

Diseño de un Sistema de Enseñanza de Procesado Digital de Imágenes basado en UNIX

Eduardo Díaz Delgado. *Universidad de Sevilla.*
 José Angel Bernal Bermejo. *Parlamento de Andalucía.*
 María Dolores Borrás Talavera. *Universidad de Sevilla.*

Introducción.

Evolución de la tecnología de computadores.

La evolución de la tecnología de computadores ha permitido una amplia difusión de los mismos como herramientas en los diferentes entornos de trabajo y enseñanza.

La utilización de los ordenadores en los entornos técnicos ha llegado a cotas que hacen impensable el desarrollo de cualquier tipo de tecnología sin su ayuda. De hecho, en un estudio realizado por la asociación americana IEEE, una de las de más amplia implantación en el área de la electricidad y electrónica en el mundo, entre sus lectores en 1993 indicaba que el 96.5% de los mismos utiliza ordenadores (el 69.6% tanto en casa como en la oficina) [1]. Debemos tener en cuenta que en muy pocos años hemos pasado de ordenadores con capacidades de cálculo muy limitadas y con un gran volumen, a unos ordenadores que son capaces de procesar millones de instrucciones por segundo con un tamaño y consumo muy reducidos (según la Ley de Moore, la capacidad de los procesadores aumenta de forma lineal en el tiempo [2]). Todo ello ha hecho que el número de ordenadores instalados se cuente por cientos de millones y que el coste de los mismos sea asequible para la mayoría de las personas, lo que ha permitido que sean un elemento fundamental en los lugares de trabajo y, en muchos casos, un electrodoméstico más en las casas.

Evolución de los gráficos por ordenador.

Otro aspecto importante que tenemos que tener en cuenta es la evolución sufrida por los gráficos por computador, ya que éstos suministran una potente interfase entre la persona y el computador [3]. Desde el comienzo de la historia de esta disciplina hasta nuestra época, hemos pasado de una interfase simple y con una capacidad muy limitada a unas posibilidades inmensas tras la introducción de diferentes elementos que facilitan el manejo del ordenador por parte del usuario.

Los primeros sistemas gráficos se basaban en resoluciones de pantalla (número de puntos horizontales y verticales representables) bajas, pero al aumentar las posibilidades de almacenamiento de información (RAM), la posibilidad de aumentar la resolución se ha hecho posible llegándose a resoluciones que hace pocos años se pensaban sólo para grandes sistemas.

Otro cuello de botella que se presenta con la utilización de gráficos por computador es la necesidad de potencia de cálculo. A

medida que aumenta la resolución y el número de colores representables aumenta, no linealmente, la capacidad de cálculo requerida para tratar la información gráfica [4]. Como hemos visto, dicha limitación se ha ido paliando a medida que aumentaba la potencia de los procesadores.

En el trabajo técnico la comunicación visual y gráfica es algo estrechamente relacionado e inherente al método del ingeniero [5] lo que hace necesario que se tengan conocimientos sobre las herramientas gráficas disponibles para computadores.

La informática en las enseñanzas técnicas.

Ello hace que la utilización de herramientas informáticas en la docencia de las enseñanzas técnicas venga ampliamente justificada como demuestran las propuestas que se han presentado a lo largo de los últimos 15 años para incluir los ordenadores y su tecnología como parte de la formación de los alumnos de las diversas ramas de la ingeniería ([6] [7] [8] [9] [10] [11] [12]). En algunos aspectos se puede justificar la siguiente frase de David Bishop, de los Laboratorios AT&T Bell: "Saber cómo se usa un ordenador puede ser más importante que saber cómo se usa un lápiz".

Si bien la inclusión de unos conocimientos básicos en Informática (estructura de ordenadores, nociones de sistemas operativos, nociones de programación,...) se realiza ya en los nuevos planes de estudios [B.O.E.] que se están poniendo en marcha en nuestro país, creemos que al alumno se le debe dar la oportunidad de conocer otros aspectos que pueden ser importantes y estar estrechamente ligados al desarrollo de su vida profesional [10].

En particular, dada la necesidad de conocimiento del entorno, el comportamiento de sistemas o estructuras es fundamental. Los gráficos por computador deben ser una parte de la formación en enseñanzas técnicas [13] [14]. Téngase en cuenta que actualmente muchos problemas científicos y de ingeniería se resuelven mediante gráficos por computador como pueden ser problemas de dinámica de fluidos, modelado molecular, exploración geológica, imágenes médicas, simulación climática e incluso el modelado físico de ecuaciones matemáticas [15].

