

ESTUDIO DE LOS SENSORES TÁCTILES ARTIFICIALES APLICADOS A LA ROBÓTICA DE AGARRE

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. 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 muestra un estudio comparativo del sistema sensorial humano y de su aplicación a un sistema de agarre robot, mediante las diferentes tipos de sensores artificiales y su respuesta a diversos estímulos externos. Se muestra una solución a partir de superficies táctiles artificiales, formadas por sensores piezorresistivos.

1 INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo, muchas han sido las soluciones planteadas para dotar a los sistemas robot de capacidad para medir sensaciones de presión, fuerza, vibración, deslizamiento, posición, etc, siendo ésta una asignatura todavía pendiente. Un dispositivo sensor que permita medir todos estos efectos de una forma eficaz, será aquél que emule, en mayor medida, el comportamiento del sistema receptor táctil humano.

El sistema humano, dispone de una serie de mecanismos nerviosos que se encargan de recoger la información sensorial generada en los diferentes receptores del cuerpo. Estos mecanismos denominados *sentidos somáticos*, son capaces de detectar y estimar, entre otras, las sensaciones táctiles y de posición en el tejido corporal.

Este artículo analiza los tipos de receptores táctiles presentes en el cuerpo humano, sus propiedades y su respuesta frente a diferentes tipos de estímulo.

Esto permite establecer una comparación con los sensores de fuerza empleados en determinados campos de la robótica de agarre y manipulación, avanzando hacia diseños de sensores integrados artificiales que emulen el comportamiento del sistema sensorial humano.

2 FISIOLÓGIA DE LOS SENTIDOS

Cada parte del cuerpo humano, está representada internamente en el cerebro, proporcionalmente a su importancia en la percepción sensorial. Los sentidos somáticos del sistema humano, se pueden encuadrar en tres grandes grupos:

- *Sentidos Mecanorreceptores:* Incluyen las sensaciones Táctiles (Tacto, Presión, Vibración) y de Posición: Estática, de Movimiento.
- *Sentidos Termorreceptores:* Incluyen las sensaciones de Frío y Calor.
- *Sentidos del Dolor:* Incluyen las sensaciones que dañen los tejidos del cuerpo.

En este artículo, se estudian los mecanorreceptores, por su inmediata aplicación al campo de la robótica de agarre. Estas tres sensaciones táctiles tienen su origen en tres tipos de estímulos diferentes:

Tacto: Se debe al estímulo de los receptores táctiles en la piel o tejido situado inmediatamente debajo de ella

Presión: Es el resultado de la deformación de los tejidos más profundos.

Vibración: Se debe a estímulos que se repiten con rapidez.

Gracias a este complejo sistema neuronal, se puede llegar a determinar de forma discriminada cualquier sensación somática. Algunas de las consecuencias de este efecto discriminatorio son:

- Determinadas zonas de la piel son más sensibles que otras.
- Es posible localizar un estímulo táctil en una determinada zona de la piel.
- El sistema receptor humano es más sensible a las bajas frecuencias de un estímulo vibratorio.
- La sensibilidad al tacto es la capacidad para discriminar dos puntos próximos. Goodwin, en [6], presenta unos resultados experimentales que establecen una resolución de 1,2 a 2,4 mm. entre los centros de las celdas sensitivas más elementales de la piel.
- Es posible diferenciar curvaturas de objetos en función del tacto. En [9], H. Liu concluye en que el sistema humano es capaz de discriminar, p.e., dos esferas cuyos radios de curvatura se diferencien en un 10%.

3 CARACTERIZACIÓN DE LAS SENSACIONES TÁCTILES

La capacidad del sistema humano para la recepción de las diferentes sensaciones táctiles, se debe a la existencia de unos 17.000 mecanorreceptores, clasificados en hasta 6 grupos de receptores táctiles, dependiendo del tipo de piel considerado. Esta clasificación se realiza en función de su ubicación en los distintos tejidos de la piel y los diferentes corpúsculos sensitivos que lo componen. Muchos estudios han caracterizado estos grupos de receptores táctiles y su comportamiento biológico.

En [9] se describen estos grupos, para su aplicación a la robótica de agarre, utilizando sensores artificiales en los dedos de una mano robot.

Existe una diferencia entre la respuesta al estímulo en zonas de *piel glabra* -sin vello- (recepción activa) y las zonas con vello (recepción pasiva). La piel glabra, es el órgano que realiza la exploración táctil en el sistema humano. La piel con vello tiene una respuesta más pasiva a la recepción.

