objetos.

No obstante, los sistemas diseñados para este tipo de tareas, suelen estar implementados en procesos automatizados, partiendo de un entorno de trabajo fijo y perfectamente conocido. Es este tipo de sistemas, cualquier cambio en las condiciones de trabajo, supone el poner en marcha un proceso de calibración para adaptarlos a las nuevas condiciones de trabajo.

En general, la instalación más reducida de estas plataformas suele estar formada por un brazo robot y un dispositivo de agarre a modo de pinza (mano robot de dos dedos) con placas paralelas.

Normalmente trabajan el lazo abierto, es decir, carecen de dispositivos receptores que capten estímulos externos y realimenten el sistema de control del posicionamiento del conjunto robot.

En este estudio, por el contrario, se presenta una plataforma robot formada por un brazo robot de 5 grados de libertad y un dispositivo de agarre consistente en una pinza robot de placas paralelas y lisas. Sobre estas superficies se ha montado un conjunto de sensores táctiles artificiales formados por arrays de sensores piezorresistivos cuyas características se muestran en [10]. Ver *Figura 1*.

El sistema así formado, tiene la capacidad de medir, en tiempo real, los puntos de contacto y las fuerzas ejercidas entre las superficies sensoras y el objeto agarrado. De esta forma, el sistema robot trabaja en lazo cerrado mediante un control híbrido realimentado de posición y fuerza.



Figura 1: Imagen de superficies táctiles artificiales

2 ANTECEDENTES

La evolución de las superficies de contacto y la presión ejercida entre un dispositivo de agarre robot y un determinado objeto, ha sido siempre un parámetro de control muy perseguido en robótica de manipulación.

La gran ventaja que supone el poder realimentar el sistema de agarre mediante sensores y poder realizar controles en lazo cerrado de posición y/o fuerza supone, también, un aumento de la electrónica de adquisición y, por supuesto, de control del sistema. En muchas ocasiones, la falta de sensores artificiales adecuados, la complejidad en los sistemas de control para la realización de tareas sencillas o la necesidad de sensorizar un dispositivo robot de agarre con múltiples dedos, hace inviable adoptar esta solución.

No obstante, existen algunas referencias donde se ha experimentado con la realimentación táctil del dispositivo de agarre más sencillo que existe: una pinza robot de un solo grado de libertad.

Así, D.Castro en [4] y [5], obtiene distribuciones de fuerza de contactos de una pinza robot sencilla con varios objetos. Estos mapas táctiles son proporcionados por un array de 16x16 sensores piezorresistivos dispuestos en forma de matriz. Se utilizan para extraer algunas propiedades del objeto agarrado, en base a un procesamiento de datos con filtrados, detección de contornos, tests estadísticos, etc...

Existe un dispositivo que es aún más sencillo que una pinza de dos dedos. Se trata de un manipulador de un solo dedo. Evidentemente, éste no puede usarse para tareas de agarre. Su aplicación es la exploración de superficies 3D.

Un ejemplo de un dispositivo de este tipo se puede encontrar en Allen [1]. La capacidad de obtener las señales de tacto en tiempo real, permite al sistema reconocer algunas características de objetos mediante exploración del manipulador montado sobre un robot de 6 grados de libertad.

Una pinza robot puede tener más de un grado de libertad. Es posible dotar a ambas placas de un movimiento de deslizamiento paralelo de una sobre otra. Con un manipulador así formado (tres grados de libertad) es posible reconocer objetos de una forma mucho más precisa.

A. Bicchi muestra en [2] resultados de reconstrucción de objetos 3D a partir de los datos obtenidos al explorarlos utilizando manipulación por rodamientos. Este método presenta buenos

resultados pero considerando la restricción de objetos con superficies *regulares*. Esta técnica evita el empleo de array de sensores, si bien incrementa los sistemas de control y el hardware.

Un dispositivo tan sencillo como una pinza robot puede realizar tareas de bastante precisión cuando son realimentados con un sistema de sensores adecuado y controlado mediante algún algoritmo "inteligente". Tal es el caso que presenta Cervera en [6], donde un control neuronal basado en un aprendizaje autoorganizativo, es aplicado a una pinza robot con un sensor de fuerza ubicado en la articulación que realiza las rotaciones a modo de muñeca. Este método aplicado a este sencillo dispositivo, permite realizar tareas de ensamblaje con objetos no cilíndricos.

Okumura implementa en [9] un dispositivo de agarre formado por dos dedos para determinar propiedades de superficies de objetos tales como textura, fricción, ranuras, crestas, etc. Ambos dedos tienen sensores táctiles diferentes: uno realiza el reconocimiento por *rodamiento* (rolling) y el otro por *deslizamiento* (sliding).

