

SISTEMA AUTOMÁTICO DE VERIFICACIÓN DE TAREAS DE DESENSAMBLADO

L. Payá, J. Pomares, F. Torres
Grupo de Automática, Robótica y Visión Artificial.
Dpto. Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal.
Universidad de Alicante.
Crtra. San Vicente s/n A.P. de correos 99.
laura.paya@ua.es, {jpomares, ftores}@disc.ua.es

Resumen

La demanda actual de reciclaje lleva consigo la necesidad de desarrollo de sistemas de desensamblado automático. Estos sistemas requieren la presencia de un elemento verificador que determine si el proceso se realiza según lo previsto o si, por lo contrario, es necesaria una rectificación del proceso de desensamblado.

Este artículo realiza una descripción de los distintos componentes de un sistema encargado de realizar la verificación de un sistema de desensamblado automático. Se muestra un modelo del sistema basado en diferentes niveles de Redes de Petri que capta con sucesivo nivel de "granularidad" las acciones a realizar por el sistema de verificación. Estas acciones, a menudo compuestas de procesamientos de imágenes, también habrán de determinar la localización del sistema de visión para captar suficiente información del entorno para determinar si el proceso de desensamblado se realiza de forma correcta.

Palabras Clave: Desensamblado automático, verificación, visión artificial, Redes de Petri.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, con el avance tecnológico que vivimos y los nuevos mercados especializados en la tecnología, se ha creado una acumulación de residuos, los cuales, previo desensamblado de sus componentes, pueden ser reciclados de forma que no perjudiquen al medio ambiente y además puedan ser reutilizados en la producción de nuevos montajes.

Cada vez más se introduce en el proceso de diseño de nuevos productos el reciclaje de los mismos. La optimización de recursos con su reutilización es motivo de recientes investigaciones debido al interés que esto supone. El reciclaje permite, por una parte,

economizar y por otra reducir el impacto ecológico del producto una vez acabado su ciclo de vida.

En todos los procesos de desensamblado, en los que los componentes son separados del ensamblaje original, es necesario de alguna manera saber si dicho proceso se está realizado adecuadamente con el fin de que el producto resultante de la secuencia de desensamblados sea el esperado y se puedan aprovechar el máximo número de componentes [3]. De esta forma, se ha visto necesario incorporar un módulo adicional a dichos procesos de desensamblado que verifique el estado en el que se encuentra dicho proceso, con el fin de continuar o volver a repetir la última acción.

Puesto que el motivo del desensamblado es el de reutilizar los componentes, se empleará un desensamblado no destructivo. Para comprobar si este desensamblado se realiza de forma correcta, se pueden utilizar diversas técnicas aplicadas de forma genérica para cualquier tipo de proceso, como pueden ser las Redes de Petri coloreadas [2], Redes de Petri de alto nivel [7], o las Redes de Petri temporales [1].

En este artículo se va a proponer un sistema para verificar las tareas del desensamblado de ordenadores aprovechando la flexibilidad que ofrece para este tipo de procesos las Redes de Petri. Para ello, el artículo se organiza de la siguiente forma: en el apartado 2 se describen los componentes del sistema de verificación, en el tercero la detección de colisiones de la cámara y el entorno, en el cuarto los diferentes niveles del sistema de verificación, para acabar mostrando los resultados obtenidos, conclusiones y trabajos futuros.

2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE VERIFICACIÓN

El sistema de verificación de desensamblado se compone de una mesa giratoria de trabajo (ESHED ROBOTEC) donde colocar el PC a desensamblar. Esta mesa puede rotarse 360° y permite controlar su

posición de manera que pueda orientarse debidamente según la acción de desensamblado o verificación que se esté realizando. En la Figura 1 se muestra la mesa giratoria junto con el resto de componentes del sistema durante una operación de desensamblado.

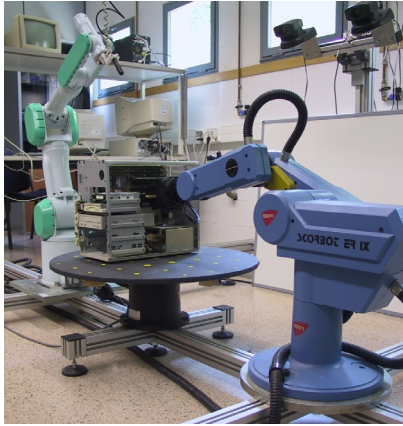


Figura 1: Mesa giratoria en posición de desensamblado.

