

UN SISTEMA PARA LA AUMENTACIÓN DE INFORMACIÓN EN OBJETOS APILADOS

Edith Pulido, Ricardo Quirós, Germán Fabregat
Universitat Jaume I de Castellón
Av. Vicente Sos Baynat s/n
12071 Castellón - ESPAÑA
{pulido, quiros,fabregat}@uji.es

Mónica Rubio
Universidad de Oriente
Av. Patricio Lumumba
11111 Santiago de Cuba – CUBA
monicarr_cu@yahoo.es

Palabras clave: Sistemas de seguimiento, Localización del observador, Realidad Aumentada.

Resumen

Las tecnologías relacionadas con la Realidad Aumentada ofrecen nuevas posibilidades para la exploración de información distribuida espacialmente. En este trabajo describimos los principales aspectos implicados en el desarrollo de un sistema de Realidad Aumentada que permita la anotación de conjuntos de objetos apilados, con aplicación específica a una terminal marítima de contenedores. Se describe el modo de operación general del sistema, así como los principales problemas a resolver. Como objetivo secundario, se desea evaluar la validez de una herramienta de Realidad Aumentada basada en marcas en un ambiente interior controlado y estudiar las limitaciones para su posible uso en entornos exteriores.

1. Introducción

Las técnicas de Interacción Persona–Ordenador han experimentado un gran auge en los últimos años, impulsadas, en gran medida, por los avances recientes en las tecnologías relacionadas con los *Entornos Virtuales (EV)* y la *Realidad Aumentada (RA)*. La Realidad Aumentada se considera una variación del concepto de Entorno Virtual, en la que se permite que el usuario vea el mundo real que le rodea combinado con objetos virtuales superpuestos o compuestos con éste.

Las aplicaciones potenciales investigadas desde la aparición de los primeros trabajos relacionados con la RA son en su inmensa mayoría aplicaciones en entornos interiores: visualización médica [2][3], mantenimiento y reparación [4], planificación de acciones para robots [5], entretenimiento [6][7], navegación militar y anotación espacial [8]. Desde finales de la década de los noventa se está trabajando fuertemente en otras tres nuevas áreas: los sistemas de RA móviles en exteriores, la RA colaborativa y el desarrollo de aplicaciones comerciales [9]. Estas nuevas aplicaciones reflejan una comprensión más profunda de los posibles usos de la RA y los avances recientes en las tecnologías de seguimiento y visualización.

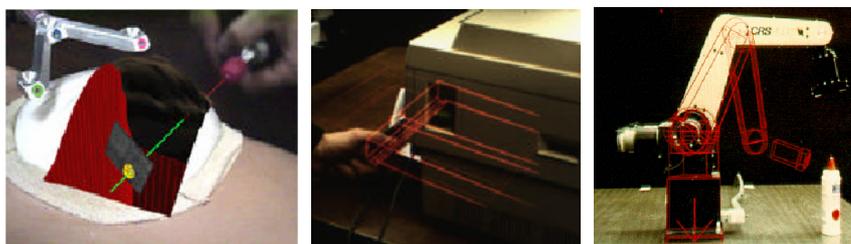


Figura 1. Aplicaciones clásicas de RA en interiores

Los avances en la informática y las técnicas de seguimiento experimentados en los últimos años han permitido explorar entornos exteriores con sistemas móviles. Estos sistemas abren nuevas posibilidades en la navegación y en el uso de información geográfica. El interés en desarrollar sistemas de RA que proporcionen un registro exacto en exteriores se encuentra en las posibilidades que ofrecen para experimentar en nuevas áreas de aplicación. Una de las aplicaciones de tales sistemas es guiar a turistas a través de lugares históricos, mostrándoles el camino correcto, lugares de interés, hechos históricos precedentes, etc. También algunas aplicaciones que se han tenido

que desarrollar en interiores, por la necesidad de disponer de entornos preparados y estructurados, pueden trasladarse al exterior para facilitar la realización de las tareas. Entre otras áreas de aplicación, la Realidad Aumentada puede utilizarse para anotar objetos y entornos con información pública o privada, asumiendo para ello la disponibilidad de bases de datos que almacenen esta información [10]. Investigadores de la Universidad de Columbia han demostrado esta posibilidad con la noción de ventanas asociadas a una interfaz de usuario estándar sobre localizaciones específicas en el mundo real [11] (figura 2, izquierda).



Figura 2. Aplicaciones de RA en el exterior

Aunque las aplicaciones en exteriores ofrecen posibilidades tentadoras, se han construido pocos prototipos de sistemas de RA para este tipo de entornos. Un grupo de investigadores de la Universidad de Columbia construyeron, en el año 1997, el primer prototipo de sistema de RA que permitía al usuario ver información asociada a construcciones a medida que recorría el Campus de la Universidad de Columbia [4] (figura 2, centro). Este sistema incluye seguimiento (brújula, inclinómetro y un GPS diferencial), una computadora móvil con un tablero gráfico 3D y un visiocasco transparente. El sistema presenta al usuario información del mundo real, como el nombre de edificios y departamentos.