Finalmente, existen algunos dispositivos sencillos de agarre a modo de pinza e implementados en brazos robot, que carecen de receptores táctiles artificiales y son realimentados mediante un sistema de visión. Es el caso de Fink [8] en el sistema cabezal-brazo-pinza robot *MinERVA* o en [3] donde Yoshimi y Allen muestran el guiado por visión del dispositivo de agarre *TOSHIBA*, de cuatro dedos paralelos empleado en tareas de agarre y enroscado de objetos.

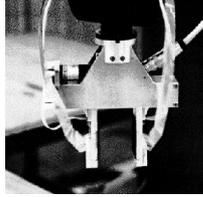
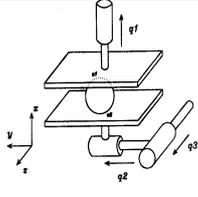
El cuadro de la *Tabla 1* muestra un resumen de algunos de los dispositivos de agarre con diseño de pinza robot desarrollados en diferentes centros de investigación, así como su principal aplicación y sus características.

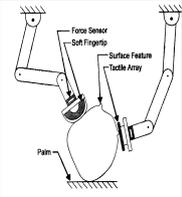
3 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

En la exposición realizada hasta ahora en este estudio, se han definido las necesidades que en el campo de la robótica tienen los transductores de fuerza o sensores táctiles artificiales ("*artificial tactile skin*").

Del mismo modo, se han presentado algunas investigaciones que tratan de aplicar las señales obtenidas de sensores con diferentes tecnologías, al control realimentado de los movimientos de una estructura robot con mayor o menor complejidad.

Tabla 1: Cuadro comparativo de pinzas robot

PAIS	PORTUGAL	ITALIA
AÑO	1997	1996
CARACTERÍSTICAS.	Garra ligera (562 g. de peso) de dedos paralelos. Permite una fuerza máxima de 7 Kg. , con una abertura de 9 cm.	Dos placas paralelas con 3 grados de libertad que desliza una sobre otra.
REF.	[4], [5]	[2]
CONTROL	Realimentación a partir de un sistema de sensores táctiles resistivos situados en ambas superficies de la pinza	En lazo abierto. Se generan movimientos aleatorios de las placas y se mide la presión mediante un sensor de fuerza de seis ejes.
APLICACIÓN	Reconocimiento de formas básicas de objetos en función de la distribución de fuerzas. Aplicación de técnicas de Procesamiento de los datos.	Exploración de objetos desconocidos mediante deslizamiento de las placas por la superficie para Reconstrucción
FOTO		

PAIS	CANADA	ALEMANIA
AÑO	1997	1998
CARACTERÍSTICAS.	Dispositivo formado por dos dedos con movimientos independientes.	Es parte del sistema robot <i>MinERVA</i> , formado por el conjunto cámara-brazo-mano.
REF.	[9]	[8]
CONTROL	Las variables a controlar son: la trayectoria de contacto, orientación y la fuerza normal ejercida.	Sistema con realimentación continua ("look-and-move") a partir de la información <i>visual</i> para guiar los movimientos del robot.
APLICACIÓN	Exploración de superficies (transversales) de objetos. Detección de propiedades como textura, fricción, huecos y crestas.	Tareas de agarre guiadas visualmente imitando el comportamiento antropomórfico del sistema humano.
FOTO		

PAIS	EEUU	ESPAÑA
AÑO	1988	1999
CARACTERÍSTICAS.	Dispositivo de una sola placa a modo de dedo montado en un brazo robot de 6 grados de libertad	Pinza robot a modo de tenaza y desprovista de sensores táctiles.
REF.	[1]	[6]
CONTROL	Realimentación con un sensor octogonal cilíndrico (como el dedo humano) con 16 elementos sensoriales equiespaciados. En total, 135 celdas.	Control Neuronal. El sistema se realimenta por unos sensores situados en la superficie del agujero donde se quiere insertar el objeto agarrado
APLICACIÓN	Reconocimiento de texturas, huecos, etc, que no pueden ser detectados por visión. Exploración Activa de superficies 3D.	Tareas de Inserción. Aprendizaje de tareas complejas de manipulación.
FOTO		

PAIS	EEUU
AÑO	1994
CARACTERÍSTICAS.	Garra TOSHIBA FMA. Tiene 4 dedos flexibles, 3 grados de libertad y 8 posiciones posibles. Guiado por 2 cámaras fijas.
REF.	[3]
CONTROL	Realimentación basada, únicamente, en sistemas de visión artificial mediante dos cámaras fijas. Al carecer de sensores táctiles el control es sólo de posición y de las cámaras de visión
APLICACIÓN	Aplicaciones en tareas de agarre, levantamiento de objetos. La flexibilidad de los dedos de esta garra permite funciones de enroscado de objetos a modo de tornillo.
FOTO	

Así, en la *Tabla 1*, se presenta un cuadro con algunas plataformas sencillas dónde se ha estudiado el control de posición y/o fuerza del sistema, basado en realimentación táctil, visual o híbrida.

