

Índice general

[Agradecimientos](#)

[Resumen](#)

[Abstract](#)

[Índice general](#)

[Índice de figuras](#)

1 Introducción

1.1. Contexto

1.2. Marco de la tesis

1.3. Estructura de la tesis

2 Planificación de secuencia de desensamblado

2.1. Introducción

2.2. Estado del arte

2.2.1. Grafos

2.2.2. Características geométricas

2.2.3. Árboles

2.2.4. Redes de Petri

2.2.5. Otros métodos

2.2.5.1. Redes neuronales

2.2.5.2. Sistemas expertos

2.2.5.3. Algoritmos genéticos

2.2.6. Comparativa

2.3. Modelo relacional

2.3.1. Definiciones y representación

2.3.1.1. Definiciones

2.3.1.2. Representación

2.4. Acciones de desensamblado

2.5. Estrategias de planificación

2.5.1. Desensamblado total de un producto

2.5.2. Desensamblado parcial de un producto

2.5.2.1. Desensamblado de un componente

2.5.2.2. Desensamblado de un montaje

2.6. Ejemplo de planificación

2.6.1. Desensamblado total de un producto

2.6.2. Desensamblado parcial de un producto

2.6.2.1. Desensamblado de un componente

2.6.2.2. Desensamblado de un montaje

2.7. Evaluación del algoritmo

3 Generador de movimientos de desensamblado

3.1. Introducción

3.2. Representación geométrica del producto

3.2.1. Estado del arte

3.2.2. Representación utilizada

3.3. Determinación de la dirección de separación de un componente

3.3.1. Estado del arte

3.3.1.1. Esfera unidad

3.3.1.2. Representaciones cinemáticas

3.3.2. Conjunto de direcciones de separación

3.3.3. Determinación de una dirección de separación

3.4. Generación de una trayectoria de desensamblado

3.4.1. Estado del arte

3.4.1.1. Búsqueda automática de trayectorias

3.4.1.2. Simulación interactiva

3.4.2. Solución utilizada

3.5. Detección de colisiones

3.5.1. Planteamiento utilizado

3.5.1.1. Restricciones debidas al movimiento del componente

- 3.5.1.2. Detección de colisiones mediante un problema de programación lineal
- 3.6. Cálculo de la trayectoria de desensamblado de una fuente de alimentación
- 3.7. Evaluación del algoritmo
- 4 Fusión de la planificación y del generador de movimientos
 - 4.1. Introducción
 - 4.2. Fusión de la planificación con el generador de movimientos
 - 4.3. Fusión considerando un robot
 - 4.3.1. Introducción de una herramienta
 - 4.3.2. Introducción del robot completo
 - 4.3.3. Utilización de diversas herramientas
 - 4.4. Desensamblado virtual
 - 4.5. Desensamblado real
- 5 Resultados: Aplicación al desensamblado de PC's
 - 5.1. Base de datos
 - 5.1.1. Productos
 - 5.1.2. Componentes
 - 5.1.3. Enlaces
 - 5.1.4. Herramientas
 - 5.2. Secuencia de desensamblado de un ordenador completo
 - 5.3. Desensamblado de un PC genérico
 - 5.4. Arquitectura del sistema de desensamblado flexible
 - 5.5. Desensamblado de PC's
 - 5.5.1. Desensamblado de un PC semitorre
 - 5.5.2. Desensamblado de un PC sobremesa
- 6 Conclusiones
 - 6.1. Aportaciones
 - 6.2. Trabajo futuro
- Anexo A Entorno desarrollado
 - A.1. Funcionalidades
 - A.1.1. Añadir componentes
 - A.1.2. Añadir elementos de enlace
 - A.1.3. Añadir uniones
 - A.1.4. Añadir elementos a un montaje nuevo
 - A.1.5. Añadir elementos a un montaje existente

A.1.6. Añadir montajes a otro montaje

A.2. Secuencia de desensamblado

A.3. Simulación de la secuencia de desensamblado

Anexo B [Cinemática del brazo robot utilizado](#)

Anexo C [Posicionamiento del producto](#)

[Bibliografía](#)

