

Prensión de objetos en robótica*

Raúl Suárez

Institut d'Organització i Control de Sistemes Industrials (IOC)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Av. Diagonal 647 Planta 11, 08028 Barcelona, SPAIN
Email: raul.suarez@upc.es

Resumen— Se presentan aquí algunos trabajos relevantes realizados en el área de prensión y manipulación diestra de objetos mediante robots llevados a cabo en la División de Robótica del Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales de la Universidad Politécnica de Cataluña. Los trabajos consideran potenciales aplicaciones tanto en robótica de servicios como en aplicaciones industriales. Se describen los tópicos tratados y los principales resultados obtenidos en cada caso.

Palabras clave— prensión, manipulación, mano robótica

INTRODUCCIÓN

Es un hecho ampliamente conocido que la prensión y manipulación de objetos es una tarea fundamental en la utilización de robots para la automatización de procesos industriales así como en aplicaciones robotizadas en entornos no estructurados. La forma en que se lleva a cabo la prensión de un objeto está sujeta a restricciones que dependen del tipo de objeto, del elemento prensor utilizado, y de la acción a realizar con o sobre el objeto y puede condicionar fuertemente el trabajo del robot y la realización con éxito de la tarea. La utilización de elementos prensores cada vez más versátiles pretende aumentar el campo de aplicación y la eficiencia de los robots, pero, como contrapartida, la mayor complejidad cinemática y de control de los elementos prensores y de las restricciones que afectan a la acción de prensión hace necesaria la utilización de sistemas que resuelvan de forma automática los diferentes aspectos involucrados en dicha acción.

Dentro de este campo de investigación, en el Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales (IOC) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) se han desarrollado diversos proyectos de investigación, yendo desde el diseño y construcción de una mano mecánica, como claro exponente de elementos prensores diestros, hasta el desarrollo de

métodos y algoritmos para generar automáticamente una buena prensión para diferentes tipos de objetos, siendo el concepto de “buena prensión” algo que depende entre otros factores de la acción a realizar con o sobre el objeto y de las características del elemento prensor. Entre los trabajos realizados se encuentra una clasificación de las medidas de calidad utilizadas en prensión de objetos. En cuanto a la prensión se ha comenzado con objetos bidimensionales, que en algunos casos son aplicables a casos particulares de objetos tridimensionales, para luego abordar algoritmos específicos para este tipo de objetos, considerando que pueden tener cualquier forma. Se han buscado soluciones analíticas generales cuando ha sido posible y se han utilizado heurísticas que simplifiquen el problema en otros casos. Debe destacarse que todos los desarrollos teóricos que se describen en este artículo han sido ellos implementados para validar su correcto funcionamiento y efectividad.

Tras esta introducción, en la Sección II se describe una plataforma de experimentación para prensión y manipulación de objetos, poniendo énfasis en la mano mecánica MA-I como elemento básico. En la Sección III se describen brevemente los principales temas tratados en relación con la determinación automática de prensiones, y en la Sección IV se listan algunos temas actualmente en desarrollo y considerados también para trabajos, concluyendo con una somera reflexión sobre la motivación a trabajar en el tema.

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE EXPERIMENTACIÓN

Para la realización experimental de diferentes tareas relacionadas con la prensión y manipulación de objeto se ha montado una plataforma de experimentación cuya estructura y esquema general se muestran en la Figura 1, donde se ilustran los diferentes elementos que la componen. Básicamente puede mencionarse una mano mecánica montada sobre un robot industrial controlados conjuntamente desde un computador externo, un simulador del conjunto mano-robot, un guante sensorizado usado para extraer información sobre cómo

* Trabajo financiado por el proyecto CICYT DPI2004-03104 y Acción Bilateral referencia HI2005-0290