Como indica Carl Machover [3]: "La distinción entre gráficos por computador y el procesado de imagen en ocasiones es muy ambigua. Los gráficos por computador a menudo manejan datos vectoriales mientras que en procesado de imagen los datos son de pixel (punto de imagen)". Si bien en muchos aspectos esto es cierto: muchos programas gráficos hacen lo mismo con uno y otro tipo de datos, nosotros nos centramos en el procesado de imagen como herramienta de inspección o detección de características de una imagen dada [16]. Existen muchos ejemplos de la utilización del procesado de imagen como medio de control de calidad en diferentes campos de la industria [17] [18].

El sistema propuesto.

Las razones que nos han llevado a desarrollar nuestro propio software de aprendizaje de procesado de imagen son: existe mucho software de tratamiento de imagen pero éste es caro, está en inglés, no es muy intuitivo o es un software de tipo general con aplicaciones al procesado de imagen. En un estudio hecho por la revista IEEE Signal

Processing muestra que más de un 10% de las instituciones docentes americanas que tienen en su curriculum el procesado de señal (una buena parte de esta enseñanza se basa en el procesado de imagen) ha desarrollado su propio software. Uno de estos centros es la Universidad de Nuevo México que, en nuestra opinión, ha desarrollado uno de los paquetes de procesado de imagen más completos y modernos "Khoros" [19] [20]. Dicho software se puede obtener mediante Internet (<http://www.khoros.unm.edu>), pero creemos que dicho software necesita de un proceso de aprendizaje excesivamente largo dada la tendencia a que las asignaturas de los nuevos planes de estudio sean de corta duración. Esto nos obliga a minimizar el período de aprendizaje inicial para el alumno y poder obtener resultados satisfactorios en un tiempo corto.

Por tanto, nuestra intención ha sido diseñar un software que permitiera, mediante un método sencillo y rápidamente asimilable por el alumno, un aprendizaje de los fundamentos del procesado de imagen. Para ello hemos tenido en cuenta una serie de puntos:

- El sistema de aprendizaje debe basarse en una monitorización por parte del profesor de la actividad del alumno pero sin la necesidad de estar junto a él. Este requerimiento tiene como respuesta la utilización de un sistema basado en red de computadores. Ello nos permite el disponer de un laboratorio de procesado de imagen que puede estar basado en un computador que alberga tanto el programa de tratamiento de imagen como las imágenes de prueba que ha de utilizar el alumno y una serie de ordenadores de menores prestaciones o, como veremos posteriormente, X-terminales. De esta forma, el computador principal no tiene que estar en el laboratorio dejando en éste sólo los terminales.

- El sistema operativo debe permitir la supervisión de los trabajos que realizan los alumnos por parte del profesor mientras aquellos están trabajando. Dicha supervisión en muchos momentos puede ser conveniente que se realice sin que el alumno lo note (monitorización remota). Además debe permitir que los alumnos puedan trabajar con el mismo computador desde diferentes terminales. Nuestra opción ha sido el sistema operativo UNIX, dado que es un sistema operativo altamente probado (tiene más de 25 años de existencia), muy estable y en constante evolución. Además, contamos con la ventaja de la existencia de un sistema operativo UNIX que se ejecuta en plataformas Intel (según International Data Corp. el 72% de las estaciones de trabajo que se venderán en 1997 estarán basadas en procesadores Intel [21]). Otro factor que se debe tener en cuenta es que en estos momentos la evolución de los sistemas operativos hace previsible la existencia de una lucha entre Windows NT y Unix, descartando los demás, como indica Steven J. Wallach en [21].

- El sistema no debe estar basado en computadores costosos a fin de facilitar en algunas fases el autoaprendizaje por parte del alumno. Si permitimos que el alumno pueda realizar trabajos o estudiar ejemplos en el computador que tenga en su casa, estaremos facilitando una mayor rotación de la utilización de los terminales del laboratorio e incentivando la iniciativa del alumno para la realización de pruebas sobre las imágenes. Ello redundará en un mayor interés por parte del alumno y la posibilidad de realización de trabajos sin depender exclusivamente de las dotaciones del centro.

Por ello, el sistema SPIX se ha basado en el sistema operativo Unix. En particular, nuestra propuesta es una versión de Unix, denominada Linux, que es de dominio público (se puede obtener gratuitamente en Internet) y que se ejecuta en plataformas Intel (386/486 o Pentium) [22]. Este sistema operativo no requiere de muchas prestaciones (486, 8Mb RAM y +150Mb de disco duro) en un equipo que se utilice con pocos usuarios (de 1 a 3) y entorno gráfico X-Window [23]. Para más usuarios será aconsejable disponer de un computador basado en procesador Pentium con 32Mb RAM y disco duro de más de 1.6 Gb. Esto permite que el alumno pueda disponer en su casa del mismo sistema operativo y programa de aplicación que utiliza en su centro de enseñanza y, además, se familiariza con uno de los sistemas operativos con más futuro y que es ampliamente demandado por las empresas.

El sistema SPIX.

El método de enseñanza en general (y en el procesamiento digital de imágenes en particular) para ser efectivo, debe estar bien estructurado, ser sistemático, orientado a la obtención de resultados y presentado de forma agradable al alumno.

El proceso de enseñanza consta de una serie de etapas:

- 1.-Introducción al procesamiento digital de imágenes y al desarrollo del curso.
- 2.-Lectura y exposición de fundamentos y técnicas, que permiten la absorción de datos básicos.
- 3.-Demostración mediante resolución de tareas a modo de ejemplo.
- 4.-Práctica con ejercicios controlados y dirigidos por el profesor, que ayudan a desarrollar las habilidades en la materia.
- 5.-Evaluación. Prueba de los conocimientos adquiridos mediante un proyecto propuesto, expresado como problema del mundo real.

El profesor es pieza básica del sistema, aunque el alumno puede realizar operaciones de forma independiente. Esto le lleva a una etapa de experimentación y aprendizaje iterativo. Al disponer de una jerarquía en la secuencia de operaciones aplicadas a las imágenes, siempre disponemos de la posibilidad de volver a estados anteriores del proceso. Si el procedimiento aplicado no fuera el correcto, podemos volver sobre nuestros pasos e intentar un nuevo proceso. El ordenador se adapta bien a esta tarea, ya que ejecuta tareas repetitivas sin cansancio ni aburrimiento y no tiene prejuicios sobre los conocimientos y capacidades de los alumnos.

Un panel de estado nos presentará un grafo conexo en el que los nodos representan a imágenes y los arcos, a operaciones realizadas sobre ellas. Se establece así un flujo de información en el que tenemos accesibles las fuentes de la información y sus modificadores.

El poder visualizar al mismo tiempo las imágenes originales y sus correspondientes resultados, permite una comparación y estudio detallados.

El proceso científico se puede desarrollar completamente desde el entorno gráfico. La enseñanza y la investigación se convierten en actividades simbióticas, que se complementan y estimulan.

El entorno de trabajo está formado por los ordenadores de profesor y alumnos, junto a dispositivos de captura (cámara y escáner) y muestra (impresora) de imágenes. Estos recursos están compartidos por medio de una red de área local. El ordenador del profesor dispondrá de un medio de almacenamiento de alta capacidad y en él se puede realizar la mayor parte del procesamiento de las imágenes, mientras que los ordenadores que usan los alumnos pueden ser de bajo coste con pantalla y tarjeta de vídeo que puedan trabajar en modo gráfico o incluso terminales X.

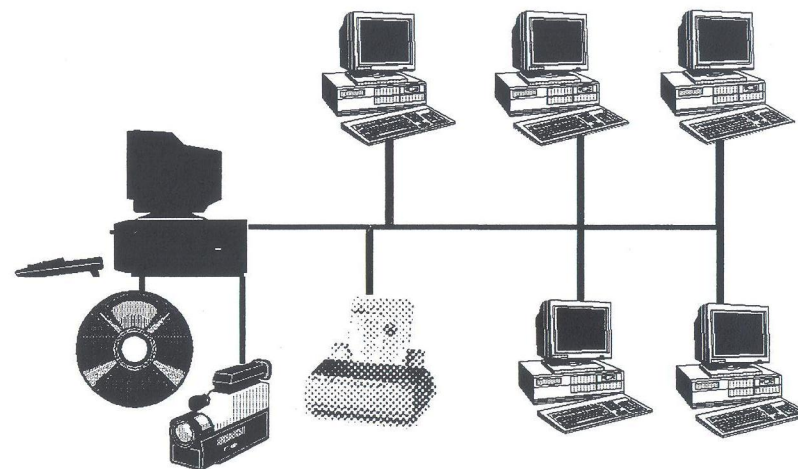


Figura 1. Estructura de red del laboratorio

Interfaz Gráfica de Usuario

Interfaz de usuario es el término utilizado para referirse a las partes del sistema (normalmente un ordenador) con las que interactúa una persona que lo utilice [24]. Como consecuencia del avance en capacidad y rapidez del hardware (o material) que soporta los gráficos por computadora, hoy día, el tipo de interfaz que se presenta al usuario es primordialmente gráfico. Esto hace que su utilización sea más fácil, intuitiva y potente. Casi todos los interfaces siguen la "metáfora del escritorio", presentando en la pantalla un entorno completo de trabajo, como el que nos podemos encontrar en nuestra mesa de escritorio.

Las ventanas son una parte fundamental de estas interfaces gráficas de usuario (IGU); son áreas rectangulares que se pueden

visualizar, solapar unas con otras, recolocar en el área de pantalla o iconificar. Todas las aplicaciones que soportan un interfaz gráfico de usuario tienen un funcionamiento parecido y el entorno es conocido por los estudiantes.

El sistema de ventanas X-Window es un software estándar industrial en entornos Unix que permite desarrollar y ejecutar aplicaciones con un interfaz gráfico de usuario potente y portable [25]. Fue desarrollado por un consorcio de compañías centradas en el trabajo del MIT (Massachusetts Institute of Technology). El protocolo de comunicación X es independiente de cualquier tipo de dispositivo gráfico, permitiendo el trabajo con ventanas en cualquier dispositivo en el que se implemente el servidor, sin necesidad de modificar las aplicaciones.

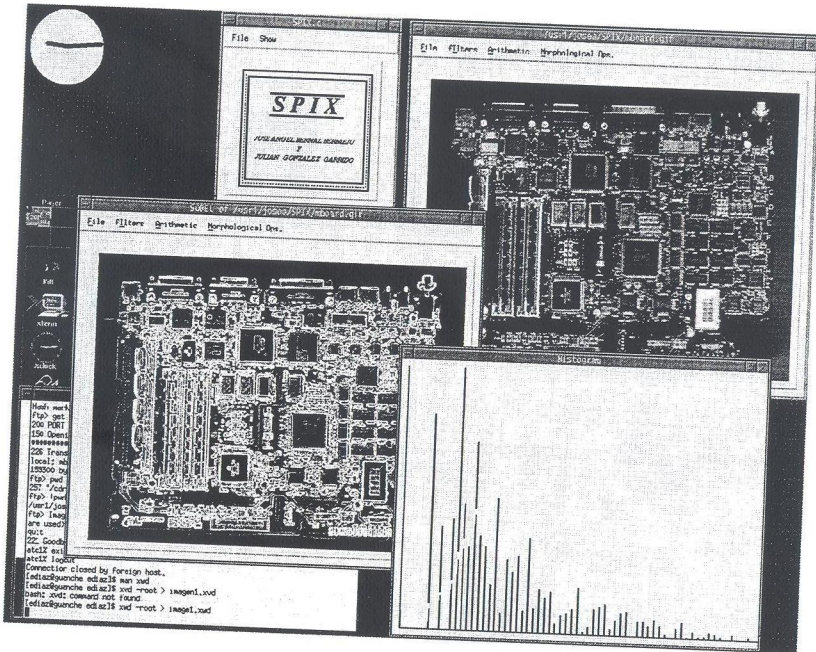


Figura 2. SPIX en entorno X Window

La percepción visual es un modo rico y único de procesamiento de información. Esta percepción nos transmite información mediante un canal de gran ancho de banda de una forma estructurada, facilitando su comprensión [26]. La información multidimensional puede ser codificada por el cerebro rápidamente y de forma duradera. Los interfaces gráficos de usuario permiten una manipulación de las imágenes de forma intuitiva. Mediante menús desplegables, podemos acceder a todas las operaciones disponibles, utilizando solamente un ratón como dispositivo de entrada. Esto permite que el tiempo en el que el alumno aprende el funcionamiento del programa sea realmente corto. Las operaciones disponibles nos permiten realizar cálculos aritméticos, de procesamiento y análisis de imagen.

