

SISTEMA ROBÓTICO DE INSPECCIÓN AUTOMÁTICA PARA PCBs BASADO EN VISIÓN POR COMPUTADOR Y SONDAS MÓVILES

A.G. González, L. M. Nieto, J. Gámez, I. Casañas, S. Satorres, A. Sánchez, J. Gómez Ortega
{jggarcia, agaspar, icasanas, lmnieto2, satorres, juango}@ujaen.es

Grupo de Robótica, Visión por Computador y Automática
Escuela Politécnica Superior, Universidad de Jaén
Campus Las Lagunillas, 23701. Jaén

Resumen

En este trabajo se describe un sistema automático de inspección óptica y de características eléctricas de tarjetas PCB, desarrollado por la empresa Two To Test-3T en La Carolina (Jaén), en colaboración con el Grupo de Robótica, Visión por Computador y Automática de la Universidad de Jaén. El sistema utiliza sondas móviles y sistemas de visión artificial y está controlado por una aplicación que se ejecuta en un PC industrial bajo Windows XP. Este sistema supone una alternativa a las camas de pinchos habitualmente usadas. Las puntas móviles ofrecen una solución mucho menos costosa y más rápida y versátil para tests automáticos de tarjetas prototipo y pequeñas producciones. Por otra parte, la incorporación de un sistema de visión por computador hace posible la inspección óptica de la placa, permitiendo así llevar a cabo tests que no son posibles de realizar eléctricamente.

Palabras Clave: Inspección automática, tarjeta de circuito impreso, visión artificial, sondas de prueba móviles.

1 INTRODUCCIÓN

La verificación es una de las etapas imprescindibles tanto en el proceso de desarrollo como en el de fabricación de un producto, que pretende garantizar que estos cumplan unas especificaciones previamente definidas [1][2]. Para la verificación de tarjetas de circuito impreso (PCB), los métodos de inspección tradicionales empleados se basan en la utilización de una *cama de pinchos* que se aplican haciéndolos corresponder con los puntos de test localizados en la placa. A menudo por su coste y el tiempo de fabricación que conllevan, y el no poder ser reutilizables para verificar otros PCBs, sólo se justifican para grandes producciones, no para prototipos o producciones menores.

Como alternativa han surgido sistemas, como el VT-Mouse de Omron [3], el S40 de Seica [4], o como el *Flying Probe*, descrito en este trabajo, que reducen el coste y el tiempo de verificación al emplear un sistema robotizado que automatiza el proceso de inspección y que se adapta a la placa a verificar. Para ello emplea varias sondas de prueba instaladas sobre brazos robotizados que se desplazan hasta los puntos de test, pudiéndose realizar las mismas pruebas que con los sistemas tradicionales. Además, suelen incorporar cámaras para realizar otros test solo posibles mediante técnicas de visión artificial.

El sistema que se presenta en este trabajo, denominado *Flying Probe*, cubre varios aspectos de la verificación de PCBs: la realización de test mediante puntas abarca una amplia gama de pruebas eléctricas, mientras que otros tipos de pruebas, que son de interés en el proceso de fabricación, son resueltas mediante un sistema de inspección visual de la placa mediante técnicas de visión artificial. Por otra parte se ha perseguido la automatización y abaratamiento del proceso de verificación mediante un sistema cuyo coste pueda competir con otras máquinas de similares características existentes en el mercado.

En este trabajo la sección 2 describe la estructura mecánica de la máquina de verificación *Flying Probe*, y se comenta su sistema de sondas y de inspección óptica. La aplicación software de gestión y control es descrita en la sección 3. En la sección 4 se explican aspectos de precisión, correspondencia de coordenadas físicas y de tarjeta, etc. A continuación, la sección 5, trata sobre la realización de los test eléctrico, así como la optimización del movimiento de las puntas para reducir los tiempos de verificación. Por último la sección 6 presenta los distintos tipos de test ópticos.

En la figura 1 se muestra una vista frontal de la máquina.