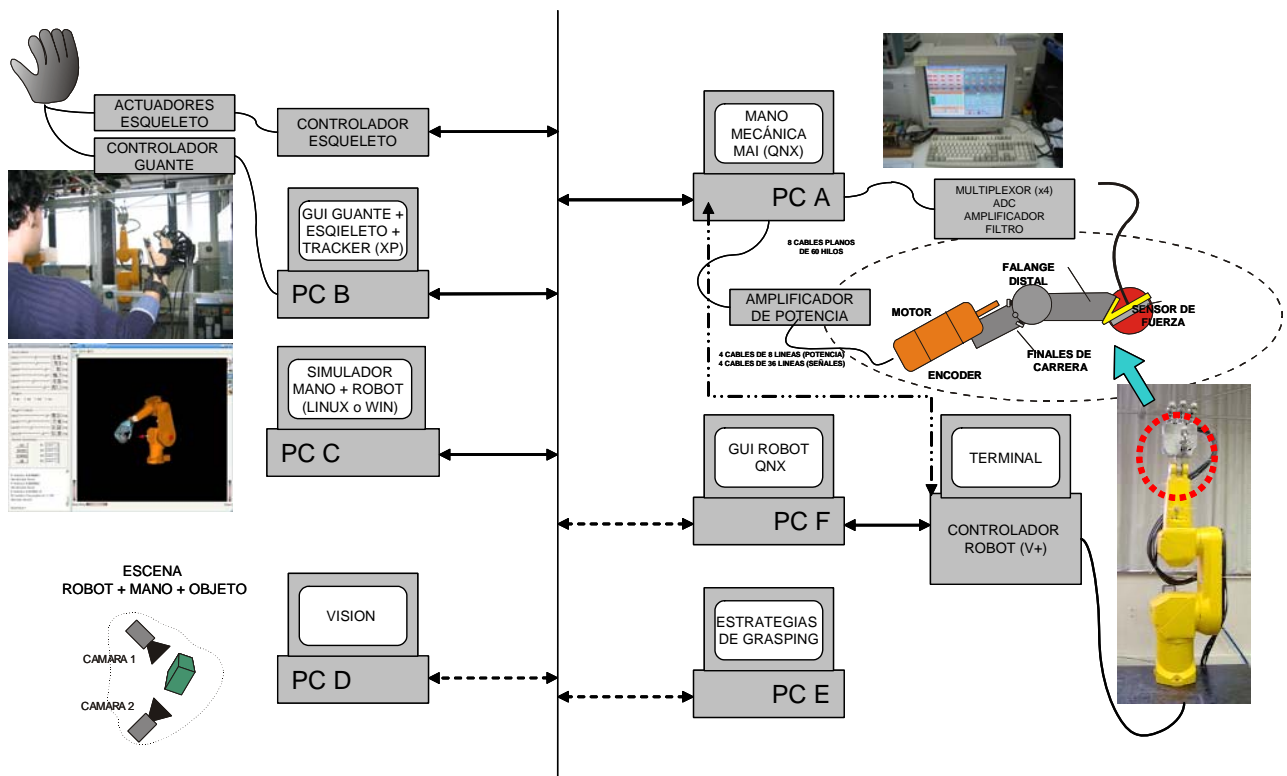


Fig. 1. Esquema general de la plataforma de experimentación

hace una tarea un ser humano y para teleoperar la mano mecánica, un exoesqueleto para la simulación de restricciones al movimiento en presiones virtuales, un sistema de visión, y diversos computadores, algunos de los cuales equipados con hardware específico.

El elemento más relevante del conjunto es sin duda la mano mecánica, denominada MA-I, que fue diseñada y construida en el IOC. Es una mano antropomorfa, con 4 dedos con 4 grados de libertad cada uno, uno de los cuales actúa como pulgar al estar enfrentado a los otros tres, tal como se aprecia en la Figura 2. Los dedos son estructuras muy livianas mecanizadas en aluminio. El tamaño de la mano es aproximadamente el doble del de una mano humana, y su peso de 4 kg. Todas las articulaciones se mueven mediante motores de corriente continua y reductores (sin uso de tendones), y el conjunto es mecánicamente autocontenido, es decir, no hay partes mecánicas fuera de la mano misma, lo que facilita su instalación y traslado. Los 16 grados de libertad se pueden controlar independientemente, las articulaciones media y distal tiene un grado de libertad y cada una es movida por un motor independiente, mientras que las articulaciones proximales, que tienen dos grados de libertad, son movidas por la acción coordinada de dos motores. El control se realiza desde un PC con sistema operativo QNX-6 (Neutrino), y la señal de control se amplifica en una etapa de potencia en la que también se han implementado sistemas de

seguridad que evitan corrientes excesivas. Cada grado de libertad tiene sensores de final de carrera en sus extremos. El control de cada articulación se realiza mediante un PID, cuyas consignas para cada instante de muestreo se generan mediante un algoritmo de interpolación que descompone el camino que debe recorrer cada articulación ajustando los movimientos a los de la articulación más lenta, para que el movimiento sea suave y coordinado. También se han construido unas yemas de dedo con capacidad sensorial para poder realizar control de presión y realimentación háptica, incluyendo el diseño de la parte mecánica y electrónica y la implementación de esta en unas tarjetas dedicadas específicamente a este fin. Mas detalles sobre la mano mecánica pueden encontrarse en [20][21][22].