En este artículo, se analizan las propiedades de la recepción en piel glabra, por su inmediata aplicación a la robótica. La *Figura 1*, muestra una los mecanorreceptores en piel glabra.

Los receptores de *Meissner* junto con los de *Merkel*, realizan una función muy importante de localización de tacto en zonas superficiales de algunas partes del cuerpo, así como la textura. Existen receptores de *Adaptación Lenta* que tienen una respuesta continua a un estímulo persistente.

Los de *Adaptación Rápida* responden al impulso de inicio y de terminación del estímulo (30 a 70 m/s excepto las terminaciones nerviosas, con rango de 5 a 30 m/s).

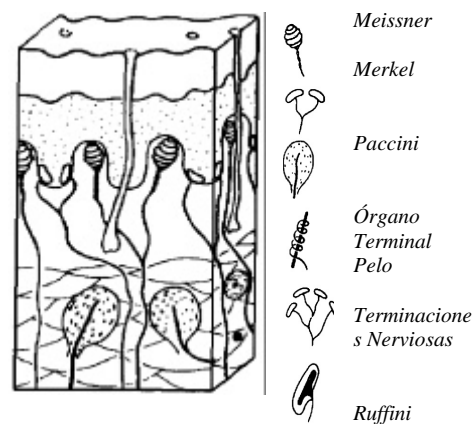


Figura 1 : Sección de piel glabra

Todos estos corpúsculos receptivos pueden encontrarse fácilmente referenciados en diferentes artículos con las siglas FA ó RA (Fast-adapting) y SA (Slow-adapting) de la siguiente forma: **FAI:** Meissner; **FAII:** Paccini; **SAI:** Merkel; **SAII:** Ruffini. El índice 'I' hace referencia a estímulos de zonas muy bien definidas y 'II' a zonas con fronteras difíciles de delimitar. V.G.Macefield, muestra en [10] diferentes comportamientos de señales de tacto para cada uno de estos mecanorreceptores

4 RECEPTORES TÁCTILES ARTIFICIALES

El estudio fisiológico del comportamiento de los mecanorreceptores del sistema humano, ha permitido identificar y separar las diferentes sensaciones y su respuesta a los estímulos externos. En el campo de la robótica muchas son las aplicaciones que precisan de un sistema sensorial integrado en diferentes partes del conjunto de un robot: agarre grueso, ensamblaje, agarre localizado, guiado entre obstáculos, etc.

Estos sistemas necesitan de una realimentación de los estímulos detectados. La tendencia ha sido la de compensar las deficiencias de medida en tiempo real de los sensores táctiles mediante el empleo de sistemas externos de visión. Esta solución, si bien en determinadas aplicaciones ha producido buenos resultados, implica un aumento de los sistemas electrónicos, y de control, que en muchos casos resulta inviable para la tarea que se quiere realizar.

En este artículo se pretenden establecer de una forma concreta las necesidades receptoras de los sistemas robot en tareas de agarre y manipulación

mediante el uso de receptores táctiles artificiales integrados en la superficie del robot, partiendo del comportamiento biológico del sistema humano.

4.1 CLASIFICACIÓN.

Los sensores pueden ser clasificados en función de diferentes parámetros. Nicholls muestra en [11] una revisión de diferentes tecnologías de fabricación de transductores táctiles. Los parámetros que determinan los distintos comportamientos de los sensores pueden ser:

- Físico (piezoeléctrico, piezorresistivo...)
- Fenómeno que miden. (tacto, velocidad, fuerza, posición, temperatura, etc.)

En tareas de agarre robot, las sensaciones a medir son, fundamentalmente: **Fuerza, Tacto, Contacto, Deslizamiento y Posición.**

Según el comportamiento físico, los sensores táctiles artificiales se pueden clasificar en: Sensores *Piezoeléctricos, Capacitivos, Resistivos, Celdas de Carga, Galgas Extensiométricas, De Efecto Magnético, Acelerómetros, Biopotenciales, Sensores Basados en Análisis de Color, etc.*