Los resultados obtenidos pueden ser grabados y restaurados posteriormente para su utilización.

Un entorno distribuido permite que múltiples usuarios compartan imágenes y trabajen simultáneamente sobre ellas [22][27]. El trabajo cooperativo permite el intercambio de resultados y opiniones, lo que permitirá y fomentará la realización de trabajos en grupo.

El multiplexor de protocolo X (XMX), desarrollado por John Bazik de la Universidad de Brown, permite implementar un aula electrónica sobre una red de ordenadores ejecutando X-Window [22]. Este software (o logical) permite que una o más ventanas que se abran en la máquina del profesor sean visualizadas en las máquinas de los estudiantes. Esto posibilita que el profesor ejecute un procesamiento que se visualiza en todas las máquinas y cada estudiante comprueba ese mismo procesamiento ejecutándolo él mismo o una variación del mismo. Lo que nos da una potente herramienta de enseñanza mediante red informática.

Conclusiones

En los apartados anteriores se ha descrito la necesidad de introducir a los alumnos en asignaturas con contenidos específicos sobre procesamiento de imágenes, ya que, con un conocimiento básico sobre el tema y teniendo en cuenta la portabilidad y fácil manejo de la aplicación SPIX, ponemos a su disposición una herramienta con infinidad de aplicaciones tanto industriales como en el campo de la enseñanza en las Escuelas Técnicas de Ingeniería.

Una de las aplicaciones más directas incluiría el análisis de placas de circuitos impresos, y este análisis se puede desglosar en varios puntos, que consistirían en :

- **Determinación de pistas defectuosas:** Que puede ser realizada mediante técnicas de detección de bordes integradas en el módulo SPIX, y comparando los resultados obtenidos con otros anteriores previamente guardados.
- **Detección de fallos de soldadura, elementos mal dispuestos...** Consistiría en el uso de Técnicas de reconocimiento de patrones.
- **Análisis de circuitos en placas simples:** Obtención del esquema eléctrico a partir de una placa de circuito impreso en placas con sólo dos caras.

Un aspecto importante al impartir docencia sobre el desarrollo, análisis y diseño de circuitos electrónicos para su posterior implementación física, es el paso del esquema eléctrico del circuito a su implementación definitiva sobre una placa de circuito impreso. Con un sistema de tratamiento de imágenes, y disponiendo de imágenes de la placa por ambas caras, se puede ir extrayendo cada componente del circuito, así como sus interconexiones, con lo cual somos capaces de obtener su esquema eléctrico en pocos pasos. De este modo mostramos a los alumnos, de forma fácil y rápida, el proceso inverso, lo cual ayudaría bastante a la comprensión de los conocimientos.

Desde una perspectiva complementaria se pretende, en un futuro próximo, desarrollar aún más dicha aplicación, con el fin de convertirla en una herramienta de fácil manejo y expandible a cualquier área de conocimiento que requiera inspecciones de productos o muestras periódicas sin necesidad de que sean supervisadas directamente por una persona, así como en control de calidad. Para ello se complementaría usando una metodología de orientación a objetos y en un lenguaje de especificación formal estandarizado como es el C++, que lo hace portable a todo tipo de plataformas desde PCs a grandes ordenadores, apoyado con librerías que permitirían afrontar problemas de máxima complejidad y tamaño. Asimismo se puede acompañar con un generador automático de código de proceso, que facilitaría el desarrollo. Además se tratará de simplificar aún más su uso, para ello se está desarrollando un módulo adicional que consiste en un panel de control de flujo de los procesos a ejecutar, que permite especificar el proceso a realizar mediante diagramas de flujo.

La utilización de estas aplicaciones en la enseñanza sólo sería un salto cuantitativo hacia las múltiples facetas laborales que puede abarcar un estudiante de Ingeniería. Así, sería muy útil para la detección en Logística de golpes en embalajes, para procesos de fabricación en detalles de terminación de producto acabado, etc. Las posibilidades son tantas como procesos laborales se puedan realizar.

Este tipo de métodos aplicados a la enseñanza redundará en un futuro en la optimización, mejora y abaratamiento de costes de los sistemas productivos.