Otros elementos de importancia incorporados en la plataforma, aunque de carácter comercial son los siguientes: (a) *Robot industrial Stäubli TX90*, de 6 grados de libertad y con un controlador robot CS8; (b) *Sistema CyberGraspTM*, que incluye un guante sensorizado (CyberGlobe) que mide la posición de los dedos del operador que lo use y un sistema háptico que realimenta la sensación de fuerza de presión cuando se trabaja con objetos modelados en computador o en telemanipulación. El guante posee 22 sensores, que permiten medir la flexión-extensión y la aducción-abducción de los dedos, así como la flexión de la palma de la mano. El dispositivo háptico está formado por un

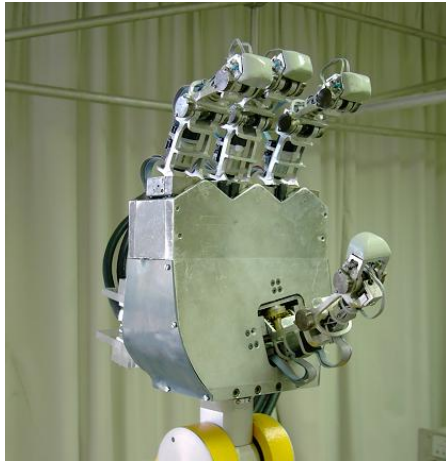


Fig. 2. Mano mecánica MA-I

esqueleto mecánico, montado sobre el dorso de la mano, que impone restricciones a los movimientos de flexión cuando se desea transmitir la sensación de que se está presionando sobre un objeto. El sistema incluye la electrónica necesaria para el tratamiento de las señales y el control del dispositivo háptico, así como el software básico para ser controlado desde un PC; (c) *Tracker Flock of Birds*, sistema que permite el seguimiento de la posición y orientación de la muñeca del operario (en los 6 gdl), mediante variaciones de campo magnético, producidas por un elemento fijo en la muñeca y detectadas por otro fijo en el espacio de trabajo. Su volumen de trabajo es de 1 m³. La Figura 3 muestra el equipamiento del sistema Cybergrasp y el tracker junto al hardware asociado.

En lo referente a software, además del propio software de control de la mano MA-I, en la plataforma de experimentación ha sido necesario realizar los módulos de comunicación entre los diferentes subsistemas. Las comunicaciones son del tipo bidireccional, utilizando mensajes que pueden o no esperar respuesta, comunican diferentes plataformas (Windows, QNX, Linux) con diferentes arquitecturas (big y little endian), y se realizan a través de Ethernet utilizando Sockets (TCP/IP). Los intercambios de datos más destacables usando este procedimiento se realizan entre los siguientes subsistemas: (a) Mano MA-I y Guante sensorizado CyberGlove de Immersion; envío a la mano mecánica de la posición de las articulaciones de la mano del usuario leídas con el guante sensorizado (datos utilizados como consignas para las articulaciones de la mano mecánica); (b) Mano MA-I y Esqueleto CyberGrasp de Immersion; envío de los valores de fuerza medidos en las yemas de los dedos de la mano mecánica al esqueleto CyberGrasp como consignas para que este retroalimente fuerza al usuario (funcionamiento como dispositivo háptico); y (c) Mano MA-I y Robot Stäubli TX-90; envío de consignas de posición al robot y recepción de su posición actual.



Fig. 3. Hardware complementario a la mano y el robot

Finalmente, como complemento a los elementos físicos reales, se ha desarrollado un simulador cinemático del conjunto mano-robot (Figura 4), que incorpora un software para la resolución de la cinemática inversa [17]. Se basa en la búsqueda de los movimientos de cada articulación que minimizan una función distancia entre la posición deseada de los extremos de cada dedo y las posiciones que se van obteniendo en un proceso iterativo de optimización distribuida.

