

Sistema Títere: Realización de Prácticas de Visión por Computador a través de Internet

José M^a SEBASTIÁN*, Luis M. JIMÉNEZ**, David GARCÍA*, Rafael PUERTO**, Luis ÁNGEL*

(*) Dpto. de Automática, Ingeniería Electrónica e Informática Industrial, (Div. DISAM)
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid UPM,
c/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006-Madrid, España. Tel. (+34) 913363061 Fax. (+34) 913363010

(**) Dpto. de Ingeniería de Sistemas Industriales, (Área Ingeniería de Sistemas y Automática)
Universidad Miguel Hernández, Elche

Avda. Ferrocarril, s/n. Edificio Torreblanca, 03002-Elche, España

E-mail: jsebas@etsii.upm.es, luis.jimenez@umh.es, r.puerto@umh.es, dgarcia@disam.upm.es,
langel@etsii.upm.es

Resumen –El presente artículo describe el sistema Títere, diseñado para la realización de prácticas de visión por computador de forma remota. Por medio de los sistemas desarrollados en los laboratorios de los autores, el alumno puede capturar imágenes y secuencias de video, modificando las condiciones de captación de las mismas: punto de vista, óptica, iluminación y selector de experimentos. Igualmente puede procesar dichas imágenes mediante una amplia gama de algoritmos programados en Java. La enseñanza es guiada mediante un conjunto de prácticas que recogen los conceptos más relevantes de la visión por computador, y que incluyen posibilidades de auto-evaluación. El objetivo del sistema es pues suministrar al alumno una herramienta que permita el auto-aprendizaje de la materia, de forma remota, compartiendo equipos reales y sin restricciones temporales a la hora de su ejecución.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años el uso de las nuevas tecnología en la educación ha experimentado un extraordinario crecimiento [1]-[4]. En la actualidad es fácil encontrar direcciones que ofrecen cursos de aprendizaje por Internet [5], [6]. Herramientas, tales como tutoriales, imágenes, videos o sonidos, ofrecen excelentes oportunidades a los profesores y a los estudiantes.

El desarrollo de cursos para la enseñanza remota tiene sus ventajas e inconvenientes [7], [4]. Según los datos obtenidos de los usuarios del sistema presentado en este artículo, se muestra que este tipo de enseñanza es más atractiva para los alumnos, permite un aprendizaje más flexible y como consecuencia es más eficiente desde un punto de vista pedagógico (ver Tabla I).

Entre las ventajas que aporta éste tipo de sistemas en la realización de prácticas remotas destacan las siguientes:

- Permite el desarrollo de prácticas en entornos en los que no es posible o recomendable la presencia del alumno en contacto con el sistema real, por cualquiera de las siguientes causas: utilización de medios caros o escasos, óptima utilización de los mismos, ambientes dañinos para la observación (radiación, térmicos...)
- No exige la existencia de horarios prefijados para la realización de las prácticas, lo que permite una

mejor asimilación de los conceptos por parte del alumno, con la posibilidad de repetir las prácticas cuantas veces desee, o llevarla a cabo en el momento que se dominen los conceptos teóricos

- Posibilitan la realización de una evaluación flexible y rápida, con técnicas de auto-aprendizaje

Preguntas	[0-10]
El sistema Títere ha constituido una valiosa herramienta	8.5
Las opciones del sistema Títere se adaptan al temario de la asignatura	7.8
La utilización del sistema me ha permitido una mejor comprensión de la asignatura	8.7
La documentación suministrada para el manejo del sistema Títere ha sido suficiente	6.3
No han existido inconvenientes técnicos para la comunicación con el sistema Títere	8.2

Tabla I.

Evaluación de los alumnos que usan el sistema Títere

Como conclusión y desde un punto de vista docente, se puede afirmar que con el sistema se ha comprobado que

el alumno considera más interesante la asignatura, presta más atención, y participa más durante la clase.

El presente artículo describe en detalle una arquitectura para la realización de prácticas de visión por computador con dos implementaciones:

- Una desarrollada en la Universidad Politécnica de Madrid, disponible para uso público en <http://titere.disam.etsii.upm.es>. Se está utilizando ininterrumpidamente desde el curso académico 98-99 hasta la actualidad. Más información en [8]
- Otra desarrollada en la Universidad Miguel Hernández de Elche, disponible para uso público en <http://titere.umh.es>. Se ha empezado a utilizar en el presente curso 02-03.

Inicialmente el sistema fue diseñado para el aprendizaje de los fundamentos de Visión por Computador, dentro de las asignaturas de segundo ciclo. El alumno maneja el sistema con al menos alguno de los siguientes objetivos:

- Refrendar los conceptos teóricos adquiridos, mediante la realización de pequeños ejemplos prácticos
- Realizar las prácticas propias de la asignatura.
- Desarrollar pequeños proyectos o casos prácticos en equipo (de cuatro personas)

Posteriormente se ha extendido su uso en asignaturas de tercer ciclo. Varias Universidades Latinoamericanas utilizan este sistema como una herramienta disponible desde sus países. Ya que sólo es necesario un PC con conexión a Internet, el profesor puede usar el sistema fácilmente desde la clase, completando los conocimientos teóricos con la experimentación real.