Tabla 1: Sensores Biológicos y Artificiales

Estímulo y Características	Sensor Biológico	Sensor Artificial
Fuerza: Medida de presión aplicada por una zona del dispositivo de agarre. Puede ser medida con algún dispositivo externo al robot.	Terminac. Nerviosas, Merkel, Ruffini, Paccini	Galgas, Piezo eléctricos, Celdas de Carga
Tacto: Medida continua de las fuerzas ejercidas en un array. Proporciona información muy difusa sobre el contacto.	Terminac. nerviosas, Merkel, Ruffini	Resistivos, Capacitivos
Contacto: Medida de simples contactos, debida a las fuerza ejercidas en pocos puntos de la superficie. Permite determinar la distribución de las fuerzas de contacto e identificar características del objeto.	Meissner, Órgano terminal del pelo, Paccini	Resistivos, Capacitivos, Magneto-resistor
Deslizamiento: Medida de la mínima fuerza que hay que ejercer para agarrar un objeto produciendo la suficiente fricción para detenerlo entre las superficies de contacto.	Meissner, Órgano terminal del pelo	Acelerómetros, Micrófonos, Rodadores
Posición: Medida de la situación de los puntos más característicos del objeto en las superficies táctiles	Meissner, Merkel	Resistivos, Capacitivos, Ópticos

En [11] se presenta un cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de los principales métodos de transducción (Resistivos, Capacitivos, Piezoeléctricos, Magnéticos, Mecánicos y Ópticos).

La *Tabla 1*, muestra un resumen comparativo de posibles equivalencias entre los sensores biológicos expuestos anteriormente y los sensores artificiales para el conjunto de lo que se han denominado “*sensaciones táctiles*”.

4.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES ARTIFICIALES

La necesidad de determinar, no sólo la fuerza, sino también las posición de contacto del objeto con la superficie del sensor, obliga a centrar el estudio en las características estáticas, dinámicas y de dimensionamiento de un Array de sensores, i.e, un dispositivo sensorial formado por un número, elevado de celdas de forma que los contactos de salida del mismo permitan obtener la posición de los contactos y sus intensidades de presión.

Los sensores, se puede definir en cuanto a sus características estáticas (describen la actuación del sensor en régimen permanente o con cambios lentos del estímulo) y dinámicas (en régimen transitorio):

Características estáticas:

- *Campo:* Rango de valores de entrada.
- *Resolución:* Es el cociente entre la longitud de una arista y el número de sensores en ella.
- *Precisión:* Desviación máxima entre valor real y teórico.
- *Repetibilidad:* Desviación máxima entre valores de salida al medir una misma entrada.
- *Alinealidad:* Máxima desviación entre la respuesta real y la lineal.
- *Sensibilidad:* Variación de salida por unidad de magnitud de entrada.
- *Ruido:* Desviación de la salida por el efecto del ruido asociado al sensor.
- *Histéresis:* Variación del crecimiento o disminución progresiva de la medida.

Características Dinámicas:

- Velocidad de respuesta.
- Respuesta frecuencial.
- Estabilidad y derivas.

5 LOS SENSORES RESISTIVOS. CARACTERÍSTICAS DE ELECCIÓN

Debido a las aplicaciones en las que se pretende realizar una implementación de estos sensores de fuerza, se considerarán, únicamente, los sensores Piezorresistivos, por los motivos que se exponen en este apartado.

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES RESISTIVOS

- ↪ Bajo costo.
- ↪ Diseño antropomórfico, adaptándose a cualquier diseño de dispositivos de agarre.
- ↪ El diseño electrónico de adquisición para cada sensor es muy sencillo.
- ↪ Rangos de medida variables desde 0 psi hasta 500 psi. (Nota: 15 psi=1Kg.)
- ↪ Posibilidad de Combinación.

5.2 APLICACIONES A LA ROBÓTICA DE AGARRE CON SENSORES RESISTIVOS

Debido a las características de coste/unidad y de diseño a medida, los sensores de fuerza resistivos se utilizan en un elevado número de aplicaciones que requieren un control de fuerza, cuando el requisito de la precisión no es importante.

David Beebe [1] diseñó un sensor táctil con aplicaciones a la estimulación neuromuscular (FNS) basado en una estructura de un diafragma de silicona con implantaciones piezorresistivas. La fuerza aplicada se distribuye a través del diafragma mediante una semiesfera sólida, deformando el diafragma y produciendo un aumento del voltaje de salida proporcional a la fuerza aplicada.

Existe una tendencia a combinar diferentes tipos de sensores, formando así un sensor integrado de aplicación en tareas de precisión. Jockusch [8] emplea un sensor simple FSR para mediar la fuerza ejercida al que se le ha acoplado un sensor de tipo piezoeléctrico PVF para detectar el efecto del deslizamiento en aplicaciones de agarre con una mano robot (TUM, Munich).

Es posible dotar a un sensor resistivo de un tercer contacto a modo de potenciómetro, pudiendo determinar la posición de contacto con el objeto, en función de la la variación de la resistencia longitudinal a lo largo de un eje.

Jockusch [8] propone esta solución para medidas de posición en una sola dirección mientras que H. Liu [9] calcula la posición en un array 2D aplicado a una mano robot de 3 dedos (DLR, Germany), utilizando 2 sensores FRS rectangulares, de tres contactos, combinados (XYZ pad sensor) de forma que ambos queden en posición perpendicular.

Dadas las condiciones de salida de ambos sensores, este modelo sólo es válido para objetos con puntos de contacto únicos. Además en [9] se puede encontrar un cuadro comparativo entre un XYZ pad y un array de 16 x 16 sensores y con las mismas dimensiones.

En ambos casos [8] y [9] , se han elegido estos sensores por los siguientes motivos: *Capacidad de medir magnitudes de fuerza y aproximar el punto de contacto; de poco peso para no alterar el control de la mano; Razonable resolución espacial (1-2 mm); Baja histéresis; Buen rango de valores de entrada ; Linealidad en la respuesta; Bajo consumo de potencia; Modularidad.*

Una característica de los sensores resistivos es su facilidad de configurarse en array de celdas simples uniformemente distribuidas.

Una implementación de array de sensores FSR, se puede encontrar en el estudio de Castro [3], formado por una matriz de 16x16 sensores FSR, con una resolución espacial de 1,54 mm y un área activa de 6,25 mm², aplicado a tareas de agarre con una pinza robot sencilla.

La facilidad de adquisición de los arrays resistivos FSR permiten, si el número de sensores es elevado, procesar la información mediante algoritmos de procesamiento de imagen. Cutkosky [5] describe un microsensor táctil resistivo de fabricación propia, construido con una estructura de dióxido de Silicio con incrustaciones de silicios policristalinos piezorresistivos.

En otro estudio realizado por Castro [4], se determinan los contornos producidos por las distribuciones de fuerzas en cada placa de sensores, pudiendo determinar, así, centroides del objeto.

Es difícil encontrar, actualmente, estudios que, implementen sensores resistivos, en aplicaciones a la manipulación y agarre en manos robóticas, que procesen la información táctil en *tiempo real* y que establezca una realimentación del sistema en función de la posición del objeto, las zonas de contacto, los umbrales de fuerza y sus características geométricas.

6 CUBIERTAS ELÁSTICAS EN FSR

La implementación de sensores resistivos en los sistemas robot de agarre empezaron a utilizarse a finales de los años 80. En 1988, T.H. Speeter, presentaba en [12] resultados de distribuciones de fuerza obtenidas por sensores resistivos FSR implementados en los cuatro dedos de la mano robot Utah/MIT. En este artículo se muestran las características positivas de este tipo de sensores, tal y como se han descrito en este apartado.

No obstante, se observó un efecto negativo de bastante importancia en tareas de agarre de precisión: ausencia de “conformidad” (capacidad del sensor de adquirir la forma del objeto agarrado), lo que se traduce en un cierto efecto de “rigidez”. Debido a que el sensor no es perfectamente plano y puesto que la mayoría de los objetos tampoco lo son, la medida del peso de un objeto sobre el array produce una distribución de pesos discreta sobre superficies de contacto grandes.

En [9] se adopta una solución para dotar al sensor resistivo de la capacidad de medir en lo que denomina “puntos ciegos: *recubrir el área active del sensor con láminas elásticas*”. Éste efecto es, principalmente, importante en los dispositivos robot de agarre que imitan la mano humana debido a la escasez de superficies de contacto planas.

Por los motivos que a continuación se detallan los sensores resistivos suelen colocarse encima de unas láminas de un material elástico. Finalmente, la estructura así formada se cubre, nuevamente, con unas gomas de unas determinadas características de grosor y elasticidad.

En la configuración de una estructura de sensores en una placa para una superficie de agarre, es importante acondicionar el diseño físico de los sensores sobre la misma, por diferentes motivos. Así, el conjunto de capas presentes en cada una de las piezas de agarre de una pinza robot son los que se muestran en la *Figura 2*.