DETERMINACIÓN AUTOMÁTICA DE PRENSIONES

A. Estudio y clasificación de las medidas de calidad de una prensión

Para valorar cuan buena es la prensión de un objeto se han propuesto en la literatura del área diferentes medidas de calidad. A fin de poder valorar la utilidad de estas medidas se ha realizado un estudio y clasificación de las mismas, desde puntos de vista tales como el efecto de la prensión sobre el objeto que se desea manipular, la comodidad del elemento prensor (mano) que se utiliza, y la satisfacción del objetivo de la tarea; teniendo en cuenta requisitos de la prensión como la capacidad de resistir fuerzas de perturbación sobre el objeto y la mayor destreza posible (dos de las propiedades más

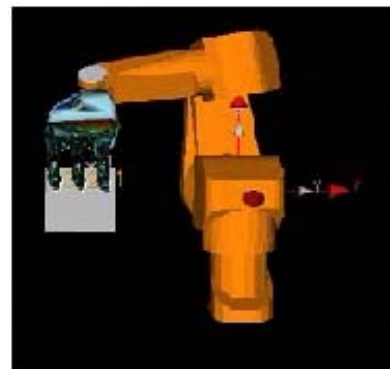


Fig. 4. Simulador de la mano y el robot

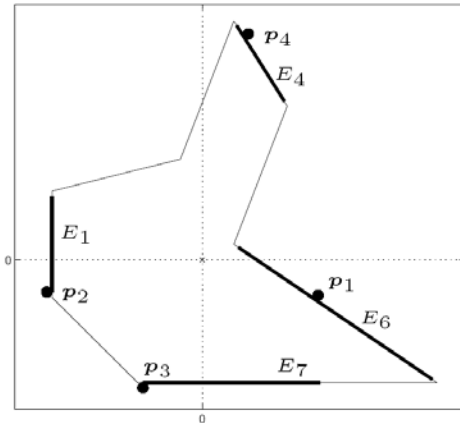


Fig. 5. Presión óptima con equilibrio de fuerza de un polígono con 4 dedos sin fricción y regiones en las que se podría poner cada dedo manteniendo la posición de los demás.

frecuentemente consideradas al determinar una presión). En general, cuando se usan manos mecánicas diestras con muchos grados de libertad existen múltiples soluciones al problema de “elegir” una presión, la utilización de medidas de calidad apropiadas permite buscar soluciones óptimas para los fines deseados [5].

Salvo casos particulares que se mencionarán explícitamente, en los trabajos que se mencionan en los apartados siguientes se consideró como criterio de optimización la maximización de la mínima fuerza que la presión puede resistir en cualquier dirección cuando existen límites en las fuerzas que pueden aplicar los dedos, debido a su interpretación geométrica en el espacio de fuerzas generalizadas este criterio se denomina de la “bola máxima” [8].

B. Determinación de presiones 2D

Este problema se abordó fundamentalmente buscando métodos analíticos para determinar las presiones, que tienen la ventaja de lograr soluciones de forma sistemática en tiempos óptimos. En esta línea se

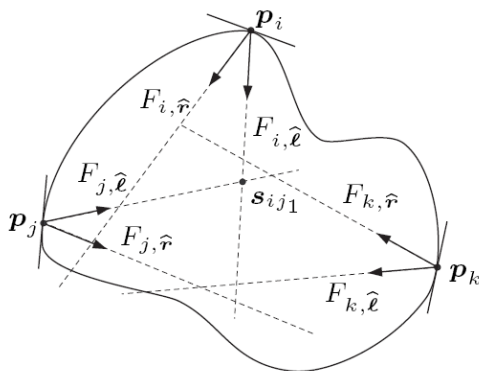


Fig. 6. Presión con equilibrio de fuerza de un objeto irregular con tres dedos con fricción.

ha resuelto analíticamente el problema de determinar la presión óptima con equilibrio de fuerza de objetos poligonales mediante cuatro dedos sin fricción, estableciendo una nueva condición necesaria y suficiente para la existencia de tales presiones, y teniendo en cuenta para la optimización de la presión el criterio de la bola máxima. Los desarrollos realizados para 4 dedos sin fricción fueron extendidos al caso de presiones con 3 dedos con fricción, y posteriormente ambos casos generalizados a objetos 2D no poligonales, y objetos descritos de forma discreta mediante un número finito de puntos de su contorno. Ejemplos de estas presiones se muestran en las Figuras 5 y 6, y los detalles básicos de los trabajos en [1][4][6].

Además de los métodos analíticos, se han planteado también métodos de búsqueda de presiones con equilibrio de fuerzas en el espacio dual de las fuerzas aplicadas, en particular considerando objetos 2D cuya silueta fue obtenida mediante sistemas de visión por computador [24].

Una vez resuelto de manera satisfactoria el problema de determinar los puntos de presión se ha buscado un procedimiento para determinar las fuerzas óptimas en la presión de un objeto en el sentido de que permitan aguantar la máxima perturbación externa ejerciendo las menores fuerzas posibles sobre el objeto [7] (resuelto usando la forma dual de un problema de optimización), y un procedimiento para determinar la evolución temporal de las fuerzas aplicadas por cada dedo manteniendo en todo momento la condición de equilibrio cuando se quita o agrega un dedo en la presión. La evolución temporal coordinada de las fuerzas de cada dedo es fundamental cuando se realizan tareas de manipulación que incluyen cambios de los puntos de contacto (regrasping) [9].

C. Determinación de presiones de objetos 3D

En primer lugar se abordó el problema de desarrollar procedimientos heurísticos/geométricos para determinar presiones de objetos 3D poliédricos. Sobre estos objetos se han resuelto los problemas de presiones de 3 dedos sobre 2 y 3 caras del objeto [10][12], de 4 dedos sobre diferentes caras [13], y de 4 dedos de forma que tres conjuntos de tres dedos produzcan una presión con equilibrio de fuerzas [11], en todos los casos considerando contactos con fricción. En el caso de cuatro dedos se debe destacar que el enfoque permite la generación de los tres tipos posibles de presiones: concurrentes, *flat-pencils* y *regulus* (Figura 7). Las presiones obtenidas se han contrastado con las óptimas en numerosos ejemplos usando como medida de calidad el criterio de la bola máxima y los resultados obtenidos son altamente satisfactorios.

De cara a la búsqueda de presiones sobre cualquier tipo de objeto, se abordó el problema general de determinación de presiones con equilibrio de fuerzas de

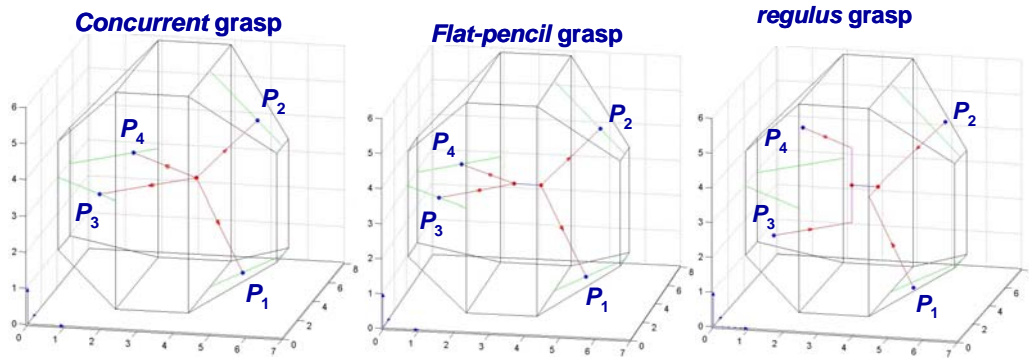


Fig. 7. Ejemplos de los tres tipos de prensiones de un objeto 3D

objetos de forma libre (superficies esculpidas descritas por mallas o nubes de puntos). En esta línea se han desarrollado e implementado algoritmos que trabajan haciendo búsquedas tanto en el espacio de fuerzas generalizadas de 6 dimensiones para buscar luego los puntos correspondientes sobre el objeto [14] (Figura 8), como búsquedas de los puntos de contacto directamente sobre la malla que describe la superficie del objeto [23] (Figura 9). Ambos enfoques se han probado con diferentes objetos descritos por mallas triangulares de hasta 77.000 puntos y los resultados con ambos enfoques son satisfactorios con tiempos de resolución muy aceptables.

D. Determinación de regiones de contacto independientes

Se denominan regiones de contacto independientes a regiones sobre la superficie del objeto tal que un dedo en cada una de ellas asegura el equilibrio de fuerzas con independencia del punto exacto de contacto. La utilidad de estas regiones es doble, por un lado anular el efecto sobre la prensión de la incertidumbre y errores en el posicionamiento de los dedos, y por otro sirven como herramienta para determinar secuencias de contactos que mantengan el equilibrio de fuerzas durante la manipulación del objeto. En consonancia con los

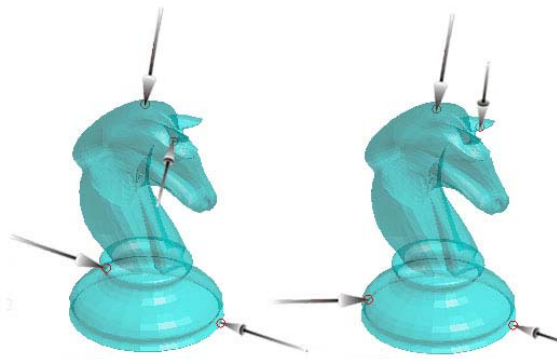


Fig. 8. Prensión localmente óptima de un objeto irregular 3D con 4 dedos con fricción.

desarrollos realizados en la determinación de prensiones, las regiones de contacto independientes se resolvieron para objetos 2D poligonales y no poligonales continuos (Figura 10), y objetos 2D de forma libre descritos por secuencias de puntos; posteriormente se abordó y resolvió el caso de objetos 3D de forma libre descritos por mallas o nubes de puntos (Figura 11) [2][3][5][16].

También en relación con el efecto de la incertidumbre, se ha modelado la forma en que diferentes fuentes de incertidumbre afectan el movimiento de dos objetos en contacto [18].

E. Inclusión de las restricciones cinemáticas del elemento prensor en la determinación de prensiones

Los procedimientos para determinar una prensión se centran normalmente en la forma del objeto, con lo que las soluciones no son siempre realizables con un elemento prensor determinado, y han de filtrarse o ajustarse a posteriori. Para resolver esto se busca la manera de incluir la cinemática del elemento prensor en la determinación misma de la prensión, de manera que se asegure que el resultado es siempre realizable. En esta línea, como primer paso se ha realizado una propuesta

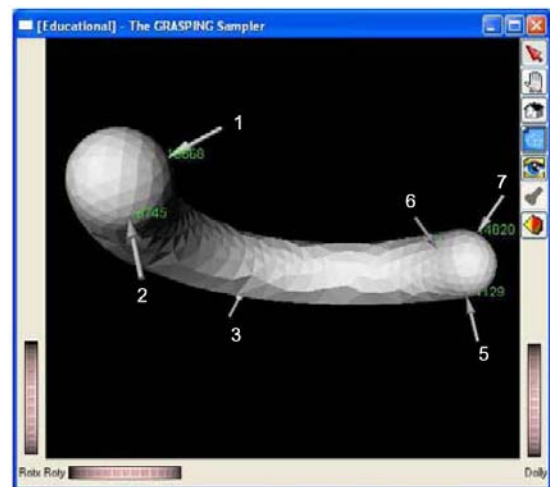


Fig. 9 Prensión con equilibrio de fuerzas de un objeto irregular 3D con 7 dedos sin fricción.

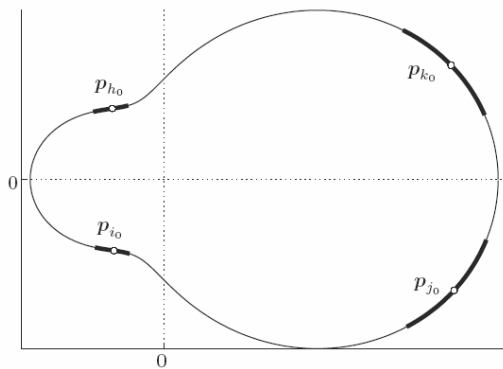


Fig. 10. Regiones de contacto independientes sobre un objeto 2D no poligonal.

para resolver la cinemática inversa del conjunto mano-robot basada en la búsqueda de los movimientos de cada articulación que minimizan una función distancia entre la posición deseada de los extremos de cada dedo y las posiciones que se van obteniendo en un proceso iterativo de optimización distribuida [17]. También se ha propuesto un procedimiento para parametrizar la posición de la muñeca del robot en función de algunos parámetros del objeto a sujetar, lo que permite resolver rápidamente (on-line) la cinemática inversa de la mano para llevar a cabo la prensión, asegurando la una prensión óptima alcanzable. (Figura 12). El enfoque fue implementado para la mano MA-I considerando una prensión plana y como parámetros las dimensiones de una caja envolvente del objeto [19]. Este es un tema aun muy abierto, sobre el que no existen antecedentes específicos, y sobre el que se está poniendo un énfasis especial.

TEMAS DESTACABLES ACTUALMENTE EN DESARROLLO Y TRABAJOS FUTUROS

Como continuidad de los temas trabajos mencionados anteriormente, se destacan los siguientes temas, en algunos de los cuales hay resultados preliminares:

- Inclusión de las restricciones cinemáticas del elemento prensor en la determinación de prensiones