Se han desarrollado versiones más recientes de este sistema que permiten visualizar modelos de edificios que existieron previamente en el Campus (figura 2, derecha), indicar el camino que se debe tomar para llegar a distintos destinos, o proyectar documentales de hechos históricos en el lugar en que se produjeron. También se han experimentado aplicaciones con ordenadores portátiles para sistemas de mantenimiento y reparación en exteriores. Ninguno de estos sistemas logra una buena exactitud en la alineación de los objetos reales y virtuales para una amplia variedad de localizaciones exteriores [12].

2. Objetivos

El principal objetivo en el diseño de sistemas de RA es que éstos lleguen a ser tan portables, ligeros, pequeños y robustos como sea posible y que permitan al usuario explorar cualquier entorno no preparado, ya sea interior o exterior, sin ninguna restricción. El principal objetivo de nuestro proyecto es el diseño de un prototipo móvil para la anotación de objetos en entornos abiertos. El sistema final a desarrollar estará compuesto de los siguientes dispositivos:

- Una o varias cámaras para capturar la escena, según sean necesarias.
- Un monitor estándar portable o montado en la cabeza.
- Dispositivos de seguimiento para localizar la posición del usuario y la dirección del punto de vista.
- Algún sistema de comunicación.
- Un computador portable, Tablet PC o PDA.
- Dispositivos de interacción.

El sistema, además, utilizará una base de datos que almacena información susceptible de ser mostrada como anotaciones, y contará también con un modelo geométrico del entorno real. El sistema permitirá al usuario seleccionar algún objeto en el entorno y preguntar por la información disponible correspondiente.

Específicamente, en esta primera etapa del trabajo, utilizamos una cámara (Philips ToUcam PRO II) para la captura de la escena, un monitor estándar, un software de seguimiento y localización de marcas en el entorno, un computador y un modelo físico simulado de la terminal de contenedores. La información sobre los contenedores

simulados se almacena en un fichero al que se accede para cada consulta. El modelo geométrico CAD de esta terminal se ha creado utilizando las librerías OpenGL y GLUT. El sistema permite al usuario recorrer una terminal física simulada, seleccionar uno de los contenedores visibles de dicha terminal y consultar la información disponible correspondiente al contenedor seleccionado. La figura 3 muestra la funcionalidad del sistema.

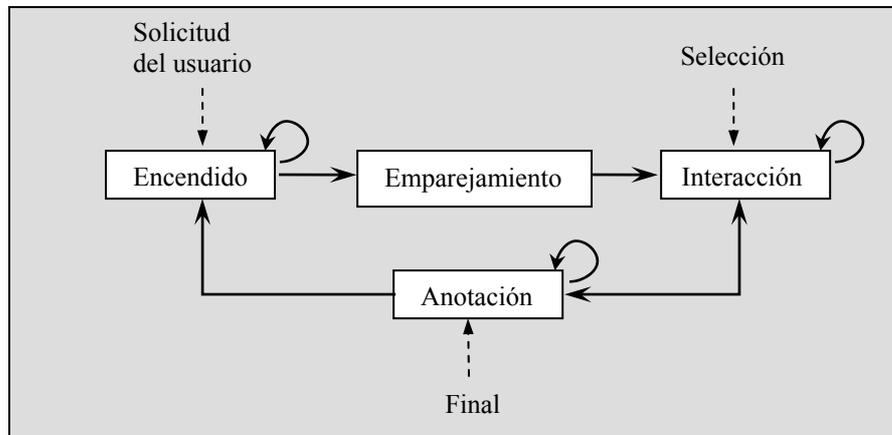


Figura 3. Esquema de funcionamiento del sistema portátil

Los estados que el sistema puede tomar son los siguientes:

- Apagado.
- Encendido: el sistema captura el entorno real con la cámara y muestra la imagen al usuario sin ejecutar ninguna operación.
- Emparejamiento: En este paso, se determina la correspondencia entre el sistema de coordenadas del mundo real y el virtual. Tras el emparejamiento se puede mostrar la información virtual alineada con los objetos y elementos del mundo real.
- Interacción: en esta etapa el usuario selecciona un objeto en la imagen del mundo real que tiene asociada información disponible.
- Anotación: la información disponible se superpone al objeto seleccionado por el usuario en la fase de interacción.

Este sistema permite al usuario observar el entorno a través de la cámara. En cualquier momento, el usuario puede solicitar información asociada a algún objeto en el entorno mediante una interacción simple con dispositivos similares a botones o joysticks. En esta primera etapa la interacción se realiza mediante el ratón. La información virtual que se superpondrá a la imagen real es simple y está formada por texto y gráficos como líneas y curvas.

Las aplicaciones potenciales del sistema desarrollado son numerosas. El sistema puede utilizarse para mostrar información relacionada con cualquier objeto espacial existente en el entorno. La tecnología puede aplicarse en campos como la navegación de vehículos, el sector turístico, