

Métodos y algoritmos para la prensión de objetos mediante robots: manipulación diestra y aplicaciones industriales (proyecto CICYT DPI2004-03104)

Raúl Suárez

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

Resumen— Este artículo presenta el proyecto titulado “Métodos y algoritmos para la prensión de objetos mediante robots: manipulación diestra y aplicaciones industriales”, en curso de realización en el Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales de la Universidad Politécnica de Cataluña con financiación del Programa Nacional de Diseño y Producción Industrial (CICYT DPI2004-03104). Se describen los objetivos del proyecto, como se gestó y se lleva a cabo, los principales resultados obtenidos hasta el momento, y los planes de trabajo para lo que resta de proyecto.

Palabras clave— prensión, manipulación, mano robótica

I. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

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.

En este marco se está ejecutando en el Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales de la Universidad Politécnica de Cataluña el proyecto “Métodos y algoritmos para la prensión de objetos mediante robots: manipulación diestra y aplicaciones industriales” (acrónimo MAP), financiado por el Programa Nacional de Diseño y Producción Industrial con referencia CICYT DPI2004-03104. El proyecto, de tres años de duración, comenzó en diciembre de 2004.

El objetivo del proyecto consiste en desarrollar métodos y algoritmos para poder llevar a cabo de forma automática la prensión correcta de un objeto en aplicaciones de robótica según la acción a realizar con o sobre el objeto. En particular cabe destacar el tratamiento de los siguientes aspectos: búsqueda de soluciones analíticas generales cuando éstas sean posibles y de heurísticas que simplifiquen el problema conocidas las restricciones, inclusión de las restricciones cinemáticas del elemento prensor en el procedimiento de determinación de los puntos de prensión, desarrollo de estrategias de prensión para el caso de objetos de forma libre representados mediante mallas poligonales, y consideración de incertidumbre geométrica tanto en el objeto como en el elemento prensor. El proyecto incluye la realización de ensayos experimentales de los desarrollos teóricos que se realicen utilizando la mano mecánica de construcción propia MA-I montada sobre un robot industrial.

El proyecto se gestó dando continuidad a una línea de trabajo planteada unos años atrás y consolidada mediante la ejecución de dos proyectos previos en temas afines, también financiados por el Plan Nacional. En el primero de ellos se construyó la mano mecánica MA-I y en el segundo se comenzó a trabajar más intensamente en la problemática de la acción de prensión propiamente dicha. Una vez establecida una continuidad en el tema, el trabajo realizado ha permitido establecer contactos con el departamento de Departamento de Electrónica y Sistemas Informáticos (DEIS) de la Universidad de Bolonia, donde se trabaja en temas similares, y un doctorando del IOC ha realizado allí una estadía de cara a la obtención de la Mención de Doctor Europeo. A partir de esta interacción se ha planteado una Acción Bilateral de dos años de duración financiada por el MEC (referencia HI2005-0290), en cuyo marco están previstos nuevos intercambio de doctorandos para realizar trabajos en el tema de manos mecánicas y estrategias de prensión, teniendo en cuenta la posibilidad de abordar conjuntamente nuevos enfoques en el tema de manipulación (*regrasping*).