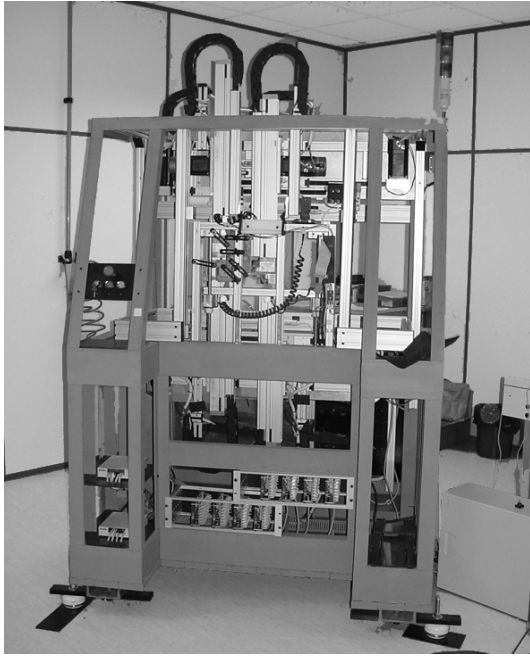


Figura 1. Vista frontal de la máquina

2 ESTRUCTURA MECÁNICA Y COMPONENTES

2.1 ROBOT CARTESIANO

E sistema móvil consiste en un robot de estructura cartesiana que consta de cuatro brazos accionados mediante ocho motores paso a paso, cuatro para el desplazamiento horizontal y otros cuatro para el vertical. La figura 2 corresponde al diseño de las guías y motores para los brazos que posicionan las dos sondas superiores.

Para la gestión del movimiento de los motores paso a paso se han escogido dos tarjetas PCI-7334 de National Instruments, que proporcionan una rápida implementación de interpolaciones entre dos ejes, lo que permite realizar con exactitud movimientos diagonales de las sondas. Estas tarjetas gobiernan los controladores de potencia que son los que, en definitiva, producen la secuencia de impulsos que se aplican a los motores.

2.2 SONDAS PARA LOS TEST ELÉCTRICOS

Para la realización de los tests eléctricos, en el extremo de cada brazo se ha dispuesto un cilindro neumático de doble efecto gobernado por una electroválvula de 5 vías y dos posiciones con simple pilotaje eléctrico y retorno por resorte. Además se ha

instalado un sensor final de carrera para el control del recorrido del vástago del cilindro.

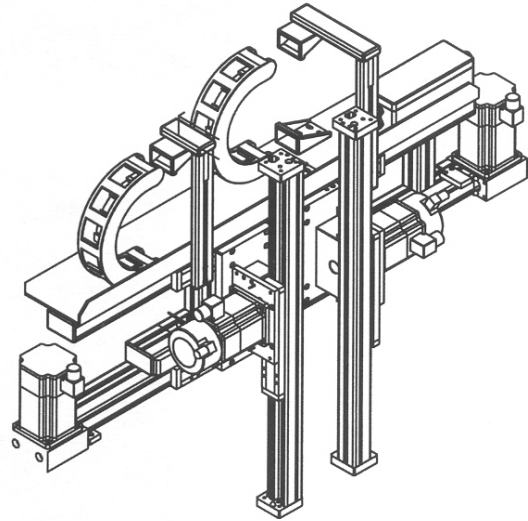


Figura 2. Detalle de las guías y motores superiores

De esta forma, una vez posicionado el extremo de un brazo, se procederá a activar la electroválvula, lo que producirá el avance de su vástago. Con ello se consigue llevar la sonda solidariamente unida con el vástago al punto de test deseado (ver figura 3). Cada una de las sondas está cableada hasta un equipo electrónico para la realización de tests eléctricos que, realizarán la medición de la característica eléctrica programada para el componente (resistencia, condensador, inductancia, diodo, transistor...) y su comparación con el intervalo de valores admisible, utilizando para ello una media de 30ms.

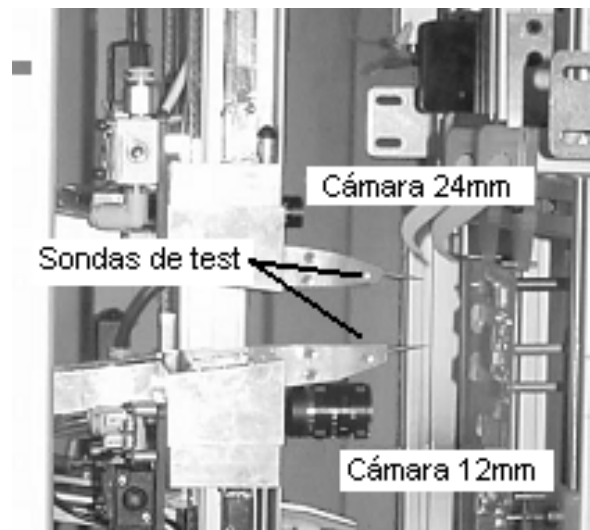


Figura 3. Detalle de las sondas eléctricas y las cámaras de visión

2.3 SISTEMA DE INSPECCIÓN ÓPTICA

Para el sistema de inspección óptica de componentes se ha utilizado un *frame-grabber* Bandit II, a la que se conectan dos micro-cámaras de color JAI-CV-M820 con ópticas de 12mm y 24mm, y se utiliza una juego de rutinas, denominadas IFC, que proporcionan funciones de enlace entre el hardware y el software. Estas cámaras están montadas sobre dos de los brazos robóticos.

Con la cámara con lente de 12 mm, de mayor campo de visión, se llevan a cabo la mayoría de los tests ópticos a la vez que se utiliza para realizar un barrido de la tarjeta que permite tener una “fotografía” de la misma.

La óptica de 24 mm, de menor campo de visión, además de utilizarse igualmente para la realización de tests ópticos de componentes reducidos (como las resistencias SMD), se emplea en dos tareas críticas para garantizar la precisión del sistema:

- En primer lugar es necesaria para la *calibración geométrica de las puntas*, es decir para obtener la relación en horizontal y vertical de los sistemas de referencia de tres de las puntas respecto al de la cuarta, que sirve de origen.
- En segundo lugar, se utilizará para el cálculo del giro y desplazamiento exactos de la placa insertada en el bastidor para asegurar la correspondencia entre las coordenadas físicas de los puntos de test y las coordenadas leídas de la base de datos, con objeto de asegurar el correcto posicionamiento de la punta en la placa.

3 SOFTWARE DE INSPECCIÓN Y CONTROL

La aplicación se ejecuta en un PC industrial basado en Pentium 4 y con sistema operativo Windows XP. Esta aplicación gestiona una base de datos que contiene información tanto de las características de la placa (dimensiones, componentes, puntos de test, etc.) como de la configuración de los tests a realizar, permitiendo además al usuario añadir o eliminar tests, cambiar la secuencia de ejecución de los mismos, optimizarla, etc. así como realizar la calibración de la máquina. Se compone de los siguientes módulos organizados en una jerarquía con cuatro niveles (ver figura 4):

- Módulos *VisualMDA*: permite la edición y gestión de la base de datos con información

de la placa (tipo y ubicación de componentes, terminales, dimensiones de la placa, etc.), así como la configuración de la batería de test a realizar con las puntas. Esta base de datos es generada por un programa de CAD y es el único archivo requerido en todo el proceso de verificación.

- Módulo de *Test Ópticos*: con este el usuario puede configurar, guardar en la base de datos y ejecutar una variedad de test ópticos que complementan los realizados por las puntas (presencia/ausencia de componentes, color de leds o de componentes, polaridad, etc).
- Módulo de *Offset*: realiza las correcciones para asegurar la correspondencia entre las coordenadas físicas de los puntos de test y las coordenadas leídas de la base de datos, con objeto de asegurar el correcto posicionamiento de la punta en la placa. Además permite capturar una imagen completa de la tarjeta y facilita su inspección visual.
- Módulo de *Optimización*: optimiza la secuencia de movimiento de las puntas con objeto de reducir el tiempo empleado en los test hasta alcanzar los 280 test/min.
- Módulo de *Calibración*: realiza la calibración del sistema mecánico, determinando las distancias relativas entre sondas, asegurando que los desplazamientos de las puntas alcancen la precisión nominal (0.2 mm).
- Módulo *Movimiento de puntas*: funciones de bajo nivel para gestionar el movimiento de las puntas mediante dos tarjetas PCI-7334 de National Instruments. También implementan un algoritmo para el cálculo automático de trayectorias, así como otro para la evitación de colisiones entre las puntas móviles, y de éstas con componentes situados en las denominadas “zonas prohibidas” (zonas en las que existen componentes con alturas superiores a los que son salvables por las puntas).
- Módulo de *Visión artificial*: rutinas de bajo nivel diseñadas para realizar diversos test ópticos, así como la gestión de las cámaras mediante la tarjeta Bandit II CV.
- Módulo *Gestor de base de datos*: lo componen funciones de servicio al resto de módulos para la gestión de la base de datos.
- Módulo *Control de motores* y módulo *IFC*: drivers y funciones de bajo nivel para enlazar con el hardware de los motores y las tarjetas digitalizadores de imágenes.