Aunque existen otras experiencias en la enseñanza remota de Visión por Computador [9], no se han encontrado en la literatura sistemas con las mismas características que el presentado en el artículo.

En el artículo se detalla inicialmente la estructura del sistema; posteriormente se describe las aportaciones realizadas al alumno; el siguiente apartado expone las prácticas a realizar por el estudiante, para por último remarcar las conclusiones.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La descripción del sistema Títere se divide en dos partes: los módulos del sistema y la descripción del funcionamiento interno del sistema. Al existir dos implementaciones (U.P. Madrid, U.M.H. Elche) con un importante desfase temporal en su creación, los módulos no coinciden exactamente, destacándose las diferencias entre ambos.

2.1 Módulos del sistema existente en la Universidad Politécnica de Madrid

La arquitectura del sistema se describe gráficamente en la figura 1, constando de tres módulos básicos: el laboratorio real, el servidor y el cliente remoto.

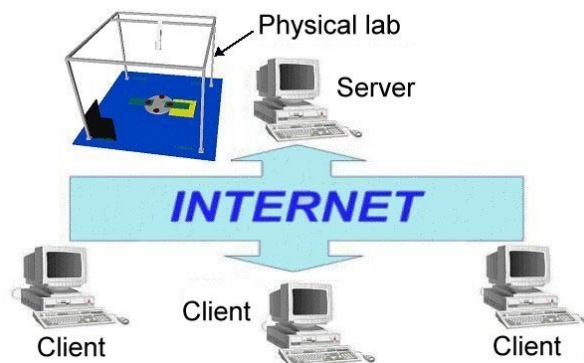


Figura 1. Arquitectura del sistema Títere

- Laboratorio real. El escenario (figura 2) que permite la captura de imágenes consta de tres componentes que son controlados por el cliente remoto: 1) Cámara color Sony EVI-D31 con control de pan, tilt y zoom (el enfoque y el iris se ajusta automáticamente). 2) Plataforma giratoria, para seleccionar distintas piezas. 3) Sistema de iluminación a contraluz con la posibilidad de ser encendido o apagado.
- Servidor. Es un PC que interacciona con el laboratorio real, y con el cliente remoto a través de Internet. Entre sus elementos cabe destacar una tarjeta digitalizador Matrox Meteor, una tarjeta de entradas-salidas para controlar la mesa giratoria y la iluminación. El control de la cámara se realiza a través de un canal serie. El sistema operativo empleado es el Linux [10], el servidor es el Apache (HTTPd). Se emplean aplicaciones CGI para realizar el control de los dispositivos físicos. Los parámetros son seleccionados por el usuario a través de las páginas del sistema.
- Cliente Remoto. El cliente remoto es un computador con cualquier sistema operativo, un navegador estándar y soporte para Java 1.0.2 [11]. Este soporte permite al alumno el acceso a los entornos de adquisición de imágenes y de procesamiento de las mismas. El entorno para la adquisición de imágenes se muestra en la figura 3. El sistema está disponible todos los días a cualquier hora, salvo las reservadas para las labores de mantenimiento.

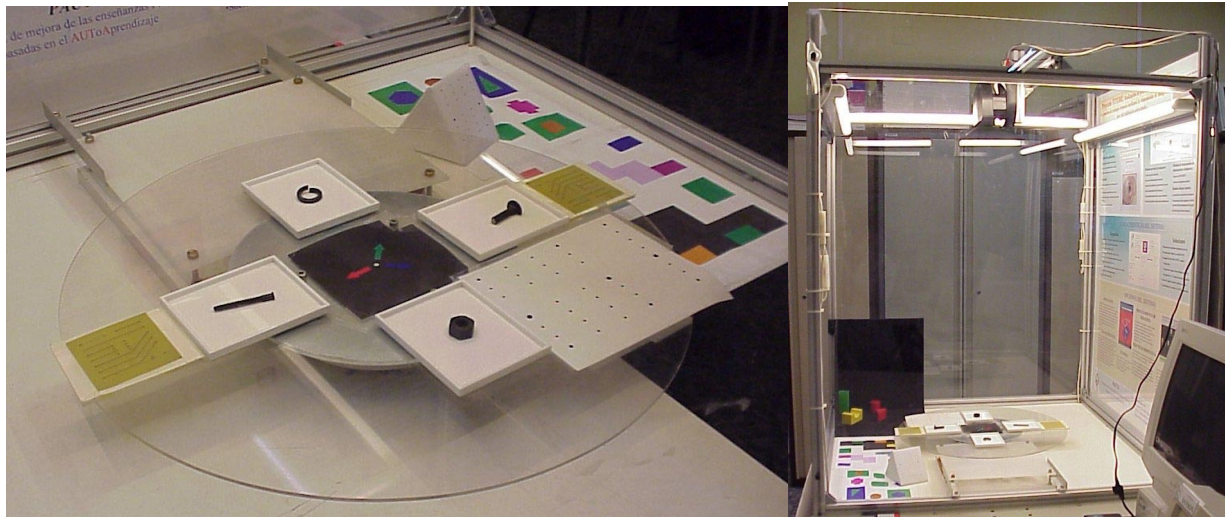


Figura 2. Vista panorámica del laboratorio real

descargable. La aplicación está desarrollada sobre PHP4 e incluye validación de los usuarios, así como una aplicación de gestión. (figura 4).

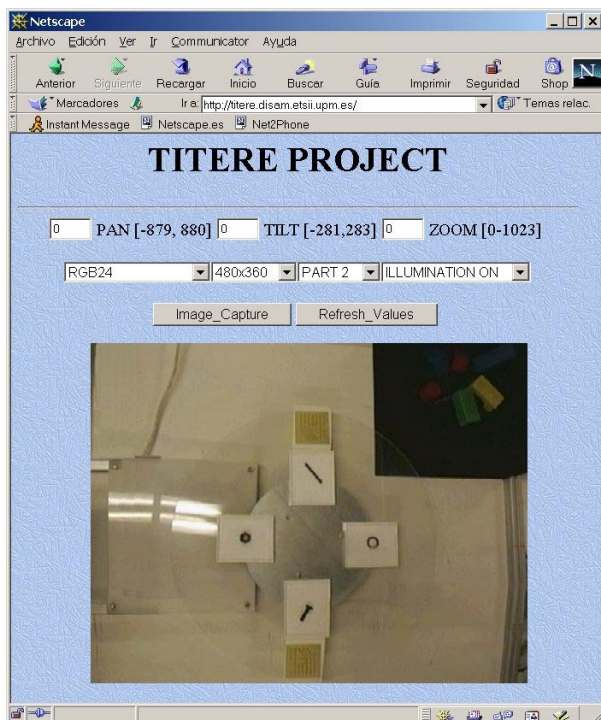


Figura 3. Entorno de captación de imágenes

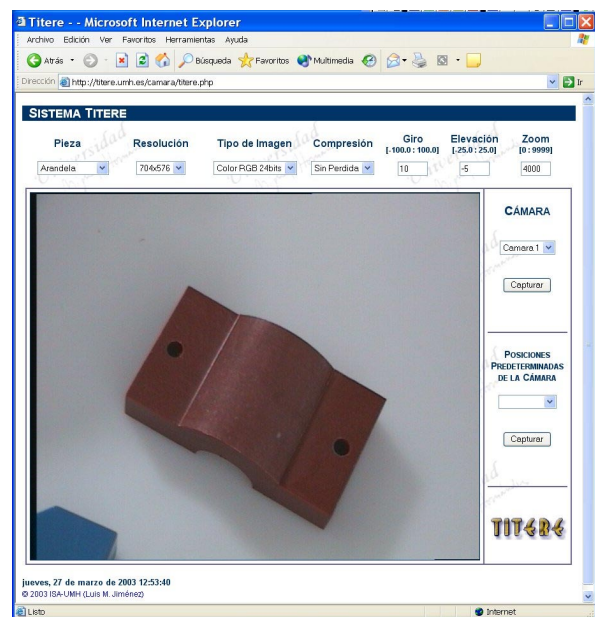


Figura 4. Aplicación de captura de imágenes

2.2 Módulos del sistema existente en la Universidad Miguel Hernández

Sobre la base del sistema Títtere original se ha implementado un nuevo equipo de captura de imágenes que complementa al sistema actual. El sistema posee los siguientes elementos diferenciadores:

- **Servidor web :** Se encarga de la interfase de usuario, secuenciando las peticiones al sistema, proporciona la documentación y el software

- **Servidor de imágenes Axis 2400:** Se trata de un sistema empujado con S.O. Linux que incorpora un servidor web de imágenes con captura de cuatro entradas de video en color estándar. Permite el muestreo y compresión de las imágenes para su transmisión. Incorpora así mismo, el control de posición de las cámaras motorizadas mediante puerto serie RS-232/485. Dispone de cuatro entradas digitales y una salida de relé utilizadas para el control del plato motorizado para

posicionamiento de piezas. El servidor Axis ejecuta las aplicaciones software tanto de captura de imágenes, movimientos de la cámara, como de control del plato motorizado. La aplicación de control del plato motorizado está desarrollada en PHP3-Lite y controlada desde el servidor web incluido (Boa).

