

## INVESTIGACIÓN

**APREHENSION ESTABLE CON UNA MANO ROBOTICA  
USANDO INFORMACIÓN VISUAL**Pablo Eduardo Caicedo Rodríguez<sup>1</sup><sup>1</sup>Grupo Investigación Nanoelectrónica y Automatización. GRINAU. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Recibido: 30 de Mayo de 2010; Revisado: 28 de Junio de 2010; Aceptado: 7 de Julio de 2010

**Resumen**— La tarea de tomar un objeto para un humano, es tan trivial que la mayoría de veces pasa desapercibida la complejidad del procesamiento que involucra. Es tan sencillo tomar un vaso que lo podemos realizar hasta sin ver. Esta sencilla tarea se convierte en un gran desafío si ya no es una persona quien toma el objeto sino una máquina, pues esta tiene que calcular de donde agarrar el objeto, cuanta fuerza aplicar, etc, para que no se deslice.

El problema fundamental en este proyecto es identificar los puntos de aprehensión de algunos objetos para un agarre tipo pinza. La identificación es posible gracias al uso del análisis de imágenes, que entrega la información del objeto desconocido.

Es necesario hacer una captura de la escena tan clara que la máquina no tenga la menor duda de la imagen, después se debe diferenciar las diferentes partes de la escena como objetos y fondo, posteriormente debe seleccionar uno de los posibles cuerpos en la escena y por último establecer que puntos son los más apropiados para la tarea de agarre.

Este proyecto está enmarcado en el proyecto “Prótesis robótica de mano” que fue propuesto por el grupo de investigación en Automática Industrial de la Universidad del Cauca.

*Palabras Clave:* *Aprehensión, Aprehensión estable, dos dedos, aprehensión robótica*

**Abstract**— For a human, the task of taking an object is so trivial that most times, the complexity of its processing is overlooked. It is so easy to take a glass that we can do it blindly. This simple task becomes a major task if the object is taken by a machine because it needs to calculate where the grasp is done, how much force is applied, etc.

This project main problem is the emulation of the human hand prehensile behavior in a robotic prosthesis.

The making of this emulation needs the determination of the stable grasping point of the unknown object. This determination is done through the use of artificial vision techniques, which delivers the unknown object's information.

In order to do the determination, the machine must make a clear capture of the 3D scene, this is done in order to the prosthesis is not confused, then it should differentiate the scene component such as objects or background, then it should make a selection of the scene's possible objects, at last it should locate de stable grasping point in that target object.

This project is part of the Automatic Industrial investigation group's project “Prótesis robótica de mano” at Cauca's University

*Keywords:* *Grasp, satable grasp, two-fingered, robotic grasp*

## I. INTRODUCCIÓN

En todos los quehaceres del ser humano, siempre existen actividades en las cuales se involucran sus manos [1]. Con pequeñas excepciones que confirman la regla, el humano depende en gran medida del uso de sus manos y gracias a ese uso es que se diferencia de los animales [1]. Se puede imaginar que sería de la raza humana si esta no pudiera interactuar con el entorno a través de las manos? Como sería de difícil el mundo si no tuviéramos las manos?

## II. DEFINICIONES

Aprehender o agarrar se define como: “Asir o coger fuertemente con la mano”. Según [1], agarre es asir, sostener por medio de cierres o abarcamientos con los dedos o con los brazos o con cualquier otra extremidad. En términos más precisos se dice que un agarre o aprehensión es la aplicación de fuerzas efectivas y funcionales, a través de la mano, a un objeto para realizar una tarea, dadas un número determinado de restricciones [1].

En la Fig. 1 se puede observar el problema de la aprehensión (artificial o natural) desde el punto de vista sistémico. La entrada al sistema son el objeto y la tarea a llevar a cabo, en tanto que la salida es un comportamiento prensil determinado [1]. El comportamiento prensil se mide por medio de las posturas y fuerzas a través del tiempo y difiere según las características del objeto y la tarea.

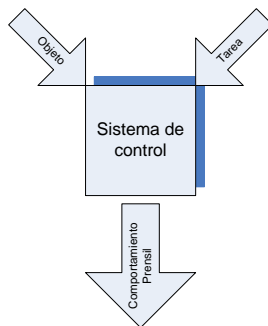


Fig. 1. El problema de la aprehensión. Fuente [1]

Los sistemas prensiles, tienen tres funciones específicas que realizar [1]:

1. Aplicar las fuerzas necesarias para contrarrestar las fuerzas anticipadas que actuaran sobre el objeto durante la realización de la tarea
2. Dar movimiento al objeto (trasladar o manipular del objeto).
3. Recolectar la información sensorial, sobre el estado de la interacción entre el objeto y el manipulador durante la realización de la tarea para asegurar la estabilidad del agarre.

Otros conceptos de relevancia para el agarre son cerradura por fuerza y cerradura por forma. Según [2] y

[3] cerradura por fuerza se realiza cuando el agarre ejerce fuerzas y torques para contrarrestar cualquier perturbación externa al objeto. Cerradura por forma es cuando el agarre inmoviliza por completo el objeto por medio de un conjunto de puntos de contacto.

## III. CLASIFICACIÓN

Existen muy diversas formas de clasificar los agarres, según múltiples características. Por ejemplo se puede dividir según la forma en que se realiza: agarre por cerradura de forma, donde la inmovilidad es garantizada por medio de la posición de los dedos y agarre por cerradura de fuerza donde la inmovilidad es asegurada por la fuerza ejercida por los dedos la cual cancela las fuerzas y los torques externos.[4][5]. Otra característica utilizada para la clasificación, es si se conoce o no el objeto a inmovilizar. Conocer el objeto implica conocer sus características físicas ya sea por algoritmos de cálculo rígido o algoritmos heurísticos [6]. Las clasificaciones más comunes en cuanto al agarre se refiere son las de Schlesinger, Napier y Cutkosky.

### A. Clasificación de Schlesinger

Esta clasificación fue desarrollada en 1919 para capturar la versatilidad de las manos humanas para el diseño de prótesis de manos para heridos de la primera guerra mundial [1]. El desarrollo de la clasificación fue realizada para describir el uso de herramientas y la forma de sujetar objetos simples [1].

La clasificación entrega seis tipos diferentes de agarre [1]:

1. Agarre cilíndrico: Función anillo, por ejemplo para una jarra de café o tomar una botella.
2. Agarre esférico: Para objetos esféricos tipo balones
3. Agarre palmar: Para objetos planos
4. Agarre tipo punta: Para objetos finos y pequeños como lápices
5. Agarre lateral: Para objetos delgados y planos como las hojas de papel.
6. Agarre gancho: Para objetos pesados como portafolios.

### B. Clasificación de Napier

El problema de la clasificación de Schlesinger es que no tiene en cuenta la tarea a realizar. Por ejemplo en la Figura 40 se observa la aprehensión de un lápiz, según Schlesinger existirían cuatro tipos de agarre pero no describiría como son utilizados (tarea) [1].

Al aparecer este problema, en 1956 Napier definió una nueva clasificación que depende de los requerimientos de las tareas a realizar. Los principales puntos en el desarrollo de la clasificación son[1]:

1. Existen varias influencias para la selección de las diferentes posturas de la aprehensión. Entre otros factores se puede encontrar: forma del objeto, tamaño, etc.
2. La aprehensión es la aplicación de fuerzas en determinada dirección. Los requerimientos de potencia se relacionan con la aplicación de fuerzas para la resistencia de fuerzas aleatorias que afectan al objeto a tomar. Los requerimientos de precisión implican el ajuste de la postura para el control del movimiento del objeto.
3. El cumplimiento de los requerimientos es realizado dentro de las capacidades de la mano humana.

Napier dividió los agarres en tres [1]: el agarre de potencia para sujetar herramientas pesadas y/o grandes, el agarre de precisión, para tomar herramientas pequeñas que requieran gran destreza y el agarre de martillo que es utilizado para herramientas grandes con gran cantidad de masa en su punta.

### C. Clasificación Cutkosky

En la década de los 80, Cutkosky y algunos colegas ampliaron la clasificación de Napier. Para ello usaron un conjunto de atributos de aprehensión entre ellos se encuentra la estabilidad el cual es la propiedad del agarre para resistir fuerzas sin deslizamientos [1]. Por ejemplo si se requiere hacer un agarre diestro de un objeto pequeño se debe realizar un agarre de precisión. Si se desea hacer un agarre estable de un objeto grande (como un martillo) se debe realizar un agarre de potencia prensil prismático de diámetro pequeño. Además Cutkosky y demás utilizaron también las propiedades de los objetos para hacer el refinamiento del agarre de forma similar a Schlesinger [1]. Por ejemplo es diferente aprehender una esfera pequeña que una esfera grande.

### IV. ASPECTOS BÁSICOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE APREHENSIÓN PARA UN AGARRE TIPO PINZA

Según Montana [7], los aspectos más importantes para la realización de un agarre son:

1. La geometría local del objeto
2. La geometría local de los dedos
3. La distancia entre los puntos de agarre
4. El material del que está hecho el dedo
5. La medida de la fuerza normal que realiza el dedo
6. La masa del objeto

Los tres primeros aspectos, la geometría del objeto, la geometría de los dedos y la distancia entre los puntos de aprehensión son los aspectos de mayor importancia de los seis, pues son ellos los que deciden si el agarre es estable o no. Los otros tres dan información del grado de estabilidad (o inestabilidad) del agarre [7].

Por ejemplo, si un agarre es inestable debido a la geometría del objeto entonces aumentar la fuerza normal del objeto lo único que hace es aumentar la inestabilidad de ese objeto.

Con estos aspectos en mente, para hacer una identificación de los puntos de aprehensión de un objeto. Para ello se asumirá que tanto la curvatura, el centro de masa y los ejes de inercia son conocidos.

### V. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE APREHENSIÓN PARA UN AGARRE CON DOS DEDOS

Según Morales [6], la estabilidad de un agarre se divide en dos: estabilidad de contacto y estabilidad de objeto. Estabilidad de contacto es todo aquello que envuelve la unión del dedo con el objeto (contacto). Estabilidad de objeto es el conjunto de fuerzas y torques necesario para contrarrestar las fuerzas externas y sus torques ejercidos, que afectan al objeto.

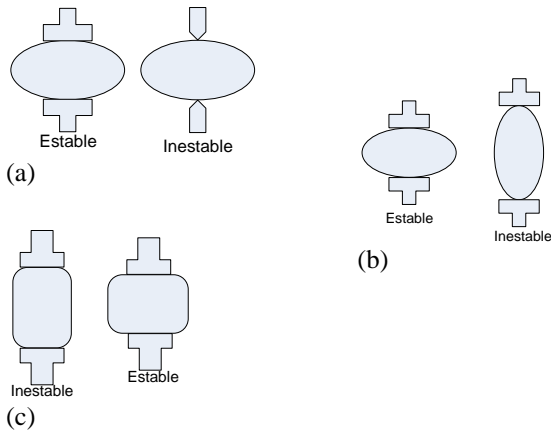


Fig. 2. Aspectos básicos del agarre con dos dedos. (a) Geometría de la mano. (b) Geometría del objeto. (c) Distancia entre los puntos de agarre. Adaptado de [7]

Para lograr estabilidad de contacto es indispensable pensar en el tipo de contacto que se piensa lograr. Es muy diferente si el tipo de contacto es con fricción o sin fricción. Los contactos sin fricción son más difíciles puesto que no pueden generar los torques necesarios para balancear las fuerzas perpendiculares al objeto como por ejemplo la gravedad. En cuanto a los contactos suave o con fricción permiten la fricción rotacional que hace que se puedan balancear los torques externos [6].

Entonces para un contacto suave, la condición no-deslizante es condición suficiente para lograr la estabilidad de contacto [6]. La condición no deslizante, proviene de la ley de Coulomb [8], “La fuerza de fricción tangencial durante un deslizamiento es directamente opuesta al movimiento, y la magnitud es proporcional a la fuerza normal”. La magnitud proporcional se conoce como coeficiente de fricción estática y depende de los materiales de los contactores.