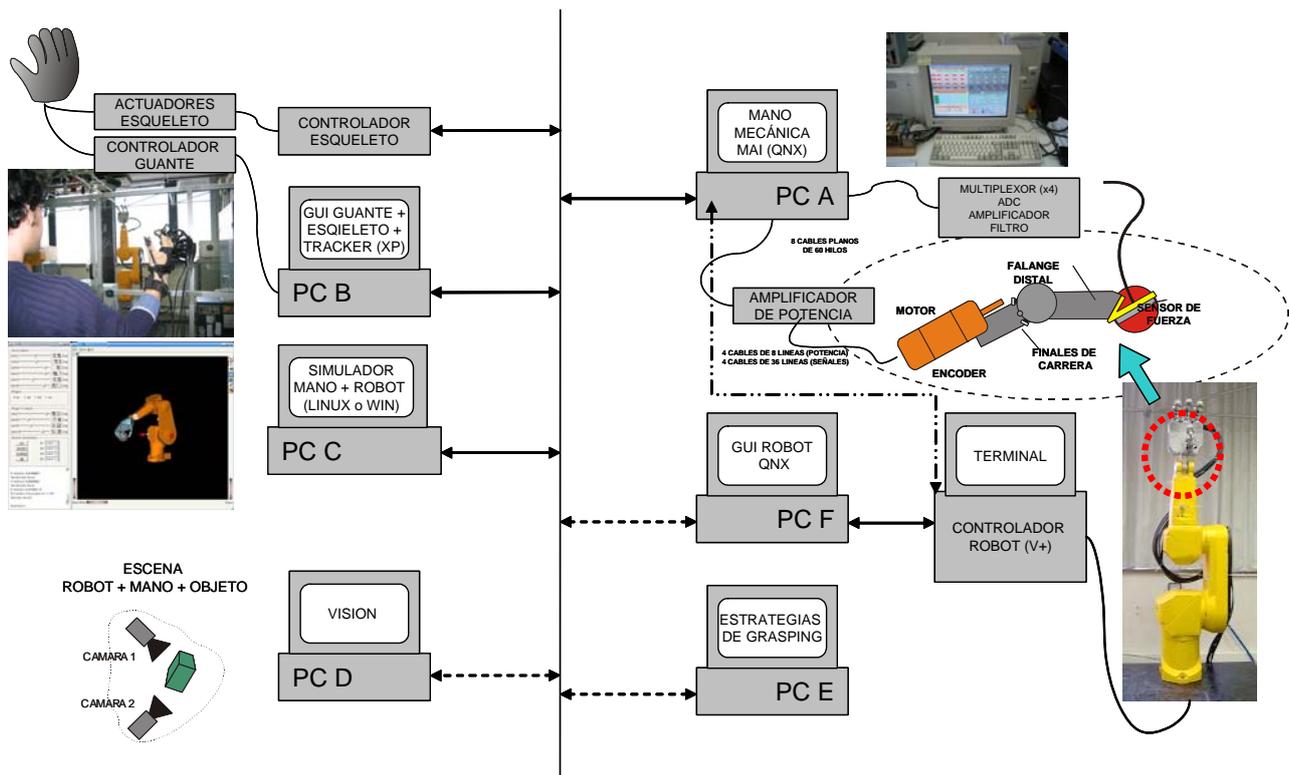


Fig. 1. Esquema general de la plataforma de experimentación

II. HARWARE UTILIZADO EN EL PROYECTO

La Fig. 1 muestra el esquema general de la plataforma experimental utilizada en el proyecto. Aparte del robot industrial Stäubli TX90 y una serie de PCs, los elementos más destacables son los siguientes:

Mano mecánica MA-I. Diseñada y construida en el IOC, la mano es elemento más relevante del conjunto. Es antropomorfa, con 4 dedos con 4 gdl cada uno, y uno de ellos actúa como pulgar al estar enfrentado a los otros tres, tal como se aprecia en la Fig. 2. Su tamaño es aproximadamente el doble del de una mano humana, y su peso de 4 kg. Todas las articulaciones son movidas 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 gdl se pueden controlar independientemente, cada articulaciones media y distal tiene un gdl y es movidas por un motor independiente cada una, mientras que las articulaciones proximales, que tienen dos grados de libertad, son movidas por el movimiento coordinado de dos motores. El control se realiza desde un PC con sistema operativo QNX, 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 gdl tiene sensores de final de carrera en sus extremos.

Sistema CyberGrasp™. Incluye un guante sensorizado (CyberGlobe) que permite medir la posición de los dedos del operador que lo use y un sistema háptico que realimenta la sensación de fuerza de aprehensión 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 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 toda la electrónica necesaria para el tratamiento de las señales, control del dispositivo háptico, y fuentes de alimentación, así como el software básico para ser controlado desde un PC.

Tracker Flock of Birds. Sistema que permite el seguimiento de la posición y orientación de la muñeca de un 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 Fig. 3 muestra el equipamiento del sistema Cybergrasp y el tracker junto al hardware asociado.

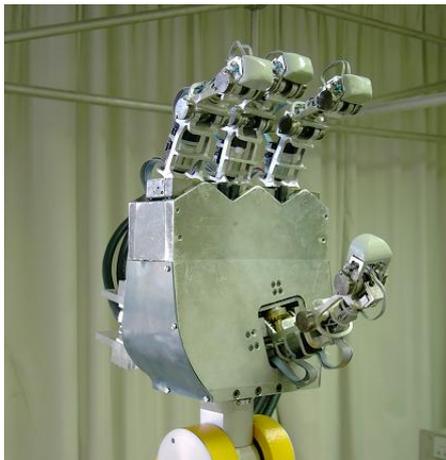


Fig. 2. Mano mecánica MA-I

III. TEMAS DESTACABLES RESUELTOS HASTA EL MOMENTO EN EL PROYECTO

A. Actualización de la mano mecánica MA-I

Hardware:

Aparte de modificaciones menores de la parte mecánica de la mano, se trabaja en unas nuevas yemas de dedo con más capacidad sensorial para poder realizar control de presión y realimentación háptica, se ha llevado a cabo el diseño de la parte mecánica y electrónica y la implementación de esta última en unas tarjetas dedicadas específicamente a este fin (actualmente se está pendiente de la puesta en marcha de los sensores sobre la mano mecánica y de la preparación del controlador).