Dependiendo del tipo de dispositivos de agarre utilizados, del brazo robot que genera las trayectorias, de los sensores empleados y del tipo de control implementado, cada sistema robot tendrá capacidades diferentes para la realización de muy diversas tareas: agarre, guiado, manipulación, exploración, reconocimiento, etc.

En el Apartado I, se han referenciado las ventajas que incorpora el tipo de sensores que se ha seleccionado, sus dimensiones y características. Las superficies táctiles diseñadas y construidas se han montado en una plataforma robot formada por un brazo 5 grados de libertad y una pinza robot de placas paralelas. Dichas placas tienen una superficie adecuada y suficiente para poder insertar el array de sensores resisitivos descritos anteriormente.

La *Figura 2*, muestra una imagen de la plataforma robot empleada en tareas de agarre que requieren una cierta precisión. El sistema trabaja en lazo cerrado, realimentado por la señal procedente de las dos superficies táctiles.

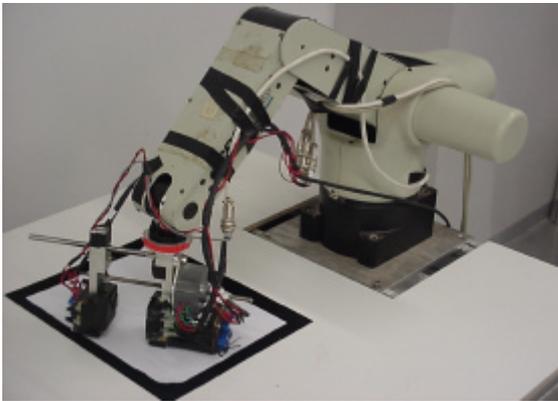


Figura 2: Plataforma robot de agarre con sensores táctiles

El sistema así formado permite realizar tareas de agarre dónde la posición relativa entre el objeto y las placas sensorizadas de la pinza es un parámetro a controlar importante. Por otro lado, un algoritmo eficaz que pueda realizar una correspondencia en tiempo real entre los mapas de distribución táctil y las posiciones actuales de las articulaciones del robot, permitirá controlar diferentes umbrales de fuerza dependiendo de las diferentes fases y transiciones que se producen en un movimiento controlado de agarre.

Este sistema permite realizar tareas de manipulación con cierta complejidad, así como maniobras de agarre para centrar el objeto entre ambas placas de la pinza, después de haber realizado un primer contacto para determinar la posición inicial del objeto.

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PINZA ROBOT DE AGARRE.

Fuerza máxima desarrollada: 12.5 Kg
 Paso: 0.025 mm.
 Recorrido: 170mm.
 Voltaje: 12voltios
 Precisión de Paso: ± 0.005 mm.
 Repetibilidad: ± 0.01 mm.

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL BRAZO ROBOT.

Modelo: CRS A255.
 Grados de libertad: 5.
 Carga máxima: 2Kg.
 Velocidad: 1.6 segundos
 Repetibilidad: 0.05mm.
 Alcance: 560mm.

3.3 ELECTRÓNICA DE ACCIONAMIENTO.

El controlador de articulación del conjunto brazo-pinza robot acciona los 6 grados de libertad y se comunica con las plataformas de procesamiento de alto nivel mediante línea serie a 38400 baudios. El control de movimiento en tiempo se lleva a cabo mediante el microcontrolador LM639 de National Semiconductor. La salida del microcontrolador es una señal modulada en ancho de pulso (PWM) y otra de signo. La frecuencia de reloj de este chip es de 8 MHz y la frecuencia de muestreo del lazo de control es de 3.9 KHz.

En la *Figura 3*, se muestra un esquema de la arquitectura del controlador de articulación del cabezal.



Figura 3: Estructura del controlador

4 ADQUISICIÓN DE LAS SEÑALES TÁCTILES.

4.1 ADQUISICIÓN DE DATOS

Para la adquisición de las señales proporcionadas por cada uno de los elementos sensoriales que componen los arrays, se ha empleado una tarjeta de adquisición de datos fabricada y comercializada por Advantech, S.A.

Las especificaciones principales de funcionamiento de esta tarjeta son las siguientes:

- ⇒ Modelo PCL-1800.
- ⇒ Conversor A/D a 330Khz.
- ⇒ Resolución de 12 bits.
- ⇒ 16 canales analógicos de entrada en modo simple ó 8 en modo diferencial.
- ⇒ Tiempo de conversión 2.5µsg.
- ⇒ Control automático de ganancia.
- ⇒ 2 canales analógicos de salida.
- ⇒ 16 canales digitales de entrada/salida.
- ⇒ 1 contador de 16 bits a 100 Khz.
- ⇒ Bus 16 bit ISA

4.2 ELECTRÓNICA DE ADQUISICIÓN DE SENSORES

La tarjeta de adquisición de datos recibe a través de un conector D37 la señal analógica, en un rango de 0 a 10 voltios, medida en cada uno de los 18 sensores de fuerza que componen las dos superficies táctiles. La distribución de estos sensores se muestra en el dibujo de la *Figura 4* y formando superficies cuadradas de 50x50mm cada una y cuyos ejes de referencia aparecen representados.