Entonces un objeto no se desliza si:

$$\vec{f}^t \leq \mu \vec{f}^N \tag{1}$$

Haciendo un despeje sencillo tenemos que:

$$\arctan\left(\frac{\vec{f}^t}{\vec{f}^N}\right) \leq \arctan(\mu) \tag{2}$$

Esta ecuación geoméricamente hablando describe un cono, que se conoce como cono de fricción.

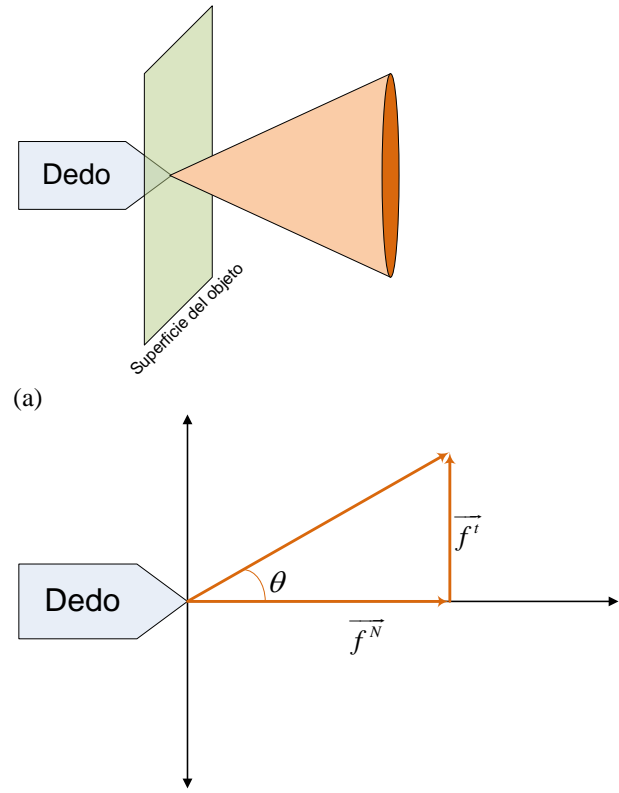


Fig. 3 Interpretación geométrica de la condición no-deslizante. (a) Tres dimensiones (b) Dos dimensiones. Adaptado de [6]

Ya se ha definido cual es la condición para lograr la estabilidad de contacto. Ahora para lograr una cerradura por fuerza, [6] define que la cerradura por fuerza con dos contactos con fricción se logra cuando la línea de agarre (línea que une los dos puntos de aprehensión) está dentro de los dos conos de fricción.

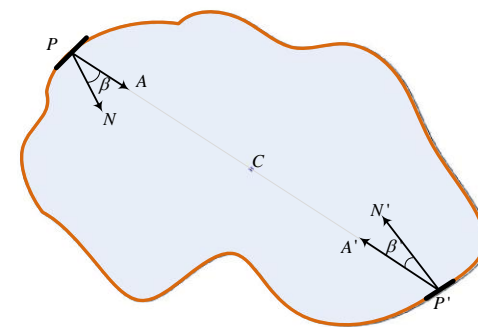


Fig. 4: Definición de cerradura por fuerza. Adaptado de [6]

En la Fig. 4 se puede observar la definición de cerradura por fuerza. En primer lugar los contactos P y P' tienen vectores normales N y N'. Los vectores A y A' son los vectores hacia cada uno de los contactos en el sentido de la línea de agarre. Los ángulos  $\beta$  y  $\beta'$  son los ángulos entre el vector normal y el vector antiparalelo respectivo. Entonces, la cerradura por fuerza se crea cuando se cumple la siguiente condición.

$$\begin{aligned} \beta &\leq \arctan(\mu) \\ \beta' &\leq \arctan(\mu) \end{aligned} \quad (4)$$

Según [2], citando a [9] plantea que minimizando la distancia al centro de masa desde los contactos aumenta la estabilidad.