Índice de figuras

Figura 1.1: Interacción entre las distintas actividades del ciclo de vida de un producto (Fuente [92]).....	2
Figura 1.2: Componentes que necesitan un desensamblado destructivo para poder separarlos en la dirección indicada (Fuente [243]).....	4
Figura 1.3: Respuesta a los problemas medio ambientales (Fuente [92]).	5
Figura 1.4: Arquitectura del proceso de desensamblado automático.	7
Figura 2.1: PC desensamblado parcialmente y su grafo de componentes-enlaces (Fuente: [300]).....	14
Figura 2.2: Árbol de desensamblado para el grafo de la Figura 2.1 (Fuente: [300]).....	14
Figura 2.3: Representación de un producto para generar un grafo de componentes-enlaces (Fuente: [308]).	15
Figura 2.4: Grafo de relaciones, grafo a nivel de producto y grafo del producto (Fuente: [308]).....	15
Figura 2.5: Producto y grafo dirigido correspondiente (Fuente: [214]).....	16
Figura 2.6: Estructura y grafo and/or de un tubo de rayos catódicos (Fuente: [206]).....	16
Figura 2.7: Superficies de contacto del producto ensamblado (Fuente: [243]).	17
Figura 2.8: Grafo de topología del producto ensamblado de la Figura 2.7 (Fuente: [243]).....	18
Figura 2.9: Transformación de un polígono no convexo en convexo (Fuente: [243]).....	18
Figura 2.10: Método de propagación de ondas, ondas desde el componente c_9 (Fuente: [248]).....	18

Figura 2.11: Restricciones geométricas para calcular el grafo and/or (Fuente: [89]).	19
Figura 2.12: Componentes de una picadora eléctrica y árboles para el desensamblado (Fuente: [180]).	20
Figura 2.13: Producto y su red de Petri de desensamblado (Fuente: [310]).	21
Figura 2.14: Base de datos de un sistema experto después de la introducción de varios productos (Fuente: [202]).	22
Figura 2.15: Componentes de diversos productos.	25
Figura 2.16: Elementos de enlace.	25
Figura 2.17: Componentes que requieren un desensamblado destructivo.	26
Figura 2.18: Unión de cierre generada por un tornillo.	26
Figura 2.19: Unión de cierre mediante rosca.	26
Figura 2.20: Unión de contacto entre dos chapas.	27
Figura 2.21: Componente con distintos niveles de granularidad.	27
Figura 2.22: Ejemplos de montajes. a) es indistinto desensamblar primero m_i y después m_j que al revés. b) hay que desensamblar primero m_i antes de poder desensamblar m_j .	29
Figura 2.23: Acción 1, unión de cierre entre componente y montaje, precedencia entre montajes. a) Grafo de ejemplo con tres componentes y una estructura jerárquica entre los montajes. b) Representación compacta del grafo de este tipo de acción.	30
Figura 2.24: Componentes que implican una acción de tipo 1.	30
Figura 2.25: Acción 2a, unión de contacto entre dos componentes. a) Grafo de ejemplo. b) Representación compacta del grafo de este tipo de acción.	31
Figura 2.26: Acción 2b, unión de contacto entre más de dos componentes. a) Grafo de ejemplo. b) Representación compacta del grafo de este tipo de acción.	31
Figura 2.27: Componentes que implican una acción de tipo 2. Componentes juntos y componentes separados.	32
Figura 2.28: Acción 3, montajes sin precedencia entre ellos. a) Grafo de ejemplo con tres componentes y dos montajes sin precedencia. b) Representación compacta del grafo de esta acción.	32
Figura 2.29: Componentes que implican una acción de tipo 3.	33
Figura 2.30: Acción 4, unión de cierre entre montaje y elemento de enlace. a) Grafo de ejemplo con un montaje y un elemento de enlace. b) Representación compacta del grafo de este tipo de acción.	33
Figura 2.31: Componentes que implican una acción de tipo 4.	33
Figura 2.32: Acción 5, montajes y/o componentes unidos por un elemento de enlace. a) Grafo de ejemplo con tres componentes, un montaje y un elemento de enlace que une un componente con el montaje. b) Representación compacta del grafo de esta acción.	34