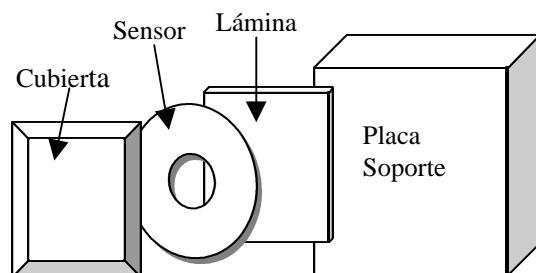


Figura 2: Elementos de una placa sensora -

a) Placa soporte:

Debe ser una pieza lisa y de gran rigidez, de material sólido y poco pesado (Aluminio, Plástico duro...), con forma plana o ligeramente curvada para que se pueda acoplar una lámina de sensores sin que éstos se dañen.

b) Lámina elástica pre-sensora:

Esta lámina debe tener una superficie completamente lisa por ambas caras, un espesor mínimo y estar fabricada de un material elástico, muy flexible y ligero. Su efecto, es el de evitar que los sensores que sobre ella se depositen se rompan cuando sobre ellos se aplica una fuerza puntual, produciéndose un amortiguamiento de la presión y evitando un contacto directo del sensor sobre la placa rígida y una ruptura de los contactos resistivos.

c) Sensores de Fuerza:

Sobre la capa pre-sensora, se sitúan los sensores de fuerza, en nuestro caso, resistivos mediante algún tipo de adhesivo de grosor despreciable. Éstos deberán colocarse de forma que sus áreas activas no se solapen. Los contactos de salida se recogerán detrás de la placa soporte, donde se integrarán en un circuito electrónico de acondicionamiento de las señales para su envío a la tarjeta de adquisición de datos.

d) Cubierta elástica:

Se sitúa inmediatamente después de los sensores. Debe ser de un material elástico, similar a la lámina pre-sensora pero con la diferencia de que la cara externa puede ser de un material liso o rugoso en función de la aplicación a que se destine. Este elemento es fundamental para este tipo de sensores de naturaleza piezorresistiva, por los motivos que se justifican a continuación:

1. La fuerza aplicada puntualmente en una posición determinada de la superficie activa del sensor implica un aumento muy grande de la relación Fuerza/Superficie, para alcanzar un umbral de fuerza fijado para la fase de agarre. Esto puede provocar un deterioro del sensor. La cubierta elástica, permite una distribución de la fuerza puntual, a lo largo de toda la superficie del array, con una determinada función de distribución dependiente de las características del sensor y de esta cubierta.
2. Cuando se emplean los sensores en tareas de agarre de un objeto con una pinza robot (de dos o más soportes), el control del sistema, determinará la posición de cada una de las placas en función de un umbral establecido, dependiente de las fuerzas de carga y de fricción presentes en el agarre.

Cuando se trata de un objeto rígido y frágil (cristal, plástico, ...) cualquier desviación mínima en el posicionamiento de la pinza producirá la ruptura del objeto. La cubierta elástica introduce un margen de flexibilidad en el control de la posición, que variará en función del grosor y coeficiente de elasticidad de la misma y, en menor grado, de la lámina pre-sensora, evitando la ruptura del objeto para pequeñas desviaciones en el control del agarre.

3. Especialmente conflictivos son los puntos que delimitan la superficie de cada sensor simple y de la estructura final del array. En estos casos, surgirán situaciones de agarre que darán lugar a contactos no medidos (puntos del borde de las áreas activas y espacios vacíos entre las celdas). El efecto de la cubierta, es el de extender el contacto en un punto a celdas vecinas. Aún más importante es el efecto sobre los puntos pertenecientes al límite de la placa soporte. Un contacto en estos puntos es transmitido distribuidamente a celdas del interior del array, salvando las impropiedades de los bordes.
4. Para el control del efecto de deslizamiento de un objeto, es necesario estimar las fuerzas de fricción presentes en el contacto objeto-superficie. Con el fin de que el objeto no deslice hasta que no se supere un determinado valor de fuerza de fricción, se emplean cubiertas con una cierta rugosidad al tacto, que permita evitar un deslizamiento del objeto y, por tanto, un mayor control en la manipulación del mismo.