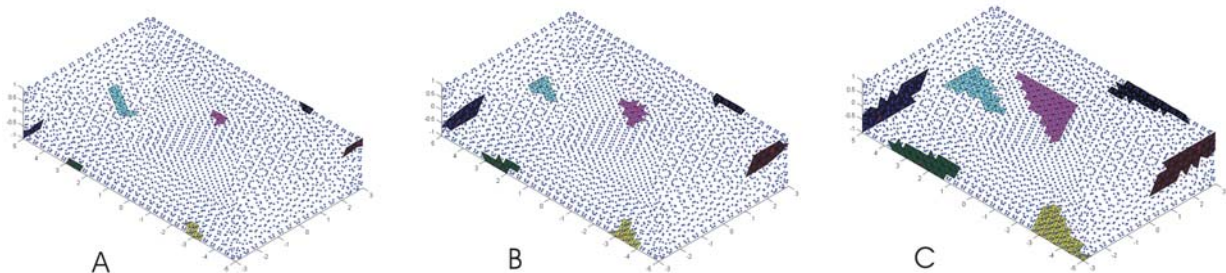


Fig. 11. Regiones de contacto independientes sobre un objeto 3D discreto, la calidad exigida a la prensión disminuye del caso A al C lo que hace aumentar el tamaño de las regiones.

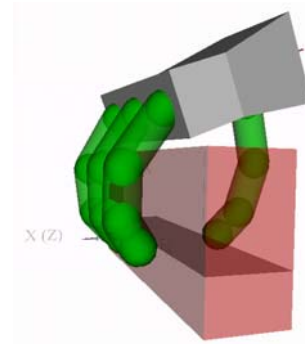


Fig. 12. Ejemplo de prensión con la posición de la mano optimizando una función de calidad al tiempo que se asegura que el objeto cabe en la cavidad interna de la mano.

generalizables a cualquier objeto y cualquier elemento prensor.

- Extracción de conocimiento más detallado sobre cómo realiza algunas tareas el ser humano (analizando la información proporcionada por el guante sensorizado), clasificación y aplicación a manos mecánicas.
- Planificación de los movimientos de los dedos cuando hay obstáculos o los puntos de contacto son de difícil acceso.
- Determinación de prensiones, secuencias de movimientos y fuerzas para llevar a cabo tareas de re-prensión (manipulación) de objetos.
- Utilización de plataformas de experimentación con prestaciones superiores a las disponibles en la mano MA-I.
- Avance en la teleoperación con realimentación háptica de una mano mecánica u elemento prensor diestro, búsqueda de robustez y versatilidad.

Debe destacarse, que los campos de trabajo donde son relevantes las contribuciones en la prensión y manipulación de objetos van desde la determinación de forma automática de una prensión óptima de los componentes en una línea de montaje, hasta la realización de operaciones de prensión de objetos