Además, se dispone de dos robots encargados de realizar el proceso de desensamblado y verificación (SCORBOT ER-IX de ESHED ROBOTEC y PA-10 de Mitsubishi). El primero se encargará de ejecutar dicho proceso de desensamblado, utilizando para ello los componentes adecuados (pinzas, ventosas, etc.), mientras que en el segundo de ellos se dispone de una cámara en su extremo para verificar el proceso.

El sistema de adquisición de imágenes se realiza mediante una minicámara blanco y negro JAI CV-M536 ubicada en el extremo del robot PA-10. Se dispone de la tarjeta MATROX GENESIS para adquisición y procesamiento de imágenes.

En este artículo se presenta una metodología para la determinación de la localización más adecuada de la cámara a partir del estado en el que se encuentre el proceso de desensamblado.

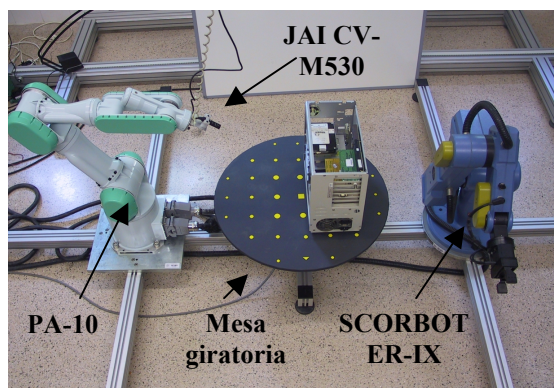


Figura 2: Arquitectura del sistema.

En la Figura 2 se muestra la disposición de cada uno de los componentes que intervienen en el sistema de verificación propuesto.

Utilizando esta arquitectura se pretende realizar un proceso de verificación de las distintas subtarefas que intervienen en el proceso de desensamblado de un PC, con el fin de conocer si dicho proceso se está realizando de la forma adecuada.

Haciendo uso del sistema de visión artificial se obtendrán imágenes del estado del proceso de desensamblado que serán la principal fuente de información para la determinación de si una determinada acción de desensamblado se ha realizado de forma correcta.

3 DETECCIÓN DE COLISIONES CÁMARA-ENTORNO

A lo largo del proceso de desensamblado que se pretende verificar, habrá de posicionarse la cámara adecuadamente para que, realizando los procesamientos adecuados con el sistema de visión artificial, se determine si el proceso de desensamblado se lleva a cabo correctamente.

Además de la información visual, para el proceso de verificación se emplea un modelo geométrico del entorno de trabajo y su modelo relacional. Dentro de las características geométricas se dispone de un modelo CAD (Figura 3) del producto cuyo desensamblado se pretende verificar. El modelo relacional almacena información relativa a la dependencia y disposición de cada componente en el ensamblaje [6].

Durante el proceso de verificación, cuyos detalles se describirán en el siguiente apartado, habrá de detectarse posibles colisiones entre los distintos componentes anteriormente citados. Para ello, partiendo del modelo de información anteriormente comentado y de los datos procedentes del sistema de visión artificial, se determinan las posibles colisiones entre el robot dotado del sistema de visión y el entorno.

El método de detección de colisiones implementado hace uso del modelo geométrico y relacional mencionado anteriormente y está basado en programación lineal. Los detalles de su implementación pueden obtenerse en nuestros trabajos anteriores [5].

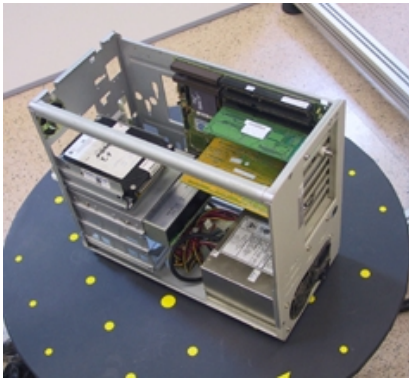
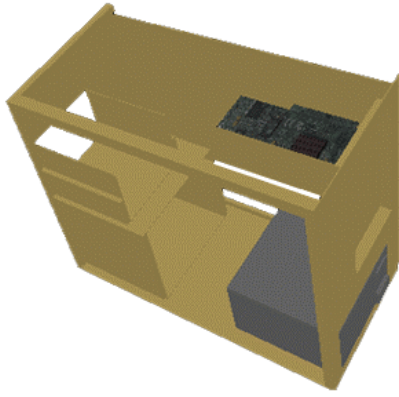


Figura 3: Modelo geométrico del PC a desensamblar y PC real modelado

4 NIVELES DE VERIFICACIÓN

Las Redes de Petri son una herramienta que se utiliza en una gran variedad de sistemas y procesos. Murata [4] expone una introducción a las Redes de Petri muy amplia. De manera formal, una Red de Petri se define como una tupla de 5 elementos $RdP=(P, T, F, w, M_0)$ donde: $P = \{P_1, \dots, P_m\}$ es un conjunto finito de lugares; $T = \{t_1, \dots, t_n\}$ es un conjunto finito de transiciones; $F \subseteq (P \times T) \cup (P \times T)$ es el conjunto de arcos; $w: F \rightarrow \{1, 2, \dots\}$ es la función de pesos; $M_0: P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ número de tokens en cada nodo tipo lugar; con $(P \cap T) = \emptyset \wedge (P \cup T) \neq \emptyset$.

En una Red de Petri, los estados se asocian a los lugares, y los eventos a las transiciones. Una transición t está activada si cada lugar de entrada $P_i \in \cdot t$ se marca con al menos $w(P_i, t)$ tokens, donde $w(P_i, t)$ es el peso asociado al arco entre P_i y t . Una vez activada, la transición se disparará cuando su evento asociado se produzca. Al disparar una transición t , $w(P_i, t)$ tokens se eliminan de cada lugar P_i de entrada a dicha transición y $w(P_i, t)$ tokens se añaden a los lugares de salida de la transición t . También se utilizarán arcos inhibidores que conecta un lugar P_i con una transición t , y sólo activa t cuando P_i no tiene tokens.

En el sistema de verificación propuesto se establecen diferentes niveles de Redes de Petri con el fin de poder optar por una mayor o menor granularidad en el proceso, para ello se va a emplear una notación gráfica, en la que los círculos se corresponderán con los lugares y los rectángulos con las transiciones, los puntos indicarán los tokens y las flechas serán los arcos con sus pesos correspondientes. Por definición, cuando un arco no tiene etiqueta, tendrá como peso un 1. Los arcos inhibidores se van a representar por un círculo en el extremo del arco.

4.1 NIVEL DE PROCESO

El sistema de verificación se ejecuta una vez que el sistema de desensamblado finalice una determinada tarea. En este momento, el sistema de verificación comprueba si el desensamblado se ha realizado con éxito, y si no se ha realizado correctamente, se encargará de informar al proceso de desensamblado que repita esta última tarea.

El nivel de proceso se corresponde con el de menor granularidad y está compuesto por una Red de Petri a su vez dividida en dos tipos de lugares y transiciones, unos destinados al desensamblado y otros a la verificación (Figura 4). La Red de Petri de desensamblado capta las posibles acciones a realizar durante el proceso de desensamblado, mientras que la Red de Petri de verificación determina las operaciones a realizar para comprobar si una determinada acción de desensamblado se ha realizado con éxito.

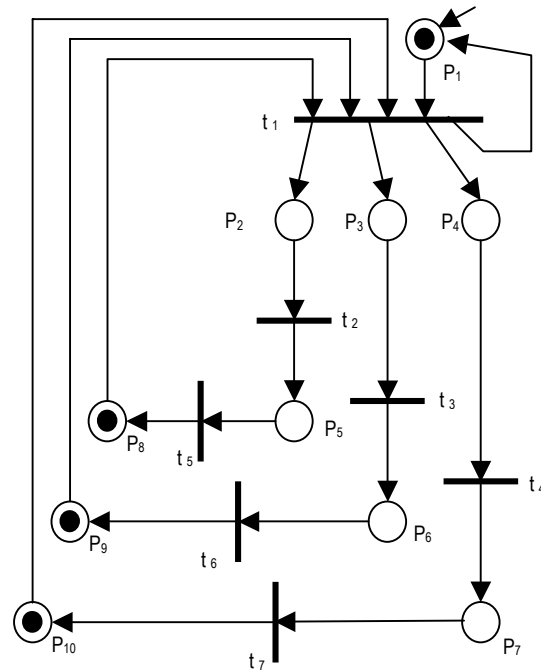


Figura 4: Red de Petri correspondiente al nivel de proceso.

El significado de cada una de las transiciones y lugares que aparecen en la Red de Petri de la figura 4 es el que se muestra en las tablas 1 y 2:

Transiciones	
t1	Determinar componente a desensamblar
t2	Desensamblar fuente de alimentación
t3	Desensamblar tarjeta de red
t4	Desensamblar CD-ROM
t5	Verificar desensamblado de fuente de alimentación
t6	Verificar desensamblado tarjeta de red
t7	Verificar desensamblado CD-ROM

Tabla 1: Transiciones utilizadas en la Red de Petri de la Figura 4.

Lugares	
p1	Comienzo del proceso de desensamblado
p2	Inicio del desensamblado de la fuente de alimentación
p3	Inicio del desensamblado de la tarjeta de red
p4	Inicio del desensamblado del CD-ROM
p5	Desensamblada fuente de alimentación
p6	Desensamblada tarjeta de red
p7	Desensamblado CD-ROM
p8	Desensamblado de la fuente de alimentación verificado
p9	Desensamblado de la tarjeta de red verificado
p10	Desensamblado del CD-ROM verificado

Tabla 2: Lugares de la Red de Petri de la Figura 4.

En la figura 4 se puede observar como tras cada tarea de desensamblado se va llamando a la transición correspondiente en la Red de Petri de verificación.

Se observa que como resultado de esta transición, se procedería con la siguiente tarea de desensamblado si el sistema de verificación determina que el proceso de desensamblado se ha realizado correctamente, y en caso contrario se repite la ultima tarea de desensamblado llevada a cabo.

4.2 NIVEL DE TAREA

Un segundo nivel del proceso también se compondría por varias Redes de Petri, una para cada subsistema de verificación, en las cuales se modela los diferentes estados por lo que debe pasar la verificación de una determinada tarea de desensamblado para darla como válida y, en caso de no llegar a un lugar válido, llamar al lugar adecuado de la Red de Petri de nivel superior antes descrita para repetir el último desensamblado realizado.

De igual forma, si el resultado de la verificación termina en un estado válido, se procederá a llamar al nivel superior (nivel de proceso) indicándole que puede continuar con el desensamblado de otro objeto.

Con esto lo que se pretende es, ante futuras modificaciones del modelo, poder ajustar de forma sencilla el proceso de verificación de tareas de desensamblado. También se podrán coordinar en un futuro las tareas de desensamblado con las de verificación de forma que puedan a llegar a ser concurrentes y se pueda realizar dicha verificación on-line.

4.3 NIVELES INFERIORES

Por último, se encuentran los niveles inferiores del proceso, que se encargan de ejecutar tareas concretas y básicas definidas en las transiciones de las diferentes Redes de Petri del nivel de tarea. En estos niveles inferiores de todo el proceso se encuentran definidas acciones comunes a varias Redes de Petri del nivel de tarea, que a menudo se tratan de secuencia de procesamientos de imágenes. De esta forma, se pueden reutilizar dichas funciones en los diferentes procesos de desensamblado y/o verificación del desensamblado.

Con esto lo que se consigue es estandarizar el proceso desde los niveles inferiores, de forma que ante cambios en la implementación de una determinada acción de verificación, se puede modificar el nivel inferior asociado y, de forma inmediata, todas las tareas que de alguna forma necesitaban de esta función quedan actualizadas con este cambio.

5 RESULTADOS

A partir de la definición del sistema de verificación descrito en los apartados anteriores, y de los modelos basados en Redes de Petri presentados, a continuación se van a mostrar los resultados obtenidos para la verificación de la tarea de desensamblado de un componente de un PC, más concretamente, se va a verificar el correcto desensamblado de la fuente de alimentación.

El nivel de tarea correspondiente a la transición “verificar desensamblado de la fuente de alimentación” se corresponde con una Red de Petri que determina que son necesarias dos vistas para determinar si se ha realizado de forma correcta el desensamblado de la fuente de alimentación, estas vistas se corresponden con las vistas posterior y lateral. La localización de la cámara se determina a partir del modelo geométrico empleando los algoritmos anteriormente mencionados. Estas vistas se corresponden en el modelo geométrico con las mostradas en la Figura 5.

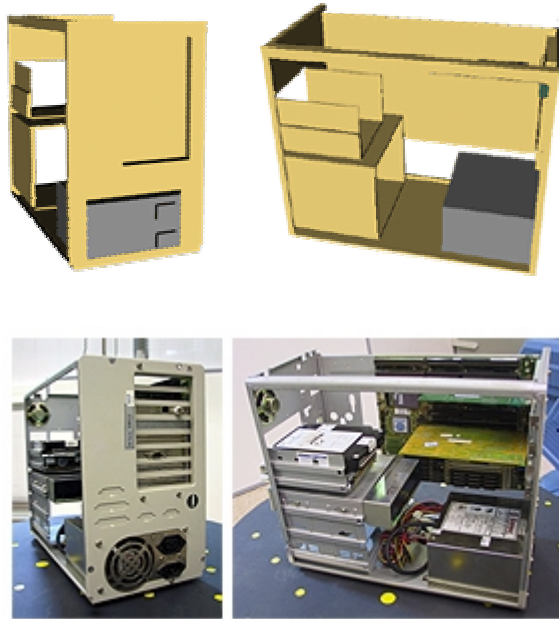


Figura 5: Modelo geométrico y su correspondiente real utilizado para la localización de la cámara.

A partir de la localización teórica determinada a partir de los modelos previos, el sistema implementado actúa sobre el robot dotado del sistema de visión para captar secuencia de imágenes que posteriormente habrán de procesarse para realizar la comprobación. En las Figuras 6 y 7 se muestra una secuencia de fotos en la que se observa el sistema de verificación desarrollado.

Los niveles inferiores de la Red de Petri de verificación describen de forma detallada el conjunto de procesamientos de imágenes requeridos de cara a la determinación de si el proceso de desensamblado ha finalizado de forma correcta. En el caso que se está detallando, verificación del desensamblado de la fuente de alimentación, estos procesamientos se distinguen entre las dos vistas utilizadas:

- Vista posterior. En este caso los procesamientos están encaminados a la detección de los conectores característicos

de las fuentes de alimentación. En la figura 8 se observa una detección de bordes preliminar, en la que claramente se puede extraer la presencia del conector y, por tanto, de la fuente de alimentación.

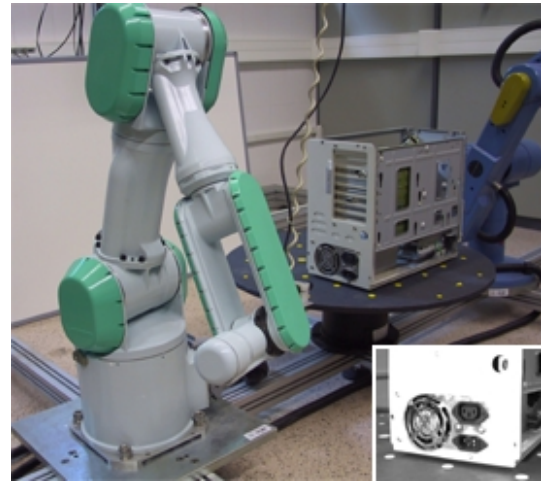


Figura 6: Robot verificando la presencia de la fuente de alimentación (vista posterior). Se muestra la imagen captada por la cámara del extremo del robot.

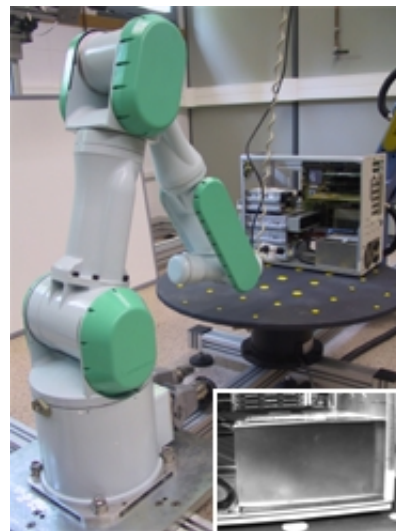


Figura 7: Robot verificando la presencia de la fuente de alimentación (vista lateral). Se muestra la imagen captada por la cámara del extremo del robot.