Por otro lado, este tipo de cubiertas elásticas, presenta algunos inconvenientes que se evitan mediante técnicas de calibración, delimitación de restricciones, compensaciones dinámicas y control neuronal. Algunos de estos inconvenientes son:

1. Cambio en las características de respuesta del sensor en referencia a los valores máximo y mínimo de los umbrales de fuerza.
2. Efecto de Filtrado.
3. Aumento del transitorio de la señal.
4. Desviaciones en medidas de *repetitividad*.

7 UMBRALES DE FUERZA

Uno de los factores, además del tipo de sensor elegido, que más importancia tiene en el agarre de un objeto con un dispositivo robot es el tipo de contacto. Bicchi, Salysbury y Brock definen en [2]

tres tipos fundamentales de contacto en función de la fuerza a aplicar necesaria para el agarre:

1. *Contacto sin fricción.*
2. *Contacto con Fricción.*
3. *Contacto con superficies blandas.*

Evidentemente, el caso 3 es el más común en la robótica de agarre y, sobre todo de manipulación, siendo los tipos 1 y 2 un caso particular de éste. Es el tipo de contacto que utiliza el sistema humano.

Por lo expuesto anteriormente, el efecto de las cubiertas elásticas en los sensores táctiles permiten establecer un contacto con un coeficiente de fricción dependiente de las propiedades del material elástico y, además, un contacto “blando” entre el objeto y la superficie sensora.

En este tipo de contacto, puesto que existe una conformidad entre la superficie y el objeto, la distribución de fuerza obtenida debe ser definida y representada por algún tipo de parámetro. Uno muy utilizado suele ser el centroide de la superficie de contacto, es decir, el centro de fuerzas obtenido de la siguiente forma:

$$Centroide_x = \frac{\sum_i^n f_{sr}(i) \cdot x(i)}{\sum_i^n f_{sr}(i)}$$

$$Centroide_y = \frac{\sum_i^n f_{sr}(i) \cdot y(i)}{\sum_i^n f_{sr}(i)}$$

siendo:

n: número de celdas sensoras elementales de la superficie del dispositivo robot.

f_{sr}(i): Fuerza medida en la celda i.

x(i): Coordenada de abcisas del sensor i.

y(i): Coordenada de ordenadas del sensor i.

Una vez definido el tipo de contacto y un parámetro que defina el punto dónde se puede considerar aplicada la fuerza normal de agarre, se puede calcular el umbral de fuerza necesario para conseguir agarrar un objeto con la fuerza suficiente para que la resultante de las fuerzas del sistema sea próximo a cero, es decir:

$Peso\ del\ Cuerpo = Fuerzas\ de\ Fricción + Margen\ de\ Carga$

Si el umbral estimado es inferior al teórico, el manipulador robot no será capaz de levantar el objeto. Si, por el contrario, es superior, se producirá la ruptura del objeto (si éste no es lo suficientemente rígido) o del dispositivo robot de agarre.

El margen de carga se fijará en función del movimiento que se pretenda realizar con el objeto agarrado en la posterior fase de manipulación, tal y como se muestra en la *Figura 3*:

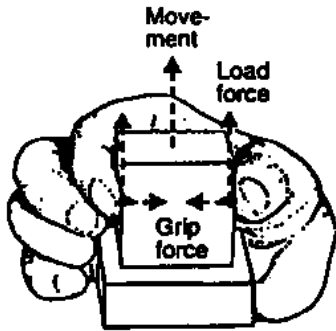


Figura 3: Fuerzas presentes en el Agarre

El umbral de fuerza se puede determinar de dos formas diferentes:

1. **Determinación del Umbral en Lazo Abierto:** Puesto que el coeficiente de fricción debido a las cubiertas elásticas se conoce a priori, mediante la relación de fuerzas planteada anteriormente puede estimarse el umbral, siempre y cuando se conozca la masa del objeto y la rugosidad de su superficie. Lógicamente este método se emplea únicamente en procesos automatizados dónde todas las fuerzas son invariables y conocidas a priori.
2. **Determinación del Umbral mediante Realimentación:** Éste es el procedimiento empleado en procesos no automatizados o en aquellos que por desgaste de las superficies sensoras o deformaciones esporádicas del objeto, precisen de un control en tiempo real de la fuerza de agarre. Se trata de un control en lazo cerrado y tiempo real que controla la dirección de deslizamiento del objeto entre las superficies táctiles. Precisa de sensores con muy poca histéresis y rapidez de respuesta.