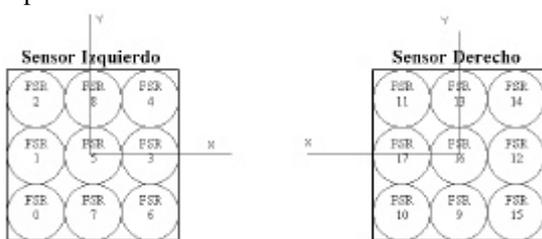


Figura 4: Disposición de los sensores táctiles FSR

Entre estas dos superficies táctiles y las placas rígidas de la pinza robot, se inserta una lámina elástica de 2 mm. de espesor. Así mismo, cubriendo los sensores se adhiere una cubierta elástica de un espesor de 3 mm. La necesidad de estas dos gomas son justificadas con detalle en [10].

5 CONTROL DE POSICIONAMIENTO EN EL AGARRE.

El control de la posición del objeto entre las superficies y la fuerza que debe ejercer la pinza en cada instante, depende de las fases de agarre y, más concretamente, de las transiciones entre ellas. En [7]. Cutkosky y Hyde, presentan la evolución de las señales de fuerza y aceleración en todas las fases de un movimiento de agarre en el que se produce un deslizamiento del objeto y, posteriormente, una maniobra de reajuste de las fuerzas de agarre.

Tal y como se expone en [10], existen diferentes tipos de contacto. Debido a las características del montaje en cada una de los dedos de la garra (placa-lámina-sensores-cubierta) los diferentes instantes de contacto corresponden al tercer tipo, "contacto con superficies blandas" y, por tanto, con fricción.

Las fricciones vienen determinadas por la rugosidad de la cubierta elástica y de la superficie en la zona de contacto del objeto a agarrar.

Para el control de posición y fuerza, se han considerado las siguientes restricciones:

- ⇒ Contacto de tipo 3.
- ⇒ Sólo se mueve el dedo izquierdo de la pinza robot, tanto en movimiento de cierre como de apertura.
- ⇒ El umbral de fuerza para cada transición se estima a priori.
- ⇒ Existe una fuerza de fricción entre la base del suelo y el objeto a agarrar lo suficientemente intensa para que el robot no desplace al objeto al contacto con éste.
- ⇒ En ambas superficies táctiles se pueden definir umbrales de fuerza diferentes e independientes.
- ⇒ Los únicos grados de libertad que intervienen en el agarre son: el movimiento de apertura y cierre de la pinza y la base del robot. El resto no son necesarios para este control de posición y fuerza.
- ⇒ El sensor que recibe el impulso de mayor magnitud es el que determina si se ha superado o no el umbral de fuerza en cada instante.

El esquema de la *Figura 5*, detalla el funcionamiento del algoritmo implementado para el control de la posición en un movimiento de agarre en función de la fuerza detectada en ambas superficies táctiles en cada instante.

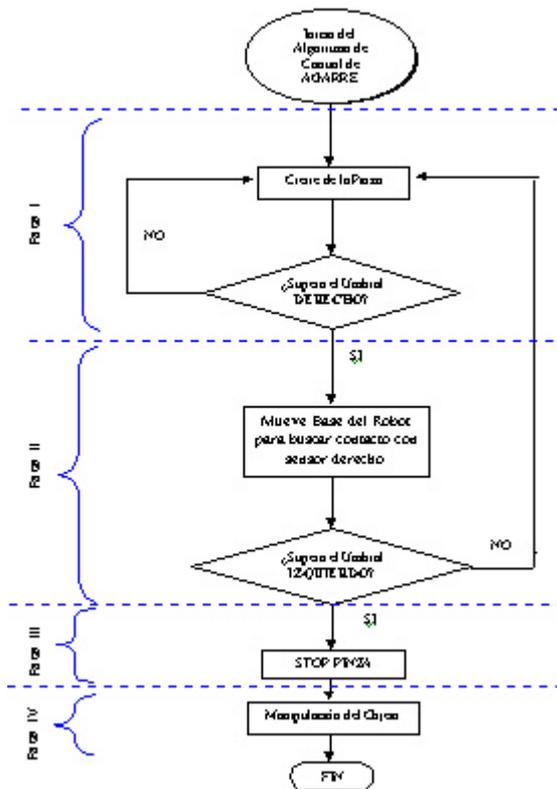


Figura 5: Esquema del Algoritmo de Control de Agarre

En esta figura, se distinguen 4 cuatro fases a lo largo del movimiento completo de agarre. Las transiciones entre cada una de ellas determina el inicio de una nueva etapa que realiza un control en función de las variables que se van modificando en cada fase.