Figura 2.33: Componentes que implican una acción de tipo 5.....	34
Figura 2.34: Acción 6, montajes unidos por un elemento externo cuyo orden de desensamblado es intercambiable. a) Grafo de ejemplo con tres componentes, dos montajes y un elemento de enlace que une los dos montajes. b) Representación compacta del grafo de esta acción.....	35
Figura 2.35: Componentes que implican una acción de tipo 6.....	35
Figura 2.36: Grafo parcial de un ordenador con sus montajes.....	38
Figura 2.37: Grafo dirigido con las acciones a realizar para desensamblar totalmente el ordenador de la Figura 2.36.....	41
Figura 2.38: Grafo dirigido con las acciones a realizar para desensamblar el componente "tarjeta 1" del ordenador de la Figura 2.36.....	43
Figura 2.39: Grafo del producto para desensamblar el montaje m_1 . Primer paso del algoritmo.	43
Figura 2.40: Grafo del producto para desensamblar el montaje m_1 . Segundo paso del algoritmo. El grafo definitivo del producto considerando como componente "montaje ₁ " al montaje m_1	44
Figura 2.41: Grafo dirigido con las acciones a realizar para desensamblar el montaje m_1 ("montaje1") del ordenador de la Figura 2.36.....	47
Figura 3.1: Representación de un componente 2-desensamblable.	50
Figura 3.2: Disco duro y su representación simplificada mediante polígonos.	51
Figura 3.3: Representación de un componente utilizando elementos finitos (Cortesía de HEC).	51
Figura 3.4: Modelo poliédrico de un cilindro utilizando 5, 8, 14 y 26 polígonos.	52
Figura 3.5: Componente poliédrico C_i de cuatro caras (P_1, P_2, P_3, P_4) y el grafo de caras de adyacencia.....	53
Figura 3.6:Producto compuesto por tres componentes.....	53
Figura 3.7:Grafo de adyacencia para el componente C_1 del producto de la Figura 3.6.....	54
Figura 3.8:Grafo de caras de contacto para los componentes C_1 y C_2 del producto de la Figura 3.6.....	54
Figura 3.9:Grafo de caras de contacto para el producto de la Figura 3.6.	55
Figura 3.10: Ejemplo de aplicación de la técnica "freedom matrix".	57
Figura 3.11: Combinación de movimientos. a) Se necesitan dos movimientos lineales para desensamblar c_2 . b) Se necesita un movimiento de rotación y uno lineal para desensamblar el componente c_2	57
Figura 3.12: Los componentes c_1 y c_4 poseen una restricción que impide su movimiento en una determinada dirección (zona gris), pero no existe un contacto directo en esa dirección que indique la restricción.....	58
Figura 3.13: Representación del componente grupo residual para desensamblar el componente c_1	58

Figura 3.14: Representación de los contactos entre las caras del producto....	59
Figura 3.15: Esfera gaussiana para un componente libre en el espacio tridimensional.....	59
Figura 3.16: Semiesfera que define las posibles direcciones de desensamblado de un componente que posee un contacto plano con otro.	60
Figura 3.17: Unión de las direcciones de desensamblado del componente c_1 para obtener el conjunto de direcciones de separación.	60
Figura 3.18: Probabilidad de colisión en un determinado conjunto de direcciones de desensamblado.	61
Figura 3.19: Discretización del entorno de trabajo en celdas cúbicas.....	61
Figura 3.20: Detección de colisiones e incremento del mundo discretizado....	63
Figura 3.21: Mundo discretizado tras un haz de rayos.....	63
Figura 3.22: Transformación a coordenadas esféricas.	64
Figura 3.23: Determinación de la dirección de separación a partir de la obtención de la máxima fuerza de repulsión.....	65
Figura 3.24: Técnicas de búsqueda automática de trayectorias (Fuente: [218]).	66
Figura 3.25: Secuencia del algoritmo para determinar la trayectoria de desensamblado de un componente en un producto formado por tres componentes	70
Figura 3.26: Bucle al desplazar totalmente un componente.	71
Figura 3.27: Colisión de tipo-A entre dos objetos.	72
Figura 3.28: Colisión de tipo-B entre dos objetos.	73
Figura 3.29: Colisión de tipo-C entre dos objetos.	73
Figura 3.30: Espacio de búsqueda de colisiones, teniendo en cuenta las restricciones, por la dirección de desensamblado para la cara inferior de un componente.	75
Figura 3.31: Componentes sobre los que se aplica el problema de programación lineal.	78
Figura 3.32: Restricciones por los planos paralelos a la dirección de movimiento de la cara del componente móvil.	79
Figura 3.33: Restricciones por los planos paralelos a la dirección de movimiento de la cara del componente estático.....	79
Figura 3.34: Restricción por la cara del componente móvil.	80
Figura 3.35: Restricción por la cara del componente estático.	80
Figura 3.36: Zona del espacio donde se puede producir colisión y la colisión.	81
Figura 3.37: Modelo geométrico de la carcasa interior y la fuente de alimentación.....	81
Figura 3.38: Identificación de las caras en la fuente de alimentación.....	82
Figura 3.39: Identificación de las caras en la carcasa interior.....	83