- Vista lateral. Ahora se pretende determinar un elemento con un volumen similar a la de la fuente de alimentación. En la figura 8 se observa el resultado de los procesamientos realizados sobre esta vista para la detección de la fuente de alimentación.

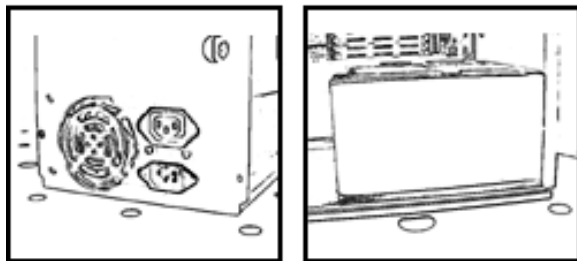


Figura 8: Procesamientos para la verificación del desensamblado

La ausencia de detección de alguna de las características anteriormente descritas implicaría que el sistema de verificación no detecta la fuente de alimentación, y, por tanto, se considera que se ha producido su desensamblado de forma correcta, activando en su caso la transición adecuada en el nivel de proceso de la Red de Petri de verificación.

6 CONCLUSIONES

En cualquier proceso de manipulación en general, y en particular durante un proceso de desensamblado, se hace necesaria la presencia de un elemento que observe dicho proceso y que determine en cada momento si éste se está realizando correctamente o si, por lo contrario, es necesario repetir una determinada acción. Se ha presentado en este artículo un sistema dirigido a la evaluación, empleando visión artificial, de un proceso de desensamblado.

El modelado del sistema de verificación propuesto, compuesto de diferentes niveles de Redes de Petri, permite describir con un nivel de detalle progresivamente mayor las acciones a realizar para realizar la evaluación. Utilizando este modelo se ha desarrollado un sistema que, ante una disposición del entorno en una determinada fase de desensamblado, determina la localización del sistema de visión así como las operaciones de visión artificial requeridas para la extracción de las suficientes características que determinen si una determinada acción de desensamblado se ha llevado a cabo correctamente.

Actualmente se está trabajando en planificar el proceso de verificación de forma que se realice la supervisión del desensamblado según avanza este último. Esto permitirá, en tiempo real, realizar una rectificación del proceso de desensamblado según se realiza éste, sin necesidad de que finalice una determinada acción.

Referencias

- [1] Barad, M., (1998) "Timed Petri Nets as a Verification Tool", *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, USA.
- [2] Chevron, D., Gerner, S., Skaf, A., Binder, Z., Descotes-Genon, B., David, B., Dubois, M., (1999) "Disassembly system modelling, supervision and control" *14th World Congress of International Federation of Automatic Control (IFAC)*, China.
- [3] Güngör A., Gupta S. M., (2001) "Disassembly sequence plan generation using branch-and-bound algorithm". *International Journal of Production Research*. Vol 39, No. 3, pp. 481 – 509.
- [4] Murata, T., (1989) "Petri Nets: properties, analysis and applications". *Proceedings of the IEEE*, Vol. 77 No. 4, pp. 541-580.
- [5] Pomares, J., Torres, F., Puente, S. T., (2001) "Disassembly movements for geometrical objects through heuristic methods", *SPIE International Symposium on Intelligent Systems and Advanced Manufacturing*, Vol. 4569 pp. 71-80. Boston, USA.
- [6] Puente, S. T., Torres, F., Pomares, J. (2001) "Product disassembly scheduling using graph models", *SPIE International Symposium on Intelligent Systems and Advanced Manufacturing*. Vol. 4569 pp. 63-70. Boston, USA.
- [7] Raposo, A. B., Magalhães, L. P., Ricarte. I. L. M. (2000) "Petri nets based coordination mechanisms for multi-workflow environments" *SCI 2000 - 4th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics Proceedings*, Vol. I - Information Systems, pp. 195-200. Orlando, USA.