El control así implementado, muestrea las señales de fuerza, determinando el sensor y la magnitud del máximo estímulo en cada uno de los dedos de la garra. Cada fase produce un comportamiento diferente del sistema y se corresponde con las siguientes etapas de movimiento:

- ⇒ **FASE I: Pre-Contacto.** La garra se posiciona en torno al objeto e inicia un proceso de detección de un primer contacto en el dedo derecho mediante un movimiento de cierre de la garra robot. Este control, continuamente, si alguno de los sensores del array detecta una señal de presión superior a la prefijada como Umbral Derecho.
- ⇒ **FASE II: Contacto Derecho.** Una vez que se ha alcanzado el umbral fijado para cualquiera de los sensores del array situado en la placa derecha de la pinza, se inicia un movimiento de giro de la base del brazo robot, con el fin de acercar el objeto al array izquierdo de sensores. Cada pequeño giro de esta articulación produce una pérdida de

contacto con el dedo derecho. En ese momento se detendrá el brazo robot y, debido al movimiento continuo de cierre de la pinza, se volverá a alcanzar dicho umbral. Este control provoca un comportamiento a escalones del movimiento de la base del robot y oscilatorio de la fuerza detectada en el dedo derecho.

⇒ **FASE III: Contacto Izquierdo.** Como resultado de la maniobra realizada en la fase anterior, ambas placas de la pinza robot habrán detectado, al menos, un contacto con una magnitud de fuerza igual o superior a los dos umbrales fijados independientemente. En este momento, el objeto quedará perfectamente sujeto por la pinza robot y cesará la realimentación táctil. Puesto que un movimiento inesperado del objeto no sería detectado por el sistema, es importante fijar adecuadamente unos umbrales que eviten el deslizamiento del objeto agarrado.

⇒ **FASE IV: Post-Agarre o Manipulación.** Son los movimientos que se realiza el sistema robot con el objeto agarrado. Aquí comienzan las tareas para las que se ha programado el robot y que no son objeto de estudio en este capítulo. Se conoce como *manipulación* y su objetivo es posicionar o desplazar el objeto agarrado hasta una posición final.

6 MANIOBRA DE AGARRE CENTRADO.

En las distintas fases del agarre y manipulación de un objeto, es necesario conocer la posición del objeto frente al eje de agarre de la pinza. La información proporcionada permite realizar una pequeña aproximación al problema del *Agarre Estable*.

La estabilidad en un proceso de agarre es un concepto, en cierta manera, flexible, es decir, existen muchos grados de estabilidad. En definitiva, el problema que se pretende solucionar es el siguiente: "¿Con qué orientación, altura y apertura mínima de las placas debemos accionar la pinza robot para poder agarrar el objeto sin que éste se caiga?". Básicamente, se puede considerar que un agarre es *ESTABLE*, cuando:

- a) El objeto contacta en el centro de cada una de las superficies de los arrays.
- b) Es posible trazar una línea recta que una esos puntos con el centro de gravedad del objeto.

Al no disponer de información sobre el centro de gravedad del objeto, puesto que no es conocido a priori ni estamos empleando información visual, este estudio obtiene el posicionamiento del objeto en la pinza en base a la primera consideración. La *Figura 6*, muestra el sistema de referencia utilizado.

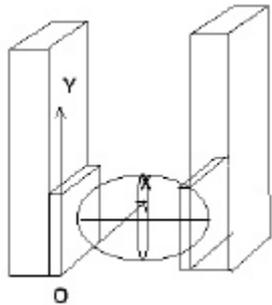


Figura 6: Sistema Referencia de la Pinza

Los parámetros que determinan el posicionamiento de la pinza, ver *Figura 7*, son los siguientes:

- h** = Altura entre el centro de ambas superficies táctiles y el suelo.
- J** = Angulo de giro de la pinza. Es una articulación del brazo robot.
- d** = Distancia de apertura entre las placas de la pinza.

$$\text{Agarre} = f(h, J, d)$$

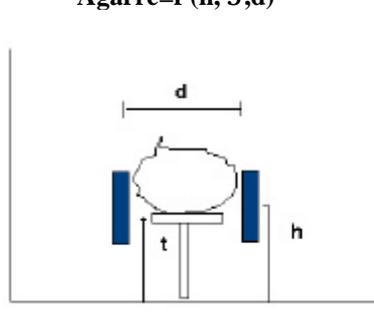


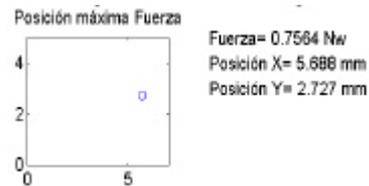
Figura 7: Dibujo de la Sección de una Posición de Agarre

Para simplificar el cálculo y estimación de estos tres parámetros en esta maniobra para la estabilidad del agarre, se considerarán una restricción en el escenario de trabajo: el objeto debe tener los picos o vértices equiplanares, i.e., a la misma altura desde el suelo.