Figura 3.40: Grafo de relaciones.....	84
Figura 3.41: Direcciones de desensamblado para la fuente de alimentación..	84
Figura 3.42: Secuencia de desplazamiento de la fuente de alimentación según la dirección (0, -0.7071, 0.7071).	87
Figura 3.43: Coste del algoritmo de cálculo de colisiones según las caras existentes en el producto.	89
Figura 4.1: Entorno de trabajo el producto sobre la mesa de trabajo.	92
Figura 4.2: Entorno de trabajo formado por un robot y el producto sobre la mesa de trabajo.	93
Figura 4.3: Varias posibilidades de desensamblar el disco duro.....	96
Figura 4.4: Relación entre el robot y la mesa de trabajo.	97
Figura 4.5: Modelo geométrico de una pinza paralela de dos dedos.	98
Figura 4.6: Modelo geométrico de la herramienta enganchada al componente.	99
Figura 4.7: Necesidad de considerar el modelo completo del robot para realizar el desensamblado.	100
Figura 4.8: Esquema del sistema de desensamblado virtual.	102
Figura 4.9: Esquema del sistema de desensamblado real.	105
Figura 4.10: Ordenador con disquetera de 5¼ y sin disquetera de 5¼.....	106
Figura 5.1: Esquema genérico del modelo entidad-relación de la base de datos.	110
Figura 5.2: Tablas de la base de datos para el almacenamiento del modelo relacional de los productos.	111
Figura 5.3: Tablas de la base de datos para el almacenamiento de los componentes así como las herramientas necesarias para desensamblarlos.	113
Figura 5.4: Varios tipos de herramientas (Cortesía de Sckunk y Norgren). .	114
Figura 5.5: Ventosas de distintos tamaños (Cortesía de Norgren).	114
Figura 5.6: Modelo relacional de un ordenador completo.....	115
Figura 5.7: Ordenador completo utilizado para generar el modelo relacional de la Figura 5.6.	115
Figura 5.8: Grafo de tareas a realizar para desensamblar el disco duro del PC de la Figura 5.6.	119
Figura 5.9: Secuencia de desensamblado del disco duro del PC de la Figura 5.6; vista del entorno.....	119
Figura 5.10: Grafo de tareas a realizar para desensamblar el montaje m_{15} de la Figura 5.6.	122
Figura 5.11: Secuencia de desensamblado del montaje m_{15} del PC de la Figura 5.6, vista del entorno.	123
Figura 5.12: Modelo relacional genérico de un PC.	124

Figura 5.13: Modelo relacional extendido de un PC con una disquetera.....	125
Figura 5.14: Modelo relacional extendido de un PC; una tarjeta, dos periféricos y fuente de alimentación.	126
Figura 5.15: Arquitectura utilizada para el desensamblado.	127
Figura 5.16: Tipos de PC: semitorre y sobremesa.....	128
Figura 5.17: Sistema de visión adquiriendo información sobre el tipo de producto; imágenes de la cámara izquierda y derecha del par estéreo. .	129
Figura 5.18: Modelo relacional genérico de un PC.....	130
Figura 5.19: Modelo relacional extendido del PC semitorre con las tarjetas. .	131
Figura 5.20: Grafo de acciones a llevar a cabo por el sistema para desensamblar el componente "tarjeta de vídeo".	132
Figura 5.21: Acciones a llevar a cabo por el sistema para desensamblar el componente "tarjeta de vídeo".	132
Figura 5.22: Secuencia simulada de desensamblado para la carcasa exterior de un PC semitorre.	133
Figura 5.23: Sistema de visión adquiriendo información sobre el tipo de producto, PC semitorre; imágenes de la cámara izquierda y derecha del par estéreo.....	134
Figura 5.24: PC semitorre con los componentes internos visibles.	135
Figura 5.25: Modelo relacional extendido del PC semitorre.	135
Figura 5.26: Modelo geométrico extendido del PC semitorre con los componentes visibles.	136
Figura 5.27: Secuencia simulada de la trayectoria de desensamblado del componente "tarjeta de vídeo" desde distintos puntos de vista.	137
Figura 5.28: Secuencia real de desensamblado del componente "tarjeta de vídeo".....	138
Figura 5.29: Modelo relacional del PC una vez desensamblado el componente "tarjeta de vídeo".	139
Figura 5.30: Grafo de acciones para desensamblar el componente "disco duro".	139
Figura 5.31: Acciones a llevar a cabo por el sistema para desensamblar el componente "disco duro".	140
Figura 5.32: Secuencia simulada de la trayectoria de desensamblado del componente "disco duro".	141
Figura 5.33: Secuencia real de desensamblado del componente "disco duro".	142
Figura 5.34: Sistema de visión adquiriendo información sobre el tipo de producto, PC sobremesa; imágenes de la cámara izquierda y derecha del par estéreo.....	143
Figura 5.35: Secuencia simulada de la trayectoria de desensamblado del componente "carcasa exterior" de un PC sobremesa (Parte 1).	144

Figura 5.36: Secuencia simulada de la trayectoria de desensamblado del componente "carcasa exterior" de un PC sobremesa (Parte 2).	145
Figura 5.37: Sistema de visión adquiriendo información sobre el tipo de producto, PC sobremesa; imágenes de la cámara izquierda y derecha del par estéreo (Parte 1).....	145
Figura 5.38: Sistema de visión adquiriendo información sobre el tipo de producto, PC sobremesa; imágenes de la cámara izquierda y derecha del par estéreo (Parte 2).....	146
Figura 5.39: PC sobremesa con los componentes internos visibles.	146
Figura 5.40: Modelo relacional extendido del PC sobremesa.	147
Figura 5.41: Grafo de acciones a llevar a cabo por el sistema, para desensamblar el componente "tarjeta de vídeo" del PC sobremesa.	148
Figura 5.42: Acciones a llevar a cabo por el sistema para desensamblar el componente "tarjeta de vídeo" del PC sobremesa.....	149
Figura 5.43: Modelo geométrico extendido del PC sobremesa.	149
Figura 5.44: Herramienta colisionando con el componente "fuente de alimentación".	150
Figura 5.45: Grafo de acciones a realizar para desensamblar el componente "fuente de alimentación" del PC sobremesa.	150
Figura 5.46: Modelo geométrico utilizado para la herramienta "ventosa"...	151
Figura 5.47: Secuencia simulada de la trayectoria de desensamblado del componente "fuente de alimentación" de un PC sobremesa (Parte 1)..	151
Figura 5.48: Secuencia simulada de la trayectoria de desensamblado del componente "fuente de alimentación" de un PC sobremesa (Parte 2)...	152
Figura 5.49: Producto sobre la mesa de trabajo en la posición original y tras trasladarlo y rotarlo para que el robot pueda desensamblar la "tarjeta de vídeo".	152
Figura 5.50: Secuencia simulada de la trayectoria de desensamblado del componente "tarjeta de vídeo" de un PC sobremesa.	153
Figura 5.51: Secuencia real de desensamblado del componente "tarjeta de vídeo" en el PC sobremesa.	154
Figura A.1: Entorno de desarrollo para la introducción de los modelos relacionales.....	160
Figura A.2: Elementos de un mando a distancia.....	160
Figura A.3: Diseño del modelo relacional de un mando a distancia; componentes.	161
Figura A.4: Diseño del modelo relacional de un mando a distancia; elementos de enlace.....	162
Figura A.5: Diseño del modelo relacional de un mando a distancia; uniones de cierre y de contacto.	163
Figura A.6: Diseño del modelo relacional de un mando a distancia; introducción de componentes en los montajes.	164

Figura A.7: Diseño del modelo relacional de un mando a distancia; modelo final.	165
Figura A.8: Secuencia de desensamblado de la carcasa exterior de un mando a distancia.	166
Figura A.9: Entorno de simulación, modelo de un PC sobremesa.	167
Figura B.1: Ejes de coordenadas del robot Scrobot ER-IX.	170
Figura B.2: Esquema del plano de trabajo del robot.....	172