

MOGEDA: MODELO GENÉRICO DE DESENSAMBLADO AUTOMÁTICO

F. Torres, S. T. Puente, P. Gil, F.A. Candelas, F.G. Ortiz
medina@disc.ua.es, spuente@disc.ua.es, pgil@disc.ua.es, fcandela@disc.ua.es, fortiz@disc.ua.es
Grupo de Automática y Visión Artificial (<http://www.disc.ua.es/gava>)
Dpto. Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal
Escuela Politécnica Superior - Universidad de Alicante
Crtra. San Vicente, s/n, 03080 Alicante

Resumen

El desensamblado de productos es la clave del proceso de reciclado. En este artículo se plantea el modelado del proceso de desensamblado automático de productos. Se estudian, tanto los requerimientos necesarios para poder abordar el proceso de forma automática, como las herramientas necesarias para poderlo llevar a cabo: base de conocimiento basada en modelos y técnicas de reconocimiento y localización tridimensional de objetos mediante visión artificial.

Palabras Clave: Desensamblado Automático, Reconocimiento y Localización de Objetos, Visión Artificial, Robótica.

1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día el tejido industrial está obligado a desarrollar vías que permitan administrar los medios disponibles en consonancia con la preservación del medio ambiente, dentro de lo que se conoce como “Ingeniería verde”[6]. La competitividad existente actualmente lleva a las empresas a realizar cambios de diseño e introducir nuevos productos en el mercado, aumentando en poco tiempo unidades obsoletas (p. ej. productos electrónicos y eléctricos en general, mecánicos, etc.). En este proceso resulta fundamental el proceso de reciclado de las unidades obsoletas.

La clave del reciclado es el desensamblado, al permitir la separación de materiales y componentes y las sustancias tóxicas. Los materiales pueden ser empleados como nueva materia prima, y los componentes con el propósito de re-utilizarlos en nuevos productos.

El desensamblado automatizado es una futura tecnología que intenta realizar esta tarea, en creciente interés por diversas instituciones internacionales (Comunidad Económica Europea, Plan Nacional Español I+D+I, Swedish Waste Research Council, Swedish Institute of Production

Engineering Research, Swedish National Board for Industrial and Technical Developments, Instituto de Tecnología de Israel, etc.), constatado en programas y ayudas a la investigación en este campo (Proyecto Eureka “CLEANTECH”, Proyecto Europeo “Redesign of electromechanic products for reuse and recyclability with special attention to the copper problem”, Proyecto CICYT Español “Sistema robotizado de desensamblado automático basado en modelos y visión artificial”, Proyecto Sueco “Design for disassembly. technique for rational recycling”, etc.).

Las técnicas de desensamblado automático pueden ser empleadas no sólo en reciclado sino también en labores de mantenimiento. De esta forma es posible reemplazar tareas manuales de alto riesgo. En esta aplicación el grado de desensamblado depende del componente a reemplazar o de la labor a realizar. El proceso no concluye al desensamblar, continua con el posterior ensamblado que permita recuperar la operatividad del producto (p.ej. taller de vehículos, sustitución de pastillas de frenos, cambios de aceite, ruedas, etc). En estos casos las tareas de desensamblado sirven de aprendizaje para el posterior ensamblado.

En la sección 2 de este artículo se plantean las diferencias y similitudes entre los procesos de desensamblado y ensamblado. En el apartado tercero se ponen de manifiesto los distintos tipos de desensamblado. La automatización del proceso a través de una célula flexible de fabricación se aborda en el punto cuarto. Posteriormente, en el punto 5 se define el modelado del proceso de desensamblado, basado en modelos y visión artificial. La aplicación a un caso experimental se muestra en la sección 6. El artículo finaliza con las conclusiones y los agradecimientos.

2 DESENSAMBLADO FRENTE A ENSAMBLADO

La incertidumbre existente con respecto al producto a desensamblar, el estado de conservación del

mismo, las variaciones estructurales que ha podido sufrir, el gran número de fabricantes existentes y su gama de productos, etc., hacen que el proceso de automatización resulte complejo. En contraste a los sistemas de ensamblado, en los que son conocidos a priori tanto la totalidad de elementos como la secuencia exacta de operaciones a realizar, el desensamblado automático requiere mayor capacidad de control on-line y mayor grado de flexibilidad y adaptabilidad [7].

Los sistemas de desensamblado difieren de los de ensamblado en tres aspectos[5]:

- El estado del producto a desensamblar no es conocido.
- El grado de desensamblado necesario puede variar para un mismo producto en función de las necesidades materiales.
- El desensamblado completo del producto no suele ser necesario.

2.1 TIPOS DE PRODUCTOS

Los productos se pueden clasificar atendiendo a la probabilidad de que su configuración original haya sido modificada a lo largo de su vida útil. Productos cerrados son aquellos en que el grado de reconfigurabilidad es bajo (p.ej. una cámara de vídeo, teléfono, etc. es poco probable que su estructura interna haya sido modificada). Por el contrario, en productos denominados abiertos, el grado de reconfigurabilidad es alto y es muy probable que su estructura interna se haya podido alterar con respecto a la original (p.ej. en un PC se han podido ir añadiendo diferentes tarjetas, módulos de memoria, dispositivos E/S, etc.).

El proceso de desensamblado de productos de arquitectura abierta presenta la máxima incertidumbre, lo que aumenta la complejidad del sistema. En el ensamblado esta dificultad no aparece, al resultar para este proceso todos los productos cerrados.

3 TIPOS DE DESENSAMBLADO

Cualquier producto a desensamblar está compuesto de componentes y uniones o elementos de enlace.

3.1 COMPONENTES

Los componentes pueden ser piezas individuales (disco de freno de un vehículo, carcasa de un PC, etc) o un conjunto de piezas individuales enlazadas entre sí que conforman un subproducto (motor de un vehículo, disco duro de un PC, etc) [5]. La característica fundamental que debe poseer un componente es que desde el punto de vista de la secuencia de desensamblado se considere como

unidad individual, independientemente de que posteriormente a su vez se pueda desensamblar en otros componentes.

3.2 ENLACES

Las uniones o elementos de enlace permiten realizar la conexión entre componentes. Pueden ser de dos tipos: reversibles e irreversibles. La unión es irreversible cuando no es posible su eliminación sin producir una rotura de material (p.ej. soldadura, remaches, etc). El elemento de enlace es reversible si es posible eliminarlo mediante un movimiento inverso al realizado en el proceso de ensamblado (p.ej. tornillos, tuercas, etc). Sin embargo, una unión reversible se puede convertir en irreversible si se ha deteriorado el material que la conforma (p.ej. tornillo con la cabeza rota, tuerca gastada, etc).

3.3 TIPOS DE DESENSAMBLADO

En función del tipo de unión existente da lugar a diferentes clasificaciones del proceso de desensamblado:

- Desensamblado no destructivo: se puede realizar cuando se pretende separar dos componentes enlazados mediante una unión reversible, empleando la herramienta adecuada.
- Desensamblado destructivo: se realiza cuando es necesario separar dos componentes unidos mediante un enlace irreversible. Hay que emplear una herramienta de corte.

4 CÉLULAS FLEXIBLES DE DESENSAMBLADO

La automatización industrial tiene sentido cuando se acomete sobre un proceso que presenta un cierto volumen de operaciones a realizar repetidamente. Desde este punto de vista, el proceso de desensamblado automático se justifica cuando una célula flexible de fabricación sea capaz de realizar de forma constante operaciones de desensamblado. Al contrario que en procesos de ensamblado, donde la fabricación de un mismo tipo de producto durante ciertos períodos de tiempo es usual y conocida en función de la demanda del mismo; en el proceso de desensamblado no es así, la entrada de un mismo tipo de producto rara vez se produce, y viene marcada por gran variedad de modelos, incluso en muchos casos de productos distintos, presentando además un alto grado de incertidumbre tanto en la secuencia de aparición de los mismos como en su configuración estructural. Por tanto, para que una célula flexible de fabricación tenga sentido emplearla en labores de desensamblado, es necesario que presente una gran reconfigurabilidad

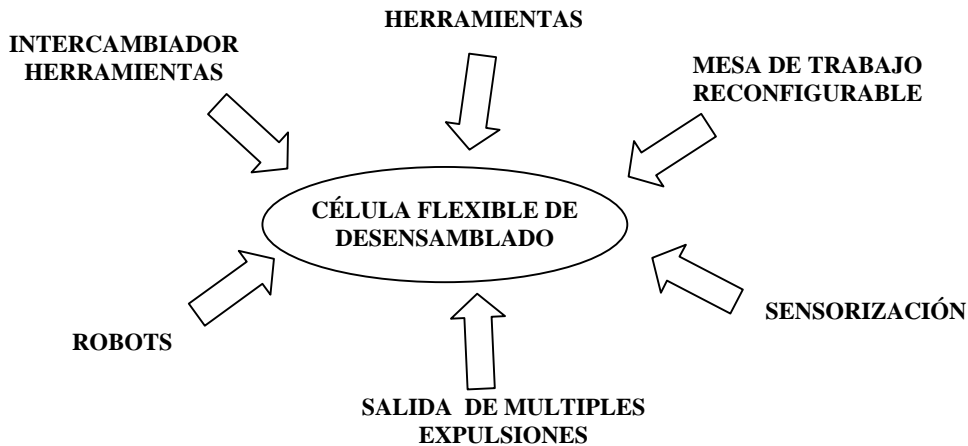


Figura 1: Composición de una célula flexible de desensamblado automático

y adaptabilidad ante la aparición de diferentes productos, a ser posible de forma automática y en el menor tiempo. Únicamente así se puede garantizar una determinada cadencia en el proceso, y la automatización del mismo está justificada.

Una célula flexible de desensamblado debe estar compuesta de los siguientes componentes (Figura 1):

- Uno o varios robots que permitan realizar las distintas operaciones.
- Intercambiador automático de herramientas para cada robot.
- Conjunto amplio de herramientas (destornilladores, llaves, elementos de corte, taladro, ventosas, pinzas...)
- Mesa de trabajo automatizada fácilmente reconfigurable, de forma que permita sujetar gran cantidad de productos de diversa índole y tamaño.
- Sensorización (visión artificial, sensores de fuerza, de presencia, de rango...)
- Salida de múltiples expulsiones para distintos componentes del producto.

5 MODELADO DEL PROCESO DE DESENSAMBLADO

El proceso de desensamblado requiere seguir una secuencia de operaciones para poder ser realizado. Se parte de que se dispone de una base de conocimiento de las pautas generales de la secuencia y las operaciones a realizar. En este apartado se modela la base de conocimiento necesaria y la secuencia de operaciones para desensamblar cualquier producto. También se introduce la herramienta de reconocimiento y localización a emplear. Es, por tanto, un Modelo Genérico de Desensamblado Automático (MOGEDA).

5.1 BASE DE CONOCIMIENTO

La automatización del proceso de desensamblado requiere de una herramienta que defina el mínimo conocimiento necesario para poder abordar el proceso. La finalidad es definir las pautas genéricas a seguir (P.ej. para desensamblar un PC es preciso conocer que, previamente a cualquier operación, es necesario quitar la carcasa). Posteriormente, el sistema se completa on-line mediante el reconocimiento y localización sensorial de objetos basado en modelos, de forma que sea posible generar estrategias de desensamblado automático (P.ej. siendo conocido que es necesario quitar la carcasa, detectar automáticamente que tipo de elementos de enlace y donde están situados). La base de conocimiento está compuesta por las siguientes bases de datos.

5.1.1 Base de datos de productos

La base de datos de productos contiene información de cualquier producto o subproducto a desensamblar. Esta base de datos contiene la siguiente información para cada producto:

- Características identificativas del producto: se trata de una lista de características sobre las que es posible llegar a identificar de forma unívoca un determinado producto. Pueden ser características geométricas, fotométricas o estructurales.
- Estrategias de Desensamblado: mantiene información sobre la relación jerarquizada de montaje de los componentes de un determinado producto, es decir, que orden se ha de seguirse para desensamblar un determinado producto. Esta información puede obtenerse directamente del proceso de ensamblado original del producto en su proceso de fabricación.

- Lista de componentes: mantiene información de todos los componentes que potencialmente pueden formar parte del producto, independientemente de que en el proceso de fabricación (ensamblado del producto) estuvieran presentes o no (p.ej. en un PC mantendría una lista de componentes que pueden formar parte del mismo). Esta información es necesaria para que el proceso de desensamblado pueda buscar, tanto componentes existentes en el proceso de fabricación, como otros que posteriormente se hayan podido ir incorporando (p.ej. una tarjeta PCI en un PC).

5.1.2 Base de datos de componentes

Esta base de datos contiene la siguiente información de cualquier componente:

- Características identificativas del componente: se trata de una lista de características sobre las que es posible llegar a identificar de forma unívoca un determinado componente. Pueden ser características geométricas, fotométricas o estructurales.
- Tipos de enlace: mantiene información sobre los distintos tipos de enlace con los que se puede llegar a conectar un componente con otro. Un componente puede requerir de más de un tipo de enlace (p.ej. una tarjeta de un PC tiene generalmente un tornillo y la conexión en el bus).
- Número de cada tipo de enlace: almacena el número de enlaces de un determinado tipo que potencialmente pueden existir.

5.1.3 Base de datos de enlaces

Esta base de datos contiene la siguiente información de cualquier enlace:

- Características identificativas del enlace: se trata de una lista de características sobre las que es posible llegar a identificar de forma unívoca un determinado enlace. Pueden ser características geométricas, fotométricas o estructurales.
- Tipo de enlace: mantiene información sobre si el enlace es reversible o irreversible.
- Herramienta necesaria: almacena el tipo de herramienta que se necesita para poder eliminar el enlace.
- Movimientos para eliminarlo: contiene información sobre los movimientos que han de realizarse para eliminar el enlace (p.ej. giro y desplazamiento en un tornillo)
- Herramientas alternativas: contiene una lista de posibles herramientas alternativas a usar

en caso de que no fuese posible la eliminación por la herramienta prevista (p.ej. un tornillo deteriorado puede tener como herramienta alternativa un proceso de eliminación destructivo por corte).

5.1.4 Base de datos de herramientas

Esta base de datos contiene la siguiente información de cualquier herramienta:

- Identificador de herramienta: información para identificar un tipo de herramienta.
- Tamaño: describe el tamaño. Un tipo de herramienta puede tener varios tamaños (p.ej. destornillador plano).

5.2 SECUENCIA DE OPERACIONES

En este subapartado se modela la secuencia de operaciones genérica a seguir en cualquier proceso de desensamblado automático.

5.2.1 Definiciones

Para poder desensamblar un producto es necesario realizarlo de forma secuencial, de forma que generalmente es necesario separar determinados componentes para que otros puedan ser desensamblados (p.ej. para quitar la fuente de alimentación de un PC es necesario quitar primero la carcasa).

- *Def. Nivel de un Componente i : valor asignado al componente i , que se corresponde con el número de componentes que es necesario eliminar previamente, para que pueda ser separado mediante la eliminación de sus enlaces.* Todos los componentes que potencialmente se pueden separar en un determinado momento mediante la eliminación de sus enlaces se encuentran en el mismo nivel.
- *Def. Componentes del nivel j : conjunto de todos los componentes que pertenecen al nivel j .* Por tanto, dos componentes enlazados entre sí se encuentran en el mismo nivel. Igualmente, todos los componentes de un mismo nivel potencialmente puede ser separados.
- *Def. Componente listo para separarse: un componente i esta listo para poder ser separado de otro componente j , si y sólo si todos los componentes de niveles superiores han sido desensamblados previamente.*

5.2.2 Flujograma de la secuencia de operaciones

El flujograma se muestra en la figura 2. Se parte de la existencia de un producto en la mesa de trabajo

lista de componentes disponibles en la base de datos de productos.

Posteriormente, en el punto 2 del diagrama, se procede a la “*Identificación y Localización de Enlaces*”. Se realiza en un determinado nivel y una vez identificados los componentes a separar. La información necesaria se encuentra en la base de datos de componentes.

La herramienta empleada en ambas etapas para la identificación y localización se introduce en la subsección 5.2.3.

La selección de la herramienta, punto 3 del flujograma, con la que eliminar el enlace se realiza teniendo en cuenta la información existente en la base de datos de enlaces.

La forma de implementar la eliminación del enlace (Punto 4 del flujograma) se lleva a cabo teniendo en cuenta los movimientos registrados en la base de datos de enlaces.

Posteriormente, si la eliminación no es posible se buscan caminos alternativos que permitan finalmente llevarla a cabo.

El proceso concluye cuando no quedan componentes por separar en el producto.

5.2.3 Herramienta de reconocimiento y localización

La herramienta empleada está basada en la implementación de un sistema de reconocimiento y localización de objetos tridimensionales mediante técnicas de visión artificial. Consiste en la identificación de uno o más objetos en una imagen según el modelo registrado en una base de datos, junto con la estimación de la posición. El modelado del objeto en la base de datos puede ser de tres fuentes distintas, modelo construido mediante CAD-CAM, desde vistas de un objeto prototipo o modelarlo sobre la base de formas geométricas conocidas.

El reconocimiento de objetos tridimensionales consiste en la formación de correspondencias entre las características detectadas en la imagen y las correspondientes a modelos o representaciones de objetos previamente almacenadas. Las etapas típicamente asociadas con el reconocimiento basado en modelos son [3]:

- **Indexing:** consiste en la selección de un conjunto de modelos candidatos, que serán posteriormente empleados en la siguiente etapa. Es responsabilidad de la etapa rechazar aquellos modelos no presentes en la escena.

- **Matching:** es la selección del modelo candidato, así como de un conjunto de correspondencias entre las características de la imagen y las del modelo, conformando lo que se denomina una hipótesis.
- **Localización:** consiste en la estimación de una transformación (rotación y traslación), que, aplicada a las características del modelo en el conjunto de correspondencias permite reconocer el objeto en la imagen.
- **Verificación:** es la etapa final que permite certificar la bondad de las hipótesis sobre la imagen. Una de las tareas a realizar es decidir que características van a ser significativas para que desde una imagen procedente de un sensor de intensidad o de rango se puedan reconocer los objetos presentes en ella. La variedad de representación de objetos y de estrategias de reconocimiento ha dado lugar a diversos tipos de características y métodos de extracción. Los descriptores invariantes son normalmente usadas cuando representan una característica propia de un objeto que los distingue del resto, independientemente del punto de vista, sin embargo en determinadas aplicaciones puede ser necesario reconocer el punto de vista desde el que ha sido captado el objeto.

En las aplicaciones de desensamblado es preciso no sólo reconocer conjuntos y analizar las diferentes piezas que lo componen (alguna de las cuales pueden estar parcialmente ocluidas), si no que es también necesaria la localización de forma precisa de cada uno de los componentes, que permita ejecutar de forma correcta una estrategia de desensamblado.

Dentro de las técnicas de localización tridimensional de objetos que se pueden encontrar en la bibliografía, se distingue [3] entre aquellas basadas en primitivas bidimensionales, y aquellas basadas en primitivas tridimensionales.

En el primer caso la localización tridimensional se establece en base a agrupaciones estructurales de las características 2D y su correspondencia con estructuras candidatas del modelo 3D. La correspondencia integra por tanto la transformación de perspectiva entre el modelo y su imagen. Huttenlocher y Ullman [4] presentan sistemas de localización de este tipo.

La pérdida de información tridimensional de las primitivas de una imagen es resuelta de forma parcial en base a las relaciones estructurales entre las diferentes características de un objeto, y las restricciones de la transformación proyectiva. En

muchos caso estas restricciones no dan lugar a una única solución.

Las técnicas basadas en primitivas tridimensionales presentan importantes ventajas debido a la mayor información geométrica que incorporan facilitando el proceso de localización. Flynn y Jain [2] describen en su sistema BONSAI un algoritmo de cálculo de la transformación de posición y rotación. Faugeras y Herbert [1], en su sistema 3D-POLY, modelan la localización de las primitivas mediante cuaternios que son estimados mediante un alineamiento de superficies planas y vértices del objeto.

6 APLICACIÓN AL DESENSAMBLADO AUTOMÁTICO DE UN PC

El modelo de desensamblado propuesto se aplica al desensamblado de un PC. Este producto se puede clasificar como de estructura abierta, lo que le confiere un grado mayor de complejidad debido a la gran variedad de configuraciones y modelos que pueden presentarse en la práctica.

Se ha considerado un grado de desensamblado intermedio, de forma que permita la separación en componentes que puedan ser posteriormente reutilizados, o bien, seguir nuevamente un proceso de desensamblado de los mismos. Los componentes a separar son: placas de circuitos impresos (placa base del PC, tarjetas y memorias); fuente de alimentación; periféricos (unidades de disco); carcasa del PC y pilas.

6.1 CÉLULA EMPLEADA

La célula de desensamblado automático empleada consta actualmente de lo siguientes componentes:

- Robot Scorbot ER IX dotado de cinco grados de libertad (Figura 3).

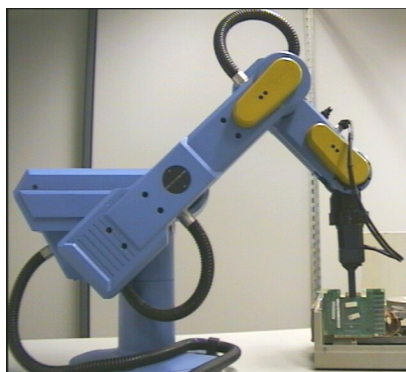


Figura 3: Robot Scorbot ER IX

- Herramientas (Figura 4): de sujeción (pinzas y ventosas) que permitan separar los componentes una vez eliminados los enlaces. Herramientas de eliminación de enlaces (destornilladores). Los enlaces presentes en un PC generalmente son tornillos y conexiones eléctricas, que pueden ser eliminadas con la ayuda de elementos de sujeción.

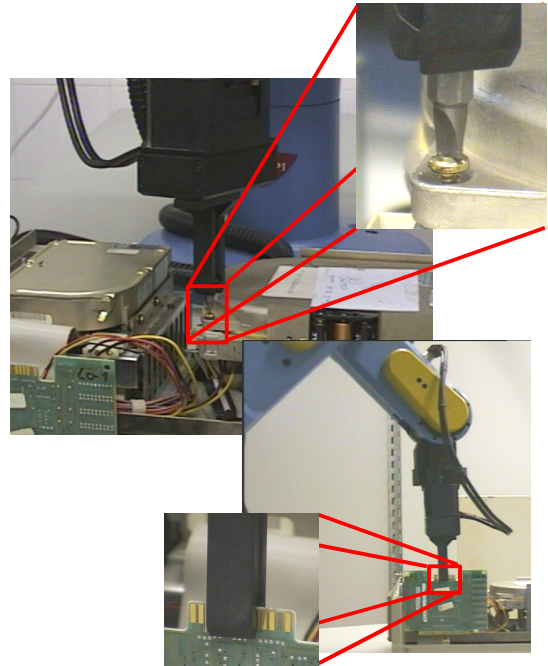


Figura 4: Herramientas

- Sensorización de visión artificial (Figura 5): Par estereoscópico, cámara en el extremo robot y cámaras situadas en el entorno de trabajo.

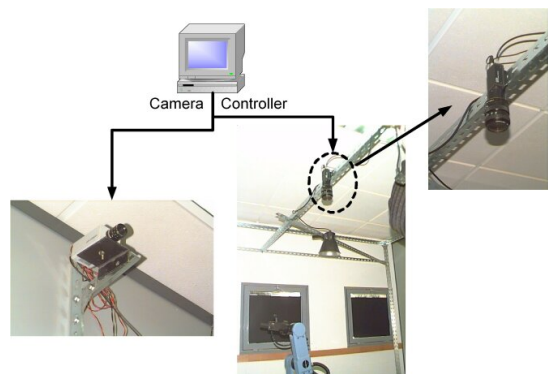


Figura 5: Sensorización

6.2 ESTRUCTURA DEL SISTEMA

El sistema empleado en la aplicación se compone de la célula descrita en el subapartado anterior y de otros componentes de control y cálculo, esquematizados en la figura 6.

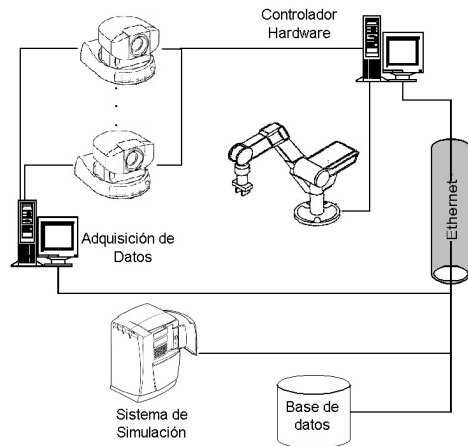


Figura 6: Esquema del sistema propuesto

La arquitectura es distribuida sobre una red local ethernet 100 Mbs. Cada unidad de proceso efectúa las tareas específicas para la que está destinada.

El sistema de simulación es el corazón de la aplicación, se encarga tanto de simular previamente todas las operaciones a realizar, como de controlar posteriormente la aplicación on-line. Esta compuesto por una estación de trabajo Octane R12000 de Silicon Graphics. Una de sus funciones principales es definir las trayectorias a seguir por el brazo robot a partir de la información de alto nivel procedente de la unidad de adquisición de datos.

El controlador hardware se encarga tanto de generar las ordenes de bajo nivel al robot a partir de las trayectorias procedentes del sistema de simulación, como de controlar adecuadamente los parámetros del sistema sensorial (zoom, convergencia, pan, tilt...).

Su función principal es realizar tanto tareas de control visual sobre el robot como reconocimiento y localización de los distintos elementos del producto a desensamblar. Contrastando la información existente en la base de datos con la procedente de la adquisición y procesamiento a bajo nivel de las imágenes capturadas por las cámaras. El hardware empleado es una tarjeta Genesis de la casa Matrox.

La base de conocimiento necesaria compuesta por las bases de datos descritas en la subsección 5.1 se implementa en la unidad de bases de datos, conectada con el resto de unidades a través de la red ethernet.

7 CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado el modelado genérico de un sistema de desensamblado automático de productos, tanto desde el punto de vista de la composición física (robots, sensorización, etc.), como de la conceptualización de la estructura, herramientas de reconocimiento y localización necesarias y estrategias a emplear en el proceso.

Actualmente se está investigando en la aplicación de nuevas herramientas de reconocimiento y localización de objetos, así como en la implementación de nuevos algoritmos de estrategias de desensamblado que, conjuntamente, permitan abordar mayor variedad de productos y aumentar la versatilidad de la aplicación.

Agradecimientos

Tanto los trabajos realizados como los futuros están enmarcados en el proyecto de la CICYT "Sistema Robotizado de Desensamblado Automático basado en Modelos y Visión Artificial" (TAP1999-0436).

Referencias

- [1] Faugeras, O., Hebert, M. (1986) "The representation, recognition, and locating of 3D objects". *Int. J. Robotics Research* pp. 27-52.
- [2] Flynn, P.J., Jain, A.K., (1991) "BONSAI:3D object recognition using constrained search", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 1066-1075.
- [3] Flynn, P.J., Jain, A.K., (1994) *Handbook of Pattern Recognition and Image Processing: Computer Vision, Vol.2*, Academic Press, San Diego.
- [4] Huttenlocher, D.P., Ullman, S. (1987) "Object recognition using alignment", *Proc. Int. Conf. Comp. Vision*, 1st, London, pp. 102-111.
- [5] Lee, K.M., Kuren, M.M.B., (2000) "Modeling and Supervisory Control of a Disassembly Automation Workcell Based on Blocking Topology", *IEEE T. On Robotics and Automation*, pp.67-77.
- [6] Navin-Chandra, D., (1991) "Design for environmentability", *Proc. 3º Int. Conf. Design Theory and Methodology*, pp.119-125.
- [7] Zussman, E., Zhou, M., (1999) "A Methodology for Modeling and Adaptive Planning of Disassembly Process", *IEEE T. On Robotics and Automation*, pp.190-195.