Con esta restricción se consigue poder alcanzar la estabilidad mediante el control de sólo 3 grados de libertad: el hombro del brazo robot para el control de '**h**'; el giro para el control de '**J**' y el desplazamiento de apertura y cierre de la pinza para el control de '**d**'.

Estos tres parámetros se determinan en función de la información que podemos obtener de los arrays de sensores implementados – *Figura 8* –, es decir, la posición del punto principal de contacto con el objeto y la presión ejercida.

SENSOR IZDO



SENSOR DCHO

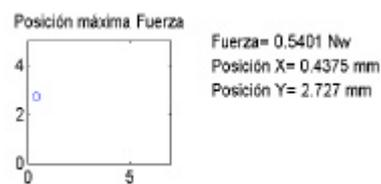


Figura 8: Contactos en una Posición de Agarre

6.1 CÁLCULO DE 'h'

Este parámetro regula la altura de la pinza con respecto al suelo, de forma que el punto de contacto en ambos sensores coincida con el centro de la dimensión vertical del sensor.

Lógicamente, al ser los puntos de contacto equiplanares, sólo es necesario tener en cuenta una de las superficies de sensores, pues en la otra, la posición estará a la misma altura.

$$h = t + y$$

Siendo:

- b = dimensión vertical del sensor.
- a = dimensión horizontal del sensor.
- y = Posición en el eje de ordenadas del punto principal de contacto.

6.2 CÁLCULO DE 'J'

Este parámetro calcula el ángulo que debe girar la pinza de manera que el objeto quede centrado en la dimensión horizontal (x) del array.

La *Figura 9*, muestra una sección de una situación inicial de agarre y el ángulo teórico que debe girar la articulación para que el objeto quede agarrado de forma estable.

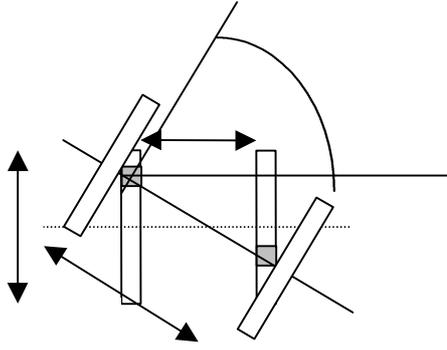


Figura 9: Vista Superior de la pinza

Realizando los cálculos en base a relaciones trigonométricas, se obtiene la siguiente ecuación:

$$J = \operatorname{atan} \frac{x_2 - x_1}{d}$$

,siendo:

- x_2 : Coordenada x en sensor 2
- x_1 : Coordenada x en sensor 1
- d : Distancia entre placas

6.3 CÁLCULO DE 'd_n'.

Generalmente, cada vez que centra el objeto a lo largo del eje 'x' del sistema de referencia del array, se debe recalcular la distancia nueva ('d_n') de separación entre las placas. Tomando como referencia el gráfico anterior y realizando los cálculos adecuados, se obtiene la siguiente expresión para 'd_n'.

$$d_n = d + \left| \frac{d \cdot \operatorname{tg} J}{2} \right|$$

No obstante, debido al control de posicionamiento en el agarre mediante detección de umbrales –ver Apartado 5 -, este parámetro no sería necesario estimarlo.

7 RESULTADOS.

7.1 SECUENCIA DE UN CONTROL DE AGARRE

La plataforma robot presentada en este artículo así como el algoritmo del control de posición en función de la realimentación táctil de los arrays de sensores implementados ha permitido definir y estudiar el comportamiento del sistema en las distintas fases de un movimiento genérico de agarre. Un resultado muy interesante se muestre en las curvas de la *Figura 10*.