Software:

Se ha realizado una migración del software de control del entorno QNX4 a QNX6 (Neutrino). Este cambio fue necesario para ampliar las prestaciones del conjunto y las posibilidades de comunicación con los demás elementos del sistema (guante sensorizado, tracker, y robot) y se aprovechó para introducir un nuevo esquema de funcionamiento que implicaba rediseñar algunos módulos y, de manera muy especial, la comunicación entre ellos. En particular, se ha realizado una comunicación entre los distintos módulos del sistema que no depende del tipo de consignas utilizadas (fuerza, posición, velocidad, velocidad+fuerza, posición+fuerza, etc.), lo que permite cambiar el modo de funcionamiento y hacer nuevas adaptaciones sin rediseños globales del sistema. Asimismo, se han implementado dos nuevos módulos que reemplazan los antiguos que funcionaban sobre software propietario (software cerrado del cual no se tiene el código fuente) de los proveedores de las tarjetas de adquisición del sistema de control. El módulo Path Planner traduce las consignas dadas por el usuario a



Figura 3. Guante sensorizado y hardware asociado.

consignas “finas” (consignas para cada periodo de muestreo) y el módulo Set Point Buffer crea y maneja la cola de consignas finas para el módulo que realiza la acción de control.

Las comunicaciones entre subsistemas son del tipo bi-direccional, utilizando mensajes que pueden o no esperar respuesta, entre diferentes plataformas (Windows, QNX, Linux) y con diferentes arquitecturas (big y little endian), y se realiza a través de Ethernet utilizando Sockets (TCP/IP). Estas comunicaciones también siguen la filosofía de consignas empaquetadas. Los intercambios de datos más destacables usando este procedimiento se realizan entre los siguientes subsistemas:

- 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.
- 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).
- Mano MA-I y Robot Stäubli TX-90. Envío de consignas de posición al robot y recepción de su posición actual.

B. Estudio de medidas de calidad de la presión

Se han estudiado y clasificado las diferentes medidas de calidad utilizadas para valorar una presión en función del objeto que se desea manipular, del elemento prensor (mano) que se utiliza y del objetivo de la tarea, teniendo en cuenta como requisito de la presión la capacidad de resistir fuerzas de perturbación y la mayor destreza posible (dos de las propiedades más 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 prensión, la utilización de medidas de calidad apropiadas permite buscar soluciones óptimas para los fines deseados.

C. Búsqueda de prensiones 2D mediante métodos analíticos

En relación a la búsqueda de prensiones mediante métodos analíticos que tengan robustez frente a incertidumbre en el posicionamiento de los dedos se ha llegado a determinar regiones de contacto independientes (regiones tal que un dedo en cada una de ellas asegura el equilibrio de fuerzas con independencia del punto exacto de contacto) para el caso de cuatro dedos y objetos 2D de forma irregular, y su extensión al caso de objetos de los que sólo se conocen algunos puntos de su contorno (representaciones discretas del objeto). Las contribuciones teóricas producidas en este tema motivan a realizar trabajos futuros sobre su potencial aplicación al problema de *regrasping*, donde se pueden obtener resultados significativos.

D. Procedimientos heurísticos para determinar prensiones de objetos 3D

En relación a la determinación de procedimientos heurísticos para determinar prensiones de objetos 3D, se ha llegado al desarrollo e implementación de un procedimiento para realizar prensiones con equilibrio de fuerza de objetos poliédricos mediante cuatro dedos (teniendo en cuenta la fricción en los contactos). El procedimiento permite la generación de los tres tipos posibles de prensiones (concurrentes, *flat-pencil* y *regulus*). Las prensiones obtenidas se han contrastado con las óptimas en numerosos ejemplos usando como medida de calidad la máxima perturbación que la prensión puede soportar en cualquier dirección, y los resultados obtenidos son altamente satisfactorios.

E. Determinación de prensiones 3D con equilibrio de fuerzas de objetos de forma libre

En relación a la determinación de prensiones con equilibrio de fuerzas de objetos de forma libre (superficies esculpidas descritas por mallas o nubes de puntos) 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, como búsquedas de los puntos de contacto directamente sobre la malla que describe la superficie del objeto. Los resultados con ambos enfoques en ambos casos son satisfactorios y actualmente se están probando con modelos de objetos descritos por mallas triangulares de hasta 77.000 puntos con tiempos de resolución muy aceptables.

IV. TEMAS DESTACABLES AUN EN DESARROLLO

A. Desarrollo de una nueva herramienta de simulación gráfica

Se está trabajando en un nuevo simulador gráfico de estructura modular más versátil que el existente, basado en módulos independientes que permitan resolver por separado problemas de cinemática, detección de colisiones y representación gráfica de forma independiente, de manera que sea fácilmente adaptable a futuros cambios o inclusión de nuevas prestaciones.