Bibliografía

- [1] Comerford, R., "Engineers and Pcs", IEEE Spectrum p. 40-46, Mayo 1993.
- [2] Ryan, B., "A toda velocidad", Binary p.145-161. Mayo, 1992.
- [3] Machover, C., "Four Decades of Computer Graphics", Computer Graphics and Applications p. 14-19, Noviembre 1994.
- [4] Domingo Ajenjo, A., "Tratamiento Digital de Imágenes", Editorial Anaya Multimedia. Madrid, 1993.
- [5] Giménez, F., "La Comunicación Visual y Gráfica en el Ambito Técnico y Constructivo". II Congreso de Expresión Gráfica en la Ingeniería. La Rábida (Huelva). Junio 1990.
- [6] Menéndez, A., "Actividades complementarias en la enseñanza de la Tecnología Electrónica". III Jornadas Universitarias sobre Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Ferrol. Septiembre 1995.
- [7] Andújar, J., Redondo, M., Mejías, A. & Márquez M., "Propuesta de asignaturas troncales obligatorias para la formación integral del nuevo I.T.I Electrónico". III Jornadas Universitarias sobre Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Ferrol. Septiembre 1995.
- [8] Aliaga, J., González, V. & Alonso, J. "Introducción del ordenador en el aula". II Congreso de Expresión Gráfica en la Ingeniería. La Rábida (Huelva). Junio 1990.
- [9] Christiansen, D., "New Curricula", IEEE Spectrum p.25, Julio 1992.

- [10] Geppert, L., "Educating the Renaissance Engineer", IEEE Spectrum p. 39-43, Septiembre 1995.
- [11] Fasang, P. & Rine, D., "Computer Science and Engineering Curricula: The Bridge from Theory to Applications", Computer p. 37- 42. Junio 1980.
- [12] Hinderliter, R. & Shapiro, S., "A Program of Continuing Education in Applied Computer Science", Computer p.76- 80. Octubre 1981.
- [13] Agüayo, F. & Gámez, J., "La Formación Gráfica y en Normalización de los Ingenieros Electrónicos". II Congreso de Expresión Gráfica en la Ingeniería. La Rábida (Huelva). Junio 1990.
- [14] Lara, A., Nuñez, G. & Zatarain, Y., "Simulación Gráfica por Computador de un Robot tipo Scara". II Congreso de Expresión Gráfica en la Ingeniería. La Rábida (Huelva). Junio 1990.
- [15] Gallagher, R., "Visualization: the look of reality". IEEE Spectrum p. 48-55. Noviembre 1994.
- [16] Smith, B., "Making war on defects:Six-sigma design". IEEE Spectrum p.43- 47. Septiembre 1993.
- [17] Serrano, J., "Procesado morfológico de imágenes". Eurofach Electrónica p.54- 63. Marzo 1995.
- [18] Borrás, M., Ayuso, F., Díaz, E., Simón, V. & Cano, R., "Obtención de Relieves y Detección de Bordes en Imágenes. Aplicación al Control Visual de Robots". 3ª Jornadas Hispano-Lusas de Ingeniería Eléctrica. Barcelona. Julio 1993.
- [19] Young, M., Argiro, D. & Kubica, S., "Cantata: Visual Programming Environment for the Khoros System". Computers Graphics, p.22-24. Mayo 1995.
- [20] Rasure, J., Ramiro, J. & Lotufo, R., "Teaching Image Processing with Khoros". IEEE International Conference on Image Processing. Austin, Texas (USA). Noviembre 1994.
- [21] Comerford, R., "Computers". IEEE Spectrum p.42- 45. Enero 1996.
- [22] Bokhari, S., "The Linux Operating System". Computer p.74- 79. Agosto 1995.
- [23] Comerford, R., "X, as in expediency". IEEE Spectrum p.60- 61. Mayo 1993.
- [24] Shneiderman, B., "Designing the User Interfaces". Addison-Wesley. Massachusetts 1986.
- [25] Young, D., "The X Window System". Prentice-Hall. Englewood Cliffs 1990.
- [26] Encarnaçao, J., Foley, J., Bryson, S., Feiner, S. & Gershon, N., "Reserach Issues in Perception and User Interfaces", IEEE Computer Grahics & Applications p.67- 69. Marzo 1994.
- [27] Konstantinides, K. & Rasure, J., "The Khoros Software Development Environment for Image and Signal Processing", IEEE Transactions on Image Processing p.243- 252. Mayo 1994.