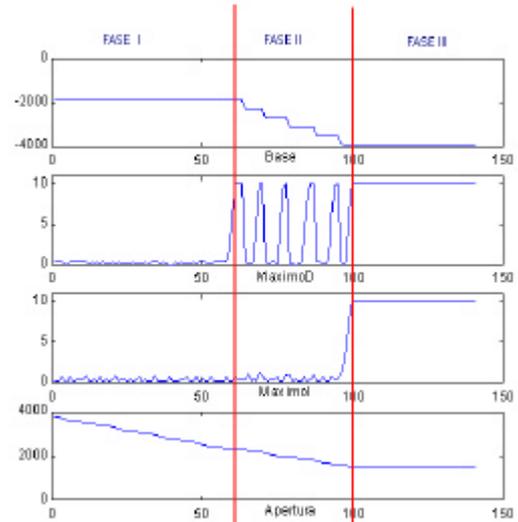


Figura 10: Secuencia de un Movimiento de Agarre

Esta Figura, muestra una secuencia de un movimiento de agarre, las transiciones entre cada fase y los diferentes umbrales que intervienen para cada una de las superficies táctiles. Se puede comprobar la evolución de los dos grados de libertad que intervienen en el movimiento de agarre (Apertura de la Pinza y Base del Brazo Robot) y la máxima señal de fuerza detectada en cada una de las superficies táctiles.

El objeto utilizado en este experimento de agarre ha sido un prisma de madera. Los umbrales de fuerza prefijados para cada superficie de sensores han sido de 9 unidades de fuerza. La *Fase IV* de manipulación no se muestra por quedar fuera de los objetivos de estudio en este capítulo.

En la sección 5, ya se comentó el comportamiento de estas señales. Se comprueba que, en la *Fase II*, los periodos en que la base del brazo robot permanece inmóvil se corresponde con magnitudes de fuerza en el array de sensores derecho por debajo del umbral establecido. Estos periodos, realmente, coinciden con los movimientos del sistema en la *Fase I*, puesto que no existe contacto con ninguna de las superficies.

La *Fase III* consiste, simplemente, en mantener los contactos en el agarre generado y detener todos los movimientos del sistema robot.

7.2 ESTABILIDAD DEL AGARRE

Tomando como ejemplo las coordenadas de posición de la *Figura 8* y teniendo en cuenta los siguientes datos de partida:

$$t = 20 \text{ cm,}$$

$$d = 7 \text{ cm,}$$

,se han obtenido los siguientes resultados en el primer contacto con el objeto:

Sensor 1

x = 5,688 cm.
 y = 2,727 cm.

Sensor 2

x = 0,4375 cm.
 y = 2,727 cm.

Estas medidas iniciales permiten obtener los parámetros que producirán el agarre centrado del objeto en ambos ejes coordenados:

h = 22,727cm
J = -36,87°.
d_n = 9,82 cm.

El significado del signo del ángulo de giro o de rotación de la pinza es el siguiente:

- **NEGATIVO:** Cuando $x_1 > x_2$.
- **POSITIVO:** Cuando $x_2 > x_1$.

Una segunda maniobra de agarre en función de estos parámetros permite obtener la estabilidad en el agarre, centrando el objeto en ambas superficies táctiles. La representación gráfica de ambos movimientos se muestra en la *Figura 11*.

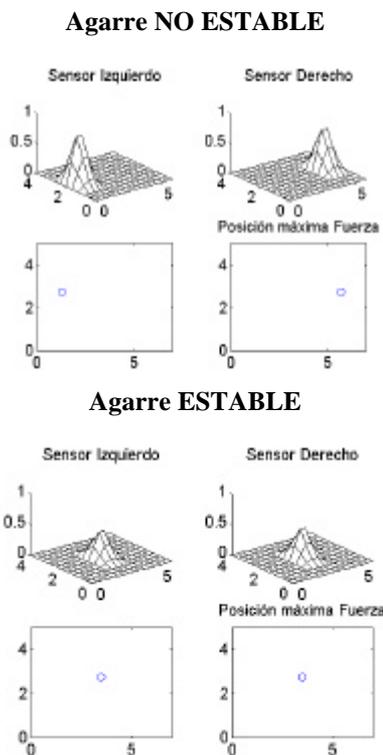
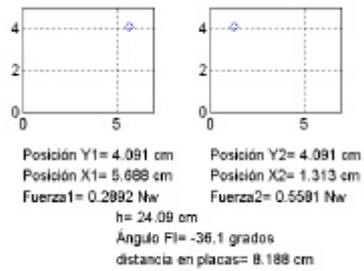


Figura 11: Maniobra de Estabilización del Agarre

Finalmente, se ha implementado un algoritmo que genera secuencias de agarre equiplanares y calcula los parámetros de posicionamiento de la pinza, obteniendo los resultados de las *Figuras 12* y *13*:

Ángulo de Giro Negativo



Ángulo de Giro Positivo

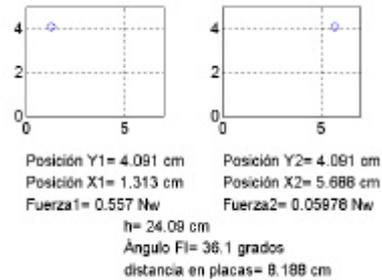
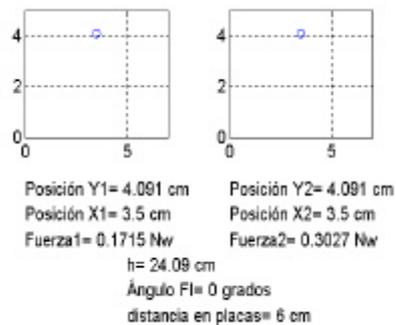