B. Inclusión de las restricciones cinemáticas de una mano 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. El objetivo es buscar una manera de incluir la cinemática del elemento prensor en la determinación misma de la prensión por métodos analíticos, de manera que se asegure que el resultado es siempre realizable. Es un trabajo del que no existen antecedentes específicos.

C. Planificación del movimiento de los dedos dada la prensión a realizar

Obtenidas las soluciones de una prensión (la posición de cada dedo sobre el objeto), queda por resolver cómo llevar los dedos hasta esas posiciones. El objetivo es buscar formas apropiadas de planificar el movimiento de la mano como un conjunto y luego de los dedos hasta realizar la prensión, dadas las particulares características del problema al tratarse de cadenas cinemática paralelas ligadas por la base. Aun cuando ya se han realizado aportaciones en el campo de planificación de caminos, estas han sido para un número reducido de grados de libertad y queda pendiente por lo tanto su extensión al caso de los movimientos de las articulaciones de una mano mecánica.

D. Explotación de la plataforma experimental para tareas de telemanipulación y aprendizaje

La plataforma experimental formada por la mano mecánica MA-I, el robot industrial Stäubli TX90, el guante sensorizado Cyberglobe, el tracker y el dispositivo háptico Cybergrasp ya funciona en conjunto a niveles básicos de telecomando, sin embargo está pendiente mejorar su facilidad de uso y prestaciones, e implementar la realimentación de fuerza al operario que realiza la tarea de telemanipulación. El uso del guante sensorizado para realizar demostraciones de prensiones y deducir a partir de ellas nuevas heurísticas y/o aprender estrategias de prensión es otra actividad pendiente.

V. CONTRIBUCIONES FINALES ESPERABLES DEL PROYECTO

Las contribuciones científico-técnicas generales esperables del proyecto son

- Desarrollo de nuevos métodos y algoritmos para determinar automáticamente la prensión de un objeto en el ámbito de la robótica industrial y de servicios.
- Consideración de incertidumbre en la determinación de la prensión, aproximándose así a un enfoque más real del problema.
- Realización de experimentos con una mano mecánica real.
- Conclusiones aplicables en el diseño de elementos prensores para robótica.

Como beneficios esperables para el avance del conocimiento y la tecnología en este campo cabe esperar una ampliación del campo de aplicación de la robótica de servicios y mayor eficiencia en la robótica industrial. El campo de aplicaciones potenciales va, 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 dispares en entornos poco o nada estructurados. Los resultados del proyecto pueden ser beneficiosos en todos los ámbitos de la robótica en que sea necesario sujetar objetos o piezas, desde la producción industrial misma hasta sectores como mantenimiento, montaje, desguace, manipulación en reciclado, y robótica asistencial, entre otros.

VI. PUBLICACIONES DIRECTAMENTE DERIVADAS DEL PROYECTO

Las siguientes publicaciones directamente relacionadas con el proyecto permiten profundizar en los aspectos mencionados en secciones anteriores.

- 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.
- 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.
- 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.
- P. Iñiguez and J. Rosell. "Combining Harmonic Functions and Random Sampling in Robot Motion Planning: A lazy approach", 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.
- J. Rosell and M. Heise. "An Efficient Deterministic Sequence for Sampling-based Motion Planners", 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.
- I. Vazquez and J. Rosell. "Contact Tracking in Configuration Space for Haptic Rendering Purposes", 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.
- 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 ISBN 0-7803-8915-8), Barcelona, Spain, April 18-22, 2005, pp.778-783.
- 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.
- J. Rosell. "Sampling SE(3) with a Deterministic Sequence for 3D Rigid-Body Path Planning", 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. 2154-2159.
- J. Rosell and I. Vazquez. "Haptic Rendering of Compliant Motions using Contact Tracking in C-space", 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. 4223-4228.
- J. Rosell and P. Iñiguez. "Path Planning using Harmonic Functions and Probabilistic Cell Decomposition", 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. 1815-1820.
- 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 ISBN 0-7803-8915-8), Barcelona, Spain, April 18-22, 2005.
- R. Prado and R. Suárez. "Grasp Planning with Four Frictional Contacts on Polyhedral Objects", aceptado en SYROCO'06, Bolonia, Italy, September 2006.
- R. Suárez and G. Färber. "Wrist-position Parametrization for Fast on-line Determination of Grasp Configurations", aceptado en SYROCO'06, Bolonia, Italy, September 2006.
- J. Cornellà and R. Suárez. "Grasping force optimization using dual methods", aceptado en SYROCO'06, Bolonia, Italy, September 2006.