## VI. APREHENSIÓN BASADA EN VISIÓN ARTIFICIAL

Con la reducción del costo en los sistemas de captura de imágenes, la visión artificial ha logrado un auge inesperado en los últimos años [10]. El motivo del uso de esta técnica es en principio que la información obtenida es de fácil entendimiento por programadores y usuarios del sistema. Aunque las técnicas de visión artificial son un sistema de sensado de bajo costo y que entrega gran cantidad de información presenta algunos inconvenientes como alto tiempo de procesamiento lo cual conlleva a retardos en la entrega de resultados [10].

La presencia de la visión artificial en la tarea de aprehensión es importante debido a que permite el fácil procesamiento de objetos desconocidos de cualquier tipo. El método que se propone en este trabajo se realiza de la siguiente forma [6]:

1. La primera tarea que se ha de realizar es capturar la geometría del objeto. Esta se realiza por medio del análisis de imágenes, se hace la captura de la escena y se hace una segmentación de los diferentes objetos y el fondo.
2. Cuando se ha segmentado completamente la imagen (se ha diferenciado que es fondo de imagen y cuáles son los objetos) se debe realizar un etiquetado de cada uno de los objetos con el fin de seleccionar cuáles de ellos van a ser el objetivo de los cálculos.

3. Con la selección del objetivo de cálculo, se procede hacer los cálculos de curvatura, de centro de masa, de ejes de inercia, etc, para inferir el comportamiento dinámico y estático del objetivo.

4. Con las características físicas del objeto se procede a identificar los puntos de aprehensión por medio de las leyes físicas pertinentes.

## VII. CONCLUSIONES

Mediante un cálculo geométrico con datos obtenidos a partir de las características obtenidas por una cámara de video tipo web cam es posible calcular los puntos donde un robot debe colocar su efector final. Entre las características que se deben tener en cuenta son aquellas que determinan la geometría del objeto y la geometría de los dedos. La condición no-deslizante es la piedra fundamental para la obtención de los puntos de aprehensión en un agarre con dos dedos.

## VIII. REFERENCIAS

- [1]. Mackenzie C.; Iberall T. "Advances in Psychology: The Grasping Hand". North Holland, Elsevier Science B.V., Holanda 1994.
- [2]. Niparnan, N. "Computation of Force Closure Grasps from Finite Contact Point Set". Tesis Doctoral. Universidad Chulalongkorn. Tailandia, Mayo 2006.
- [3]. Haidacher, S." Contact Point and Object Position from Force/Torque and Position Sensors for Grasps with a Dextrous Robotic Hand". Tesis doctoral. Universidad Tecnológica de Munich. Alemania 2004.
- [4]. J. Cornellà, R. Suárez. "Determining Independent Grasp Regions on 2D Discrete Objects". En 18th IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'2005, (ISBN 0-7803-8913-1), Edmonton, Alberta, Canada, August 2-6, 2005, pp.2936-2941.
- [5]. A. Bicchi. "On the closure properties of robotic grasping", The Int. J. of Robotics Research, vol.14, no.4, 1995.
- [6]. Morales A. "Learning to predict grasp reliability with a multifinger robot hand by using visual features". Tesis doctoral, Departamento de Ciencias de la computación e Ingeniería, Universidad Jaume I, Castellón, España, Enero 2004.
- [7]. D. Montana, "Contact stability for two fingered grasps," IEEE Trans. Robot. Automat., vol. 8, pp. 421-430, 1992

- [8]. Coulomb C. “Théorie des machines simples en ayant égard au frottement de leurs parties et à roideur des cordages” Mémoires de Mathématique et de Physique présentés à l’Académie Royale des Sciences, par divers savans, Paris, 1781.
- [9]. Ponce J. y Faverjon B. “On computing three-finger force-closure grasps of polygonal objects”. En IEEE Transactions on Robotics and Automation, 11(6):868–881, December 1995.
- [10]. Fink T., Hauck A. y Färber G. “Towards an Anthropomorphic Robotical Hand-Eye Coordination”. Lab. for Process Control and Real-Time Systems. Technische Universität München, Alemania 1998.

**Pablo Eduardo Caicedo R:** Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, Candidato a Magister de la misma Universidad. Profesor Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Docente Investigador. Director del Grupo de Investigación GRINAU adscrito a la Corporación.