Figura 12: Cálculo de parámetros para dos posiciones iniciales de agarre

Ángulo de Giro Nulo
Agarre Parcialmente ESTABLE



Ángulo de Giro Nulo
Agarre Totalmente ESTABLE

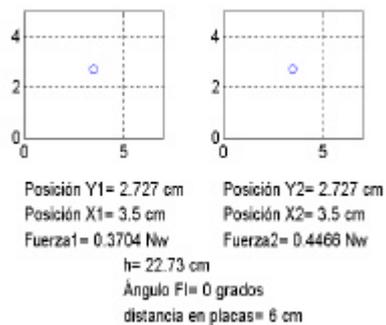


Figura 13: Cálculo de parámetros para posiciones de diferente estabilidad

8 CONCLUSIONES.

En este estudio se ha realizado una presentación de la plataforma experimental utilizada para la implementación de los algoritmos de control y posicionamiento en función de la realimentación que generan los sensores táctiles artificiales del dispositivo robot de agarre.

La capacidad de medir, en tiempo real, las magnitudes y coordenadas de los diferentes contactos producidos en el agarre de un objeto, permite controlar la fuerza ejercida por el manipulador y establecer las premisas fundamentales para conseguir la estabilidad en un agarre.

Así pues, se ha implementado un algoritmo que controla algunas de las principales articulaciones de esta plataforma robot de 6 grados de libertad formada por un brazo y una pinza robot con arrays de sensores táctiles piezorresistivos.

La aplicación de este algoritmo al control de un movimiento de agarre de un objeto, a priori desconocido, ha generado una serie de resultados que permiten identificar las diferentes fases en función de unos umbrales de fuerza prefijados.

Finalmente, se ha planteado la problemática de la estabilidad en el agarre, considerando un caso. Mediante un primer contacto se generan los mapas táctiles en una representación interna 3D. A partir de ellos, se calculan unas nuevas variables que determinarán las nuevas posiciones de las articulaciones del sistema robot para una segunda maniobra de agarre.

Este segundo movimiento producirá un agarre centrado en ambas superficies. Una generalización de estabilidad en el agarre que suprima las restricciones consideradas en este estudio, está siendo objeto de investigación por nuestro grupo.

Referencias

- [1] Allen P, "Integrating Vision and Touch for Objects Recognition Tasks". *International Journal of Robotics Research*, Vol. 7, nº 6, Dec. 1998, pp 15-33.
- [2] Bicchi A, Chitour, Marigo, and Prattichizzo: "Dexterity through Rolling: Towards Manipulation of Unknown Objects," *Third Int. Symp. on Methods and Models for Automation and Robotics*, MMAR'96, Miedzyzdroje, Poland, 1996.
- [3] Billibon H. Yoshimi and Allen, "Visual Control of Grasping and Manipulation Tasks", In *1994 IEEE Int. Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, Las Vegas, NV, Oct 2-5, 1994.
- [4] Castro D, Marques L, Nunes U, "Tactile Force Control Feedback in a Parallel Gripper". In *Proc. IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics ISIE'97*, Guimarães, 1997.
- [5] Castro D, Silva L, and Almeida, "Sensor de tacto matricial piezorresistivo para aplicaciones en robótica". In *Proc. 3as Jornadas Hispano-Lusas de Ingeniería Electrica*, pp.1735-1744, Barcelona, 1993.
- [6] Cervera E, and Pobil, "A SOM-based sensing approach to robotic manipulation tasks". Kohonen Maps. E.Oja and S.Kaski editors, 1999 Elsevier Science B.V.
- [7] Cutkosky M. and Hyde J., "Manipulation Control with Dynamic Tactile Sensing". 6th Int. Symposium on Robotics Research, Hidden Valley, Pennsylvania, October 1993.
- [8] Fink Thomas, Hauck, and Färber. "Towards an Anthropomorphic Robotical Hand-Eye Coordination". In *IMACS Conf. on Comp. Eng. in Systems Appl. (CESA'98)*, volume 4, pages 483-488, April 1998.
- [9] Okamura A.M, Turner and Cutkosky, "Haptic Exploration of Objects with Rolling and Sliding". *Proc. Of the 1997 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Vol. 3, April 20-25, Albuquerque, NM, pp. 2485-2490.
- [10] Pedreño J.L, Guerrero A, and López-Coronado J, "Estudio de los Sensores Táctiles Artificiales Aplicados a la Robótica de Agarre". Presentado en las XXI Jornadas de Automática, Septiembre 18-20, 2000. Sevilla.