dispare en entornos poco o nada estructurados (ejemplos: sectores como mantenimiento, montaje, desguace, manipulación en reciclado, y robótica asistencial, entre otros). Por lo tanto, el amplio espectro de aplicación de la prensión y manipulación de objetos de forma autónoma, o, en su caso mediante una teleoperación suficientemente versátil, y la posibilidad de un aprendizaje copiando al ser humano (a más alto nivel que el que se puede ver actualmente en los laboratorios), hacen que el tema de trabajo sea muy interesante, lo que sumado a los desafíos técnicos que impone genera un atractivo campo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] J. Cornellà and R. Suárez, "On 2D 4-finger frictionless optimal grasps", 16th IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'2003, (ISBN 0-7803-7861-X) Las Vegas, CA, USA, October 27-31, 2003.
- [2] J. Cornellà and R. Suárez, "Computation of Force-Closure Independent Regions through Grasp Decomposition", Intelligent Manipulation and Grasping International Conference, IMG'04, (ISBN 88-900426-1-3), Genova, Italy, July 1-2, 2004, pp. 97-102.
- [3] J. Cornellà and R. Suárez, "Fast and flexible determination of force-closure independent regions to grasp polygonal objects", Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 2005, (ISBN 0-7803-8915-8), Barcelona, Spain, April 18-22, 2005, pp.778-783.
- [4] J. Cornellà and R. Suárez, "On Computing Form-Closure Grasps/Fixtures for Non-Polygonal Objects", Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning, ISATP 2005, (ISBN 0-7803-9080-6), Montreal, Canada, July 19-21, 2005.
- [5] J. Cornellà and R. Suárez, "Determining Independent Grasp Regions on 2D Discrete Objects", 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.
- [6] J. Cornellà and R. Suárez, "A New Framework for Planning Three-Finger Grasps of 2D Irregular Objects", Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'2006, (ISBN 1-4244-0259-X), Beijing, China, October 10-13, 2006, pp.5688-5694.
- [7] J. Cornellà, R. Suárez, R. Carloni and C. Melchiorri, "Grasping Force Optimization Using Dual Methods", 8th IFAC Symposium on Robot Control, SYROCO 2006, Bologna, Italy, September 6-8, 2006.
- [8] C. Ferrari and J. Canny, "Planning Optimal Grasps", Proceedings of the 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 1992, pp.2290-2295.
- [9] P. Grosch, R. Suárez, R. Carloni and C. Melchiorri, "Contact Force Transitions in Regrasp Tasks of Planar Objects", IOC-DT-I-2007-05, Julio 2007.
- [10] R. Prado and R. Suárez, "Heuristic approach to construct 3-finger force-closure grasps for polyhedral objects", Preprints of the 7th IFAC Symposium on Robot Control, SYROCO'2003, Wroclaw, Polonia, Septiembre 1-3, 2003, pp.387-392.
- [11] R. Prado and R. Suárez, "Síntesis de prensiones con cuatro puntos de contacto incluyendo al menos tres prensiones con equilibrio de fuerzas con tres puntos contacto cada una", Recerca en Automàtica, Visió i Robòtica, AVR 2006, (ISBN 84-7653-885-5), Barcelona, Julio 2006, pp.226-232.
- [12] R. Prado and R. Suárez, "Heuristic Grasp Planning with Three Frictional Contacts on Two or Three Faces of a Polyhedron", Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning, ISATP 2005, (ISBN 0-7803-9080-6), Montreal, Canada, July 19-21, 2005.
- [13] R. Prado and R. Suárez, "Grasp Planning with Four Frictional Contacts on Polyhedral Objects", 8th IFAC Symposium on Robot Control, SYROCO 2006, Bologna, Italy, September 6-8, 2006.
- [14] M. Roa and R. Suárez, "Síntesis de prensiones para objetos tridimensionales complejos", Recerca en Automàtica, Visió i Robòtica, AVR 2006, (ISBN 84-7653-885-5), Barcelona, Julio 2006, pp.249-256.
- [15] M. Roa, R. Suárez, and J. Cornellà, "Revisión de medidas de calidad para la prensión de un objeto", Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, aceptado con revisión en junio 2007.
- [16] M. Roa and R. Suárez, "Determination of Independent Contact Regions on Discretized 3D Objects", 2007 IEEE International Symposium Conference on Assembly and Manufacturing, ISAM'2007, Ann Arbor, Michigan, USA, July 22-25, 2007.
- [17] J. Rosell, X. Sierra, L. Palomo and R. Suárez, "Finding Grasping Configurations of a Dexterous Hand and an Industrial Robot", Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 2005, (ISBN ISBN 0-7803-8915-8), Barcelona, Spain, April 18-22, 2005, pp. 1190-1195.
- [18] J. Rosell, L. Basañez and R. Suárez, "Predicting Planar Motion Behaviour under Contact Uncertainty", Advanced Robotics (ISSN:0169-

- 1864), Special issue on "Compliant Motion: Modeling, Planning and Control", Vol. 19, No. 5, June 2005, pp. 567-590.
- [19] R. Suárez and G. Färber, "Wrist-Position Parameterization for Fast On-Line Determination of Grasp Configurations", 8th IFAC Symposium on Robot Control, SYROCO 2006, Bologna, Italy, September 6-8, 2006.
- [20] R. Suárez y P. Grosch, "Mano mecánica MA-I", XXIV Jornadas de Automática, CEA-IFAC, (ISBN 84-931846-7-5), León, 10-12 de Septiembre, 2003. (Premio al Mejor Trabajo en el Área de Robótica)
- [21] R. Suárez and P. Grosch, "Dexterous Robotic Hand MA-I, Software and Hardware Architecture", Intelligent Manipulation and Grasping International Conference, IMG'04, (ISBN 88-900426-1-3), Genova, Italy, July 1-2, 2004, pp. 91-96.
- [22] R. Suárez and P. Grosch, "Mechanical hand MA-I as experimental system for grasping and manipulation", VideoProceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 2005, (ISBN 0-7803-8915-8), Barcelona, Spain, April 18-22, 2005.
- [23] R. Suárez and J. Rosell, "Searching Form-Closure Fixturing Points on Objects Described by Triangular Meshes", 2007 IEEE International Symposium Conference on Assembly and Manufacturing, ISAM'2007, Ann Arbor, Michigan, USA, July 22-25, 2007.
- [24] R. Suárez, Israel Vazquez and J.M. Ramírez, "Planning Four Grasping Points from Images of Planar Objects", Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning, ISATP2003, (ISBN 0-7803-7770-2), Besançon, France, July 10-11, 2003, pp.169-174.