En [7], Howe y cc. presentan los parámetros que describen una tarea de manipulación para cada fase de agarre (pre-contacto, carga, manipulación, descarga, post-contacto) y los eventos que suceden en las transiciones entre cada una de esas fases.

8 RESULTADOS

Para comprobar el comportamiento de los sensores resisitivos presentados en este estudio, así como su capacidad de respuesta ante una presión ejercida mediante el contacto con diferentes objetos, se han realizado una serie de experimentos con ayuda de dos arrays de sensores de fuerza FSR implementados sobre dos superficies metálicas y montadas en un dispositivo robot de agarre de dos placas paralelas. Las características de los sensores empleados y su respuesta a la presión ejercida se muestran en la *Figura 4* y *Figura 5*.

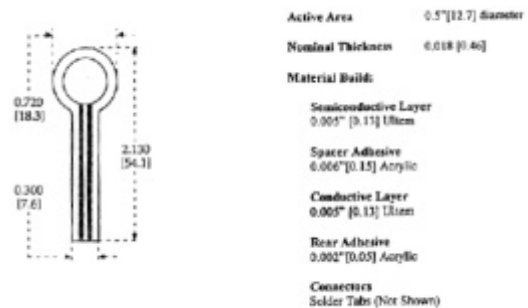


Figura 4: Características del sensor FSR

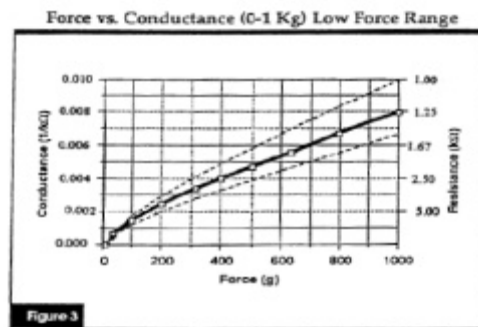


Figura 5: Características del sensor FSR

En primer lugar, se ha estudiado el efecto de las cubiertas elásticas en los sensores FSR con la plataforma descrita.

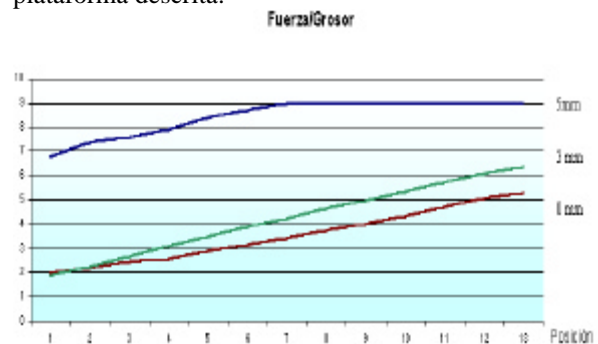


Figura 6: Respuesta de un sensor FSR para diferentes grosores de cubiertas

Así, se ha medido la respuesta de uno de los sensores, con cubiertas de diferentes grosores cuando se agarra un objeto rígido, centrado en el soporte, para diferentes Los resultados obtenidos han ido los de la *Figura 6*.

Como se puede observar, el efecto de las gomas produce un aumento de la presión detectada, debido a que, el efecto del grosor de las gomas para una misma posición implica un contacto anterior del objeto. Es importante, también, comprobar que las respuestas en función del grosor de las gomas para una misma posición tienen un incremento no lineal.

Según las medidas realizadas para un sensor simple resistivo, se pueden añadir cuatro observaciones:

1. Las gomas elevan el transitorio de la respuesta de salida.
2. Cuanto mayor es el área activa del sensor, menor es su precisión y estabilidad.
3. Cuanto más blanda es la cubierta elástica, peor es la repetitividad del resultado.

Por último, se han obtenido resultados del comportamiento del array de sensores implementado. Este array ha sido diseñado como una matriz de 9 sensores dispuestos en 3 filas y 3 columnas. En la *Figura 7* se presentan los mapas de distribución de fuerza en función de un umbral prefijado, así como las coordenadas de los centroides de la superficie de contacto.