- *Sistema de iluminación:* El sistema de iluminación principal está basado en tubos fluorescentes para conseguir una iluminación difusa. Se dispone de dos sistemas específicos para la realización de prácticas adicionales
 - *Sistema de iluminación a contraluz:* mesa de iluminación a contraluz mediante fluorescentes.
 - *Sistema de iluminación láser:* equipado con un diodo láser de 650 nm y una óptica que genera un plano. Permite realizar prácticas sobre sistemas de reconstrucción 3D mediante luz estructurada.
- *Controlador empotrado ICP 7188EA:* Se trata de un microcontrolador empotrado que incorpora módulos de entradas salidas Digitales y analógicas así como conexión de red pudiendo realizar el control remoto de los elementos adicionales de sistema. Permite el control del sistema de iluminación y la alimentación de las diferentes cámaras. También posibilitará la incorporación de nuevos elementos al sistema Títtere.
- Adicionalmente se está desarrollando un módulo para el posicionamiento lineal de piezas que permita la captura del perfil superficial de piezas mediante luz estructurada (láser). El sistema incluirá un posicionador lineal de Festo, un diodo láser con óptica de formación de plano y una cámara CCD monocromo.

2.3 Descripción del funcionamiento interno del sistema

El servidor HTTPd recibe los comandos desde el cliente remoto y ejecuta la correspondiente aplicación CGI. En el sistema propuesto la aplicación consiste en el control de la cámara y del entorno de captación y en la adquisición de las imágenes. Cuando la adquisición finaliza, el servidor envía la imagen al cliente.

Puesto que normalmente sólo un cliente desea en ese instante mover la cámara, la aplicación CGI cumple satisfactoriamente su cometido, y no ha sido necesario utilizar un Java Servlet. Además el grado de concurrencia no es normalmente muy alto (aunque en una clase se conecten simultáneamente 50 alumnos, no es normal que todos intente a la vez tomar imágenes).

El digitalizador, la mesa giratoria, la cámara y la iluminación, que forman el sistema físico, son los únicos recursos externos que pueden ser conflictivos para

varios usuarios. El conflicto es solucionado con un semáforo. Si el recurso está libre, el cliente accede modificando el estado del sistema. Si por el contrario está ocupado, se genera un mensaje de espera. El resto de las páginas web son gestionadas concurrentemente por el servidor Apache, por lo que varios usuarios pueden acceder simultáneamente al módulo de procesamiento o a la evaluación de las prácticas.

Cualquier cliente puede acceder al sistema, aunque solamente aquellos que han sido dados de alta como usuarios pueden almacenar información en el servidor o ejecutar las opciones de auto-evaluación.

3. ¿QUÉ OFRECE EL SISTEMA TÍTTERE A LOS ALUMNOS?

Este apartado describe las diferentes herramientas disponibles en el sistema para los alumnos. Todas ellas están integradas en la página web del sistema y pueden ser usadas con un navegador estándar.

3.1 Simulador

Para facilitar el manejo del sistema, se ha desarrollado una simulación virtual del sistema. Tras las primeras pruebas de los alumnos, se detectó que tenían dificultades para orientar la cámara hacia un determinado objeto de interés. La incorporación de una simulación interactiva del entorno de captación facilita el proceso y reduce el tiempo de captura de las imágenes. Este aspecto es importante para la aplicación de este tipo de sistemas a otras áreas.

3.2 Captura de imágenes

La interfase de captura de imágenes (figuras 3 y 4) posee dos áreas. La primera contiene menús y texto que permiten al usuario seleccionar los parámetros del sistema. Las opciones de control permiten manejar la cámara (pan, tilt, y zoom), el formato de la imagen (resolución y color), el selector de piezas y la iluminación. La segunda área muestra la última imagen capturada por el sistema. Dicha imagen es comprimida a formato JPEG con una pequeña pérdida de calidad.

3.3 Módulo de procesamiento de imágenes

Un módulo de procesamiento de imágenes (figura 5) ha sido desarrollado utilizando el lenguaje Java y puede ser cargado en la memoria del cliente como applets. La interfase está inspirada en el conocido entorno Khoros [12], que ha sido comúnmente usado para la enseñanza del procesamiento de imágenes. Consta de un área de trabajo con diferentes bloques que pueden ser conexiados por el usuario. Cada bloque realiza un procesamiento de imágenes o una operación de lectura-escritura. Este esquema presenta para el alumno muchas ventajas, pues puede construir complejos procesamiento a partir de sencillas operaciones. El contenido del área de trabajo (bloques, parámetros y

conexiones) puede ser grabado por el alumno, lo que facilita el desarrollo de las prácticas y su evaluación.

Dos formas de usar el módulo de procesamiento de imágenes están disponibles: en red y en local.

- En red, el usuario se conecta al servidor, y las applets de Java son cargadas en la memoria del computador del cliente remoto. Cuando se cierra el navegador, la única forma de volver a ejecutar el programa es volviendo a descargar la página a través de Internet. Por las restricciones impuestas al lenguaje Java por motivos de seguridad, un applet no puede acceder al disco duro del cliente. Para facilitar el almacenamiento de datos, los usuarios (si

han sido dados de alta) disponen de un espacio en el disco duro del servidor. Estas operaciones son transparentes para el usuario.

- Por si el usuario no desea o no puede conectarse al servidor, se ha desarrollado una segunda versión del módulo de procesamiento de imágenes que se denomina local. Esta versión puede acceder al disco duro del cliente y ejecutarse como una aplicación local por medio de un interprete de Java.

Para grabar imágenes a través del módulo de captación de imágenes es necesario hacerlo desde la versión en red.

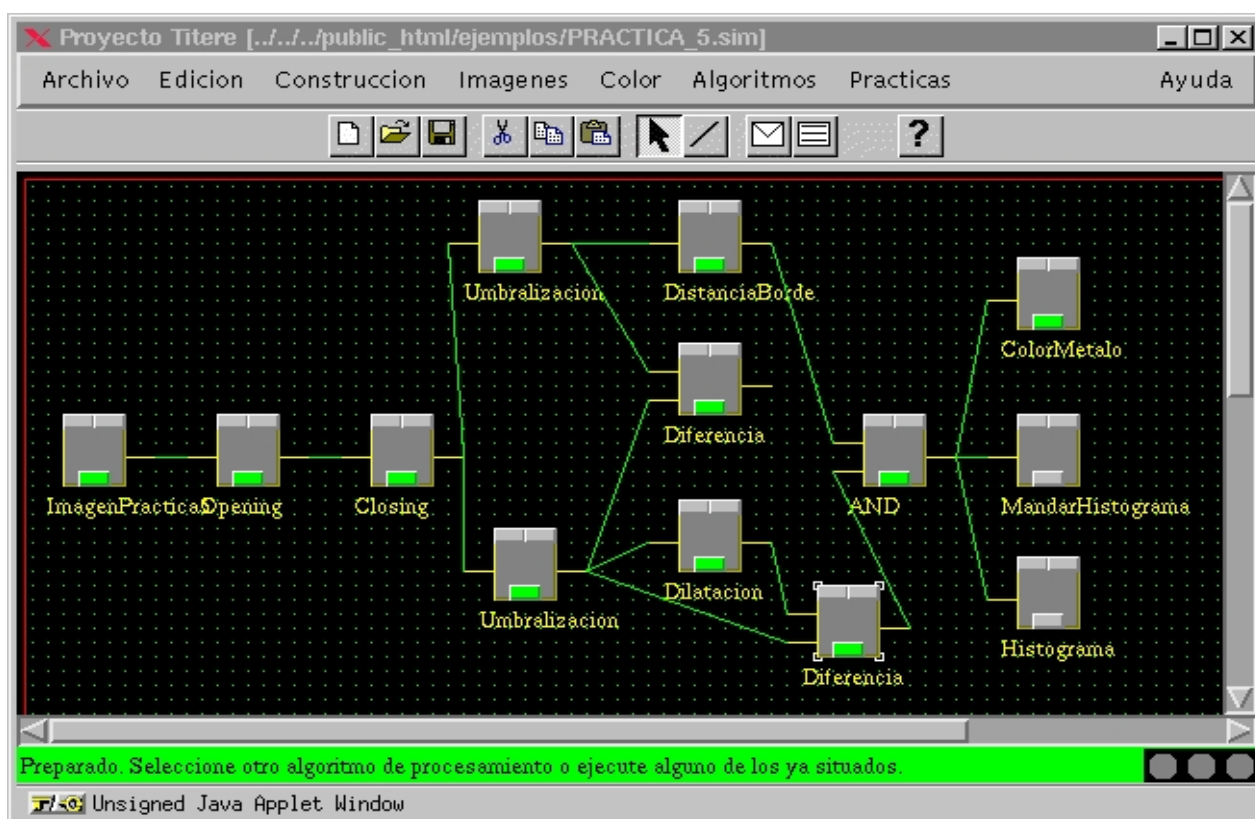


Figura 5. Módulo de procesamiento de imágenes

3.4 Tutorial

El tutorial consta de dos secciones diferentes. La primera describe las técnicas básicas de procesamiento de imágenes, y constituye una primera toma de contacto para el alumno. El índice contiene las siguientes materias: introducción a la visión por computador, digitalización, características de las imágenes, transformaciones de imágenes, reducción del ruido, realce de imágenes, detección de bordes, transformaciones morfológicas, transformaciones geométricas, procesamiento de imágenes en color, segmentación de imágenes, detección de características y técnicas de reconocimiento.

La segunda parte del tutorial es un manual de usuario, que describe las características y las funciones del sistema Títere.

3.5 Auto-evaluación de prácticas

El sistema tiene implementadas varias prácticas (ver apartado 4), que posibilitan que el alumno trabaje con imágenes reales o sintéticas y diseñe algoritmos de procesamiento de imágenes. Cada práctica consta de objetivos, imágenes empleadas, algoritmos utilizados, descripción de la práctica y preguntas de auto-evaluación. Una vez que el alumno ha realizado la práctica debe de rellenar un cuestionario a través del navegador, que genera una nota resultado. Puede

contestar cuantas veces desee a la preguntas para ver la evolución de sus conocimientos, aunque en el servidor queda registrada dicha evolución.

Con respecto a la evaluación, se utilizan diferentes estrategias. La primera consiste en suministrar un formulario al alumno en la página web. El alumno debe de constarlo y enviarlo. Las preguntas son automáticamente contestadas y evaluadas según los criterios definidos en cada formulario. No se busca el recuento de respuestas correctas, algo que puede ser muy subjetivo cuando se evalúa la bondad de los algoritmos de visión, sino que se busca la coherencia y la consistencia de las respuestas. Una segunda estrategia para la evaluación del alumno, consiste en analizar las imágenes y el área de trabajo generado por el alumno.

La experiencia de los autores en el campo determina que la evaluación generada por el sistema no debe de ser usada exclusivamente para la calificación definitiva de la asignatura, pues no se puede asegurar la autenticidad cuando se contestan las preguntas (salvo que se realizasen en una sala de exámenes, lo que también limitaría los beneficios del sistemas). Por el contrario si que se demuestra como una útil herramienta para que el propio alumno pueda medir su nivel de conocimiento, faceta básica para el auto-aprendizaje.

4. PRÁCTICAS PROPUESTAS

Se han desarrollado las siguientes prácticas: 1) Reducción del ruido, 2) Detección de bordes, 3) Procesamiento de imágenes en color. 4) Segmentación, localización y reconocimientos de piezas. 5) Análisis metalográfico. 6) Detección de defectos en PCBs. 7) Segmentación automática de piezas

A continuación se describen tres de estas prácticas.

4.1 Análisis Metalográfico

Esta práctica consiste en la determinación del ancho de la zona periférica de un redondo de acero con alto contenido en carbono mediante técnicas morfológicas. Se suministra al alumno una herramienta para medir la anchura de la mencionada zona periférica, en piezas sometidas a un tratamiento de cementación, para aumentar la resistencia al desgaste del material. La entrada de la práctica son un conjunto de cinco imágenes, una de las cuales se muestra en la figura 6.

Los pasos que se proponen realizar son los siguientes (grafo de la figura 5)

- 1) Filtrado de la imagen. Las imágenes captadas poseen un cierto nivel de ruido. Se propone la utilización de Opening y Closing, aunque queda a libertad del alumno el utilizar adicionalmente otros.
- 2) Segmentación de las imágenes. Las imágenes se componen de tres campos diferenciados, que indicados de fuera a dentro son los siguientes:

fondo, periferia y núcleo. Los umbrales de segmentación los determina el alumno de forma manual, aunque deberán de ser válidos para todas las piezas.

- 3) Determinación de la distancia al borde. Para la imagen binaria de la pieza, se determina la distancia de cada píxel del objeto al borde mediante el algoritmo de DistanciaBorde. Es un algoritmo iterativo que avanza desde el borde hacia el centro del objeto. La imagen resultante es una imagen en nivel de gris, donde el valor de intensidad de cada píxel indica la distancia de dicho píxel al borde.
- 4) Determinación de la zona de análisis. La zona de análisis es la frontera entre el núcleo y la periferia, y que será donde serán representativos los resultados obtenidos por el algoritmo DistanciaBorde. Esta zona se resalta mediante un algoritmo específico. Fijando un parámetro de valor mínimo, se representa en tono oscuro cuando el valor del píxel es inferior al valor mínimo, y en tono claro cuando el valor del píxel es superior al valor mínimo (figura 6).

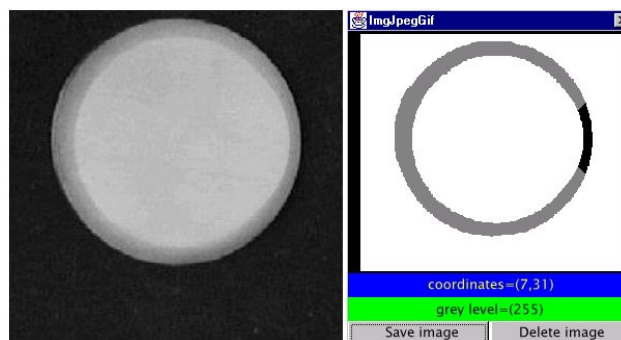


Figura 6. Análisis Metalográfico

Para su evaluación el alumno deberá contestar el valor de los umbrales de segmentación, así como generar los histogramas de las imágenes de la zona de análisis, obtenidos a partir de las cinco imágenes de prueba.