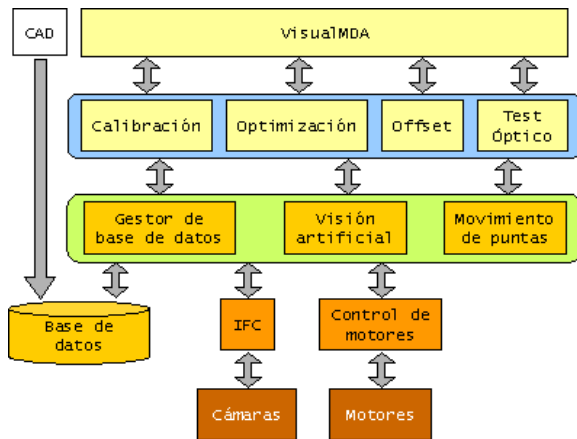


Figura 4. Módulos de la aplicación

4 CÁLCULO DEL OFFSET DE LA PLACA

Para asegurar que una sonda es posicionada exactamente en el punto de test deseado, es necesario realizar un proceso de alineamiento u offset de la placa.

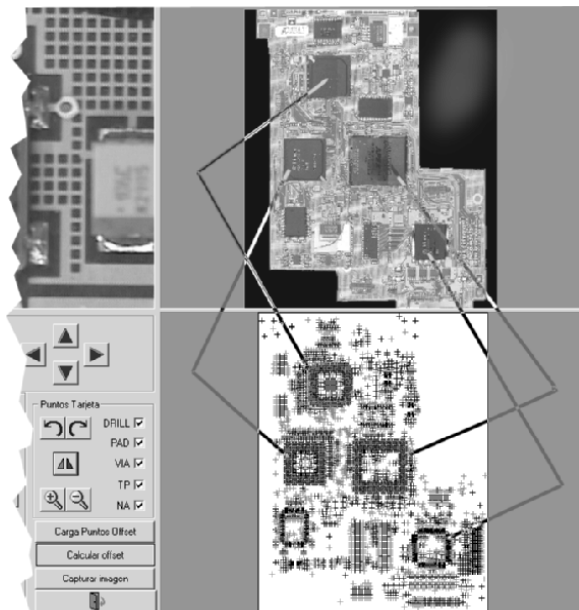


Figura 5. Deducción de la posición de la placa

Este consiste en primer lugar en deducir si la placa se ha colocado sobre el bastidor por la cara de soldadura o de componentes y si se ha rotado respecto de la posición definida en la base de datos suministrada por el programa de CAD. Para este primer paso el usuario dispone de la representación de una nube de puntos calculados a partir de la base de datos. El usuario debe voltear y rotar dicha representación hasta que dicha representación coincida con la “fotografía” de la placa (ver figura 5).

Por otro lado, al colocar la placa sobre el bastidor, se producen desviaciones respecto del sistema de referencia (ver figura 6). El proceso de offset, en segundo lugar, obtendrá los desplazamientos y el giro que permitan establecer la relación entre las coordenadas de la base de datos y las del sistema de referencia de las sondas.

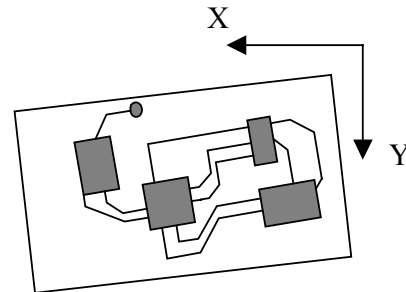


Figura 6. Giro y desplazamiento de la placa en el bastidor

A tal fin, en un proceso que se realiza una vez para cada modelo de placa, se seleccionan con la cámara de 24 mm (menor campo de visión) una serie de puntos fiduciales y se compara la posición obtenida a partir del sistema de visión con las coordenadas de dichos puntos en la base de datos. De la relación entre estos pares de coordenadas se obtienen los valores de desplazamiento y giro.

Para realizar con precisión el procedimiento anterior es necesario conocer exactamente la distancia entre el campo de visión recogido por la cámara de offset y la sonda que se toma como referencia. Esta distancia, tanto en “x” como en “y” es constante al estar fijados ambos elementos al mismo brazo. Para su medición, se realiza un orificio con la sonda sobre una placa y se desplaza la cámara hasta visualizar dicho orificio. El avance en “x” y en “y” necesario hasta obtener la visualización corresponde a la distancia entre la sonda y la imagen captada por la cámara.

Para conseguir que cada una de las puntas o sondas se posicione con exactitud en los puntos de la placa cuyo offset se ha determinado, es necesario obtener la distancia en vertical y en horizontal de cada una de las sondas respecto de una que se toma como referencia. Dicha sonda es aquella que va montada en el brazo que porta la cámara de offset.

Para obtener dicha relación se pincha sobre una placa preparada al efecto con cada una de las otras puntas y se desplaza la cámara hasta visualizar los orificios (ver figura 7).

Como la separación entre la cámara de offset y la punta de referencia es conocida, es posible conocer la

distancia entre la sonda que ha realizado el orificio y la sonda que se toma como referencia.

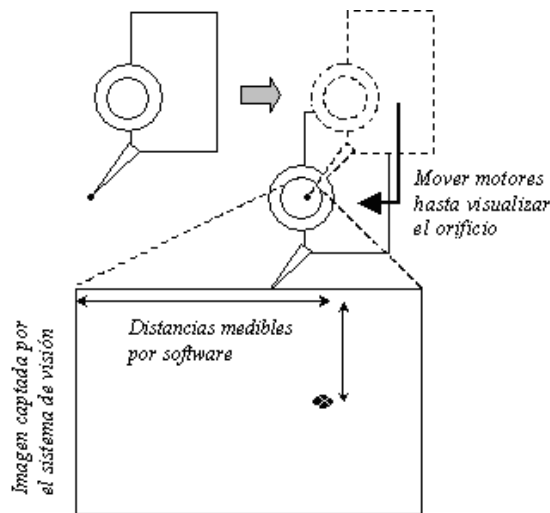


Figura 7. Cálculo de desplazamiento y giro de la placa

5 REALIZACIÓN DE TEST ELÉCTRICOS

En su comportamiento como máquina para la realización de test eléctricos sobre componentes, el robot debe cumplir unas exigentes especificaciones en cuanto a precisión y velocidad para poder ser competitivo frente a otros sistemas americanos y japoneses.

5.1 PRECISIÓN

El mecanismo de accionamiento de las sondas eléctricas y los algoritmos de posicionamiento de las mismas tienen como fin último posicionar las sondas sobre unos puntos de test situados en la placa de circuito impreso. Estos puntos de test son definidos por el diseñador del circuito impreso y están conectados eléctricamente a los componentes que el usuario pretende verificar.

El tamaño de los puntos de test depende del tipo y densidad de la placa de circuito impreso a comprobar, pero pueden llegar a diámetros inferiores a 0.5 mm.

Es necesario, por tanto, que la precisión en el posicionamiento de las sondas eléctricas sea lo mayor posible (lo menor posible en valores numéricos) para asegurar que las sondas conecten los puntos de test con el equipo de medición eléctrica.

Para aumentar la precisión se han llevado a cabo diferentes acciones entre las que se pueden citar:

- Realización de un estudio de rigidez para amortiguar las vibraciones de la máquina
- Selección de cilindros neumáticos de óptima coaxialidad
- Diseño del método de avance de las sondas más apropiado para que, con el mínimo rozamiento, permita un guiado de la punta que evite desplazamientos transversales al avance del vástago.

Finalmente se ha realizado una calibración matricial para minimizar los errores debidos a la pequeña flexión de las guías sobre las que se mueven los brazos y a una posible desviación del marco sobre el que se apoya la placa a verificar respecto de la vertical. Con esta calibración también se pretende compensar errores no modelados o no identificados.