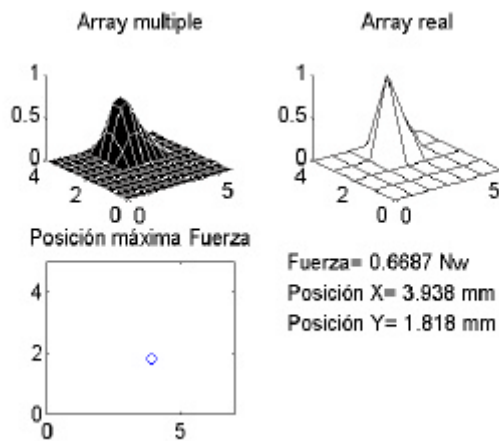


Figura 7 – Distribución de Fuerza en el Array

Para determinar el centroide de una forma más eficaz, se ha realizado una interpolación (“*Array múltiple*”) mediante una función bilineal de la curva obtenida por el array diseñado (“*Array real*”);

9 CONCLUSIONES

La necesidad de controlar magnitudes tales como la fuerza, posición o deslizamiento en infinidad de aplicaciones robóticas tanto en el terreno industrial como doméstico implica que, además de los dispositivos de agarre, se deben diseñar, implementar y acoplar transductores que permitan medir estos estímulos externos y transformarlos en parámetros eléctricos fácilmente entendibles por los distintos dispositivos electrónicos.

La elección de un sensor adecuado, así como el diseño de nuevos modelos, es una tarea aún inacabada. Evidentemente el modelo ideal debe ser aquél cuyo comportamiento sea más próximo a del modelo somático humano.

En este estudio se ha realizado un análisis de las principales características de los sensores biológicos y una comparación con los actuales sensores táctiles artificiales aplicados a la manipulación mediante robótica antropomórfica.

Se han definido las principales características de los estímulos sensoriales y las principales tecnologías existentes, así como los diferentes tipos de contacto.

Finalmente, se ha estudiado el comportamiento de un tipo de sensores muy utilizado en robótica antropomórfica, presentando algunas curvas de resultados de Fuerza y Posición.

Referencias

- [1] Beebe, D. “A Silicon-Based Tactile Sensor for Finger-Mounted Applications”. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Vol 45, Nº 2, February 1998.
- [2] Bicchi A., Salisbury, Brock, “Contact Sensing from Force Measurements”. The Int. J. of Robotics Research, Vol 12, nº 3, pp. 249-262, 1993.
- [3] Castro D., Marques, Nunes y Almeida. “Tactile Force Control Feedback in a Parallel Jaw Gripper”. In *Proc. IEEE International Symposium on Industrial Electronics ISIE'97*, Guimarães, 1997.
- [4] Castro, Marqués, Nunes y Almeida. “Prensao com Recurso a Informacao de Tacto e de Proximidade para Tarefas de Manuseamento com Incerteza Posicional”. In *Proc. 4as Jornadas Luso-Espanholas de Engenharia Electrotécnica*, pp.1585-1592, Porto, 1995.

- [5] Cutkosky M.R. and Hyde J.M., "Tactile Sensing and Information for man and Machine systems". ONR Annual Review 1994.
- [6] Goodwin, A.W. "Extracting Object Shape from Nerve Fiber Responses". Neural Aspects of Tactile Sensation. J.W. Moeley (Editor), 1998 Elsevier Science B.V. pp 55-87.
- [7] Howe R.D., Popp N., Akella, Kao and Cutkosky. "Grasping, manipulation and control with tactile sensing". Proceedings of the 1990 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1258-1263, Cincinnati, Ohio, May 1990.
- [8] Jockusch J., Walter J., Ritter H.. "A Tactile Sensor System for a Three-Fingered Robot Manipulation". Proc. Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA) IEEE, 1997.
- [9] Liu H., Meusel, and Hirzinger, "A tactile sensing system for the DLR Three-Finger Robot Hand". ISMCR, 1995, pp 91-96
- [10] Macefield V.G., "The Signalling of Touch, Finger Movements and Manipulation Forces by Mechanoreceptors in Human Skin". Neural Aspects of Tactile Sensation. J.W. Moeley (Edit), 1998 Elsevier Science B.V. pp 89-130.
- [11] Nicholls H., Lee, M.. "A Survey of Robot Tactile Sensing Technology". IJRR, Vol 8, n° 3, pp. 3-30, 1989.
- [12] Speeter T.H. "Flexible piezoresistive Touch sensing array". In proc. SPIE Optics, Illumination, and image sensing for Machine Vision III, Vol, 1005, pp.31-43, 1988.