4.2 Detección de defectos en PCBs

Esta práctica permite al estudiante asimilar ciertas técnicas de inspección sobre placas de circuito impreso (PCB) mediante visión artificial. Se dispone de dos PCBs similares habiéndose introducido defectos en una de ellas. El propósito de la práctica es detectar errores de fabricación, como son engrosamiento, estrechamientos, roturas en pistas, pads demasiado pequeños o demasiado grandes y pads no taladrados. Ambos PCBs pueden ser posicionadas en frente de la cámara mediante el plato rotatorio. La imagen de alta resolución es obtenida mediante iluminación a contraluz permitiendo una visualización clara de cada elemento de la PCB. La figura 7 muestra una imagen de una de las PCBs tal como es vista por la cámara del sistema

TITERE, y el resultado de procesarla con la aplicación de procesamiento de imágenes.

Para el análisis se realizan los siguientes tratamientos:

- 1) Adaptación de la imagen. La imagen capturada es en color y debe ser convertida a nivel de gris mediante la adecuada combinación de los canales RGB.

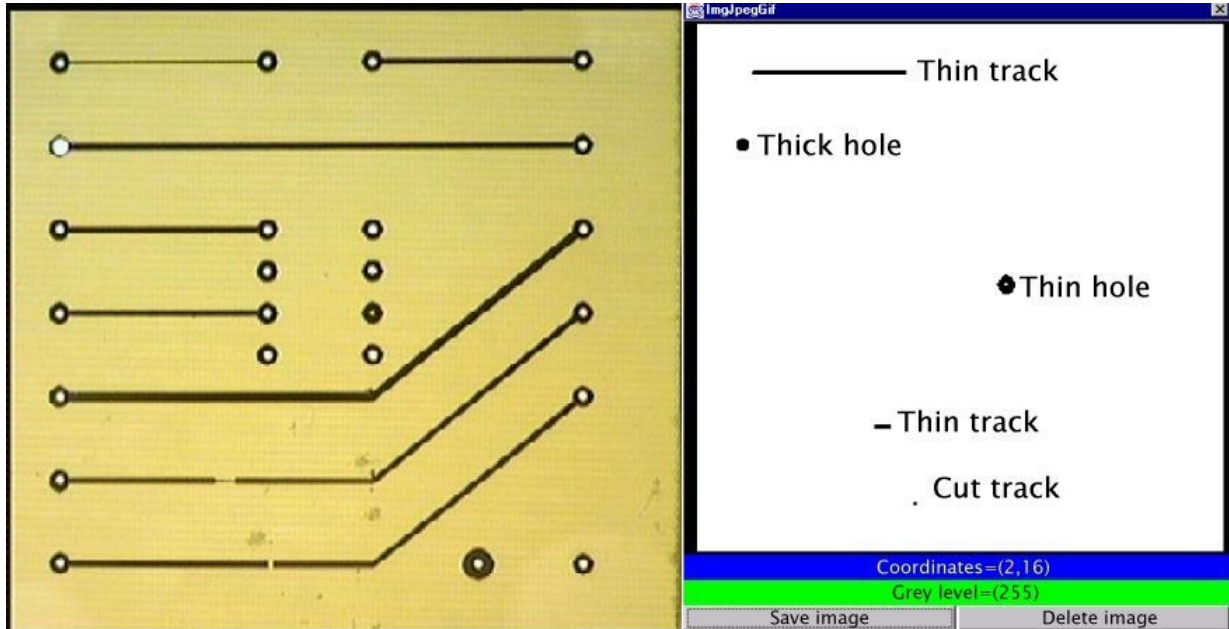


Figura 7. Detección de defectos en PCBs

- 2) Segmentación: mediante el uso de dos umbrales el alumno puede segmentar los taladros y las pistas de la PCB. Estos umbrales los determina el alumno de forma manual, aunque deben de ser válidos para todas las imágenes.
- 3) Búsqueda de defectos: mediante el empleo de diversas técnicas morfológicas (erosión, dilatación, opening, closing, hit-or-Miss, adelgazamiento, podamiento, ...) el alumno busca todas aquellas peculiaridades que puedan ser consideradas como defectos.
- 4) A fin de resaltar los resultados sobre las imágenes iniciales, se emplea falso color.

La evaluación se basa en las imágenes originales así como en las imágenes finales obtenidas.

4.3 Segmentación, localización y reconocimiento de piezas

El propósito de esta práctica es estudiar el problema de reconocimiento de piezas en imágenes. El estudiante puede adquirir imágenes de diferentes elementos reales, como una arandela, un tornillo, o una tuerca, y calcular los descriptores más significativos de cada tipo de pieza en orden a reconocerlas. La figura 8 muestra ejemplos de imágenes reales adquiridas con el sistema Títere. El estudiante debe capturar dos conjuntos de imágenes. El

Posteriormente es necesario realizar una reducción del nivel de ruido: la imagen en escala de grises obtenida puede tener cierta cantidad de ruido, sobre todo en los bordes por el formato de compresión JPEG.

El primer conjunto consiste en imágenes del mismo elemento adquiridas utilizando la misma resolución. El segundo conjunto consiste en imágenes del mismo elemento adquiridas utilizando diferentes resoluciones.