Con estas acciones se ha conseguido una precisión suficiente para la realización de todo tipo de test eléctricos de las placas a verificar.

5.2 VELOCIDAD

Con objeto de aumentar el número de placas verificadas por unidad de tiempo, han sido necesarias diferentes acciones para disminuir el tiempo de realización de test. Estas acciones se pueden dividir en acciones realizadas durante la verificación de las placas y previas a la misma.

5.2.1 Acciones durante la verificación de las placas

Dado que el tiempo necesario para la aceptación de cualquier orden enviada a la tarjeta de Nacional Instruments es de 8 milisegundos, una de las prioridades del código ha sido reducir todo lo posible el número de órdenes enviadas a la tarjeta.

Además se aprovecha el tiempo de recorrido del cilindro y ejecución del test eléctrico para realizar los cálculos del siguiente movimiento.

Se han optimizado las rutas a seguir por las sondas para desplazarse desde unos puntos de test a los siguientes. Esta optimización se basa en la minimización de una función de coste que penalice el tiempo empleado para el nuevo posicionamiento. Así, el cálculo del coste se ha obtenido de acuerdo a diferentes criterios como son:

- Número de segmentos de la trayectoria a seguir por una sonda evitando obstáculos (zonas prohibidas y otras puntas)
- Tiempos de espera necesarios para evitar la colisión de sondas en movimiento

- Distancia total recorrida, cuadrante en que se mueve cada punta, etc.

Para la obtención de estas rutas se han empleado funciones doblemente recursivas.

5.2.2 Acciones previas a la verificación de las placas

Previo a la realización de los test se realiza un proceso de ordenación de los mismos de manera que minimice el tiempo empleado en completar el total de comprobaciones. Esta ordenación será válida para todas las placas del mismo tipo que se deseen verificar. El algoritmo es el siguiente:

1. En primer lugar debe decidirse, para cada test, qué sonda debe posicionarse en cada punto de test, de manera que tiendan a evitarse los cruces entre sondas.
2. El siguiente paso es dividir el conjunto de tests según sean precisas 2, 3 o 4 sondas para la comprobación del componente. De la misma forma, se subdividen los test de dos y tres sondas en función de qué sondas se empleen. Con esto se consigue dividir el número de tests a realizar lo que supone un ahorro computacional para cualquier algoritmo de optimización.
3. Para cada una de estas subdivisiones, se calcula el coste en tiempo de llevar las sondas desde posiciones que corresponden a un test a las posiciones que corresponden a cada uno de los otros test. Se forma así una matriz triangular de costes con $n \cdot (n-1)/2$ elementos, siendo n el número de test de la subdivisión a optimizar.
4. Con esta matriz de costes se ha optado por una ordenación denominada de “mínimo próximo” en la que simplemente se busca qué test es el más “cercano” (el que presenta coste un menor) de entre los que quedan por realizar. Finalmente se lleva a cabo un procedimiento de reubicación de test cuasi-aislados buscando la reducción del coste total.

En la tabla 1 se presenta un ejemplo. Considerando como test 0 la posición de partida de las puntas, los costes mínimos serían los correspondientes a los siguientes pares de test:

(0,4) – (2, 4) – (2, 1) – (3, 1) – (3, 6) – (5, 6)

Tabla 1. Ejemplo de ordenación por costes

	13512	23603	65587	12247	78541	23661
13512		11268	8325	16657	23365	65525
23603	11268		35227	5029	48741	36635
65587	8325	35227		26335	32365	12001
12247	16657	5029	26335		25557	14522
78541	23365	48741	32365	25557		72235
23661	65525	36635	12001	14522	72235	

El coste de esta ordenación sería:

$$\text{Coste} = 12247 + 5029 + 11268 + 8325 + 12001 + 72235 = 121105$$

El último trayecto, desde el test 6 hasta el 5, se puede considerar residual por su alto coste. Esto aconseja la reubicación del último test, insertándolo entre los test 1 y 3. El coste sería ahora de:

$$\text{Coste} = 12247 + 5029 + 11268 + 23365 + 32365 + 12001 = 96275$$

El resultado de estas acciones es la consecución de velocidades de aproximadamente **280 test por minuto**.