Los pasos a seguir para el procesamiento de las imágenes de cada pieza se describen a continuación:

- 1) Filtrado. Las imágenes adquiridas necesitan usualmente ser filtradas para evitar el efecto del ruido en las etapas posteriores.
- 2) Segmentación. La imagen es segmentada mediante un umbral decidido por el alumno. Este umbral debe de ser válido para todas las imágenes. La imagen resultante es invertida para obtener los píxeles de la pieza a nivel alto (255).
- 3) Análisis de Blobs. A partir de la imagen binaria, se realiza un etiquetado de las regiones de la imagen. Las características obtenidas de los blobs (regiones etiquetadas) son el área, perímetro, límites, centro de gravedad, compacidad, y nivel de gris de la imagen original. Esta información se muestra en un panel específico en la aplicación de procesamiento de imágenes.



Figura 8.

Segmentación, localización y reconocimiento de piezas

- 4) Reconocimiento. Se realiza un análisis sucesivo de diferentes imágenes de la misma pieza obteniendo información estadística acerca de las diferentes características calculadas. Basado en la desviación típica de los resultados, el alumno puede decidir cuáles son los descriptores más adecuados para el reconocimiento de cada pieza.

La evaluación del trabajo realizado por el estudiante es realizado mediante un formulario con cuestiones relacionadas con la validez de ciertas características en el reconocimiento.

5. CONCLUSIONES

En el artículo se presenta un sistema para la realización de prácticas de visión por computador. Algunas ventajas del sistema son las siguientes: Permite el aprendizaje de forma remota; se realiza el control de un dispositivo real; los estudiantes no necesitan seguir una planificación horaria rígida, pudiendo realizar las prácticas cuantas veces desee o cuando tenga asimilado los conceptos teóricos; el sistema está disponible para el alumno las 24 horas del día; el alumno puede contrastar sus conocimientos mediante la auto-evaluación.

Igualmente los alumnos pueden diseñar complejos algoritmos más allá de los objetivos de las prácticas, lo que posibilita trabajos de mayor nivel. Así está prevista la generación de nuevas prácticas.

Hasta la fecha el sistema ha sido usado al menos por unos 700 alumnos, que pertenecen a enseñanzas de segundo ciclo y de tercer ciclo. Cabe destacar su utilización en diversas Universidades Españolas y Latinoamericanas.

REFERENCIAS

- [1] B. Aktan, C.A. Bohus, L.A. Crowl, and M.H. Shor, "Distance Learning Applied to Control Engineering Laboratories," *IEEE Transaction on Education*, vol. 39, pp. 320-326, Aug. 1996.
- [2] D. Gillet, H.A. Latchman, Ch. Salzmann, and O.D. Crisalle, "Hands-On Laboratory Experiments in Flexible and Distance Learning," *Journal of Engineering Education*, pp. 187-191, Apr. 2001.
- [3] H.A. Latchman, Ch. Salzmann, D. Gillet, and J. Kim, "Information Technology Enhanced Learning in Distance and Conventional Education," *IEEE Transactions on Education*, vol. 42, pp. 247-254, Nov. 1999.
- [4] S.E. Poindexter, and B.S. Heck, "Using the Web in Your Courses: What Can you Do? What Should You Do?" *IEEE Control System*, pp. 83-92, Feb. 1999.
- [5] T.F. Junge, and C. Schmid, "Web-Based Remote Experimentation Using a Laboratory-Scale Optical Tracker," *Proceeding American Control Conference ACC'2000*, Chicago June 2000, pp. 2951-2954.
- [6] C. Schmid, T.I. Eikaas, B. Foss, and D. Gillet, "A Remote Laboratory Experimentation Network," *1st IFAC Conference on Telematics Applications in Automation and Robotics*, Weingarten, Germany, Jul. 2001.
- [7] P. Antsaklis, T. Basar, R. Decarlo, N. Harris, M. Clamroch, M. Spong, and S. Yurkovich, "Report on the NSF/CSS Workshop on New Directions in Control Engineering Education," *IEEE Control System*, PP. 53-58, Oct. 1999.
- [8] J.M. Sebastián, D. García, and F.M. Sánchez "Remote Access Education Based on Image Acquisition and Processing through the Internet". *IEEE Transactions on Education*, vol. 46, pp. 142-148, Dec. 2003.
- [9] P.F. Whelan, and D. Molloy, *Machine Vision Algorithms in Java*, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2001.
- [10] Linux Operating System, University of Helsinki in Finland. Available: <http://www.linux.org>, Jun. 2002.
- [11] Java 1.0.2 API User's Guide. Sun Microsystems, Inc, Menlo Park, California, USA. Available: <http://www.javasoft.com/>, 2002.
- [12] Khoros, visionary software, Albuquerque, New Mexico, USA. Available: <http://www.khoros.com/>