También se han probado otras técnicas de optimización como es la obtención del centro de gravedad de las posiciones de los puntos de un test y su ordenación en zig-zag en vertical, en horizontal o en diagonal (ver figura 8) con una posterior reordenación optimizada por paquetes de test. Este método, más rápido al no tener que calcular la matriz de costes, presenta peor resultado principalmente en el caso de test de tres y cuatro puntas.

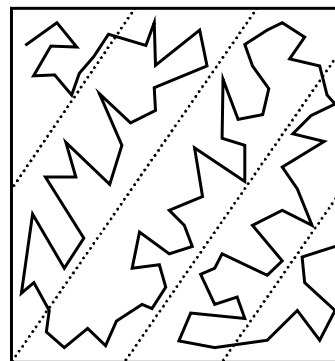


Figura 8. Ordenación en zig-zag diagonal

6 TEST ÓPTICOS

A la realización de test eléctricos la máquina añade la posibilidad de realizar **tests ópticos** sobre los componentes presentes en la placa. Se han diseñado básicamente tres familias de tests, que permiten realizar un total de ocho tests diferentes. Todos ellos se basan en el aprendizaje del test en una placa con el componente correcto, que se utiliza como modelo patrón, y en la posterior comparación de las distintas tarjetas con las características extraídas del modelo. Las tres familias de tests son:

- **Test de color**, cuya finalidad es evaluar si el color de un componente es correcto. Una aplicación típica de estos test es la verificación de leds, aunque puede aplicarse a multitud de componentes.
- **Test de polaridad**, desarrollados para comprobar la polaridad de diodos y ciertos condensadores cuya característica común es la presencia de una franja dentro del componente que indica la polaridad (ver figura 9). El test debe ser capaz de comprobar si dicha franja está o no presente, teniendo en cuenta que existe una tolerancia importante respecto a la anchura y posicionamiento de la franja en el componente.
- **Test de presencia**, encaminados a evaluar la presencia o no de un determinado componente o una fracción del mismo. Para ello, se realiza un aprendizaje de la imagen modelo, extrayendo características de la misma. Mediante la comparación de las características del modelo con las imágenes obtenidas de cada tarjeta, puede evaluarse no sólo la presencia / ausencia de componentes, sino también si la polaridad de un componente es correcta (búsqueda de una marca característica que indica la polaridad) e incluso la presencia de una serie de caracteres en circuitos integrados.

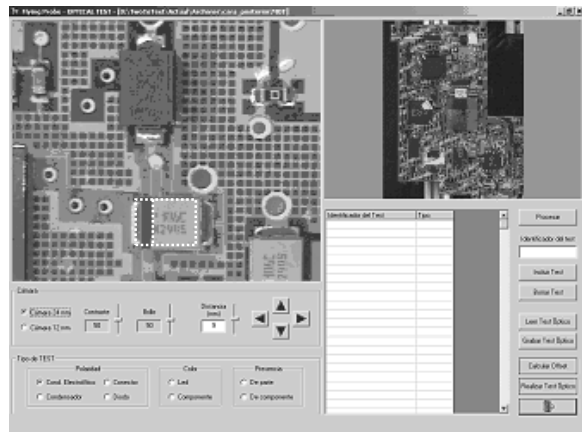


Figura 9. Interfaz para edición y ejecución de test ópticos

7 CONCLUSIONES

En este trabajo se han descrito los diferentes elementos hardware y software de una máquina para verificación basada en sondas móviles, que prescinde de los costosos y poco adaptables sistemas de camas de pinchos tradicionalmente utilizados para inspección de PCBs, permitiendo realizar tanto tests eléctricos como ópticos.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada parcialmente por los proyectos CICYT DPI 2001-2424-C02 y MEC API 2001-2337.

Referencias

- [1] Mery, D., (2002) "Inspección Visual Automática", I Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica, Lima.
- [2] Ko, K. W. y Cho, H. S. (2000) "Solder Joints Inspection Using Neural Network and Fuzzy Rule-Based Classification Method", *IEEE Transactions On Electronic Packaging Manufacturing*, Vol. 23, No. 2. April 2000, pp 93-102.
- [3] <http://www.omron.ca/Products-PCBsys.htm>
- [4] <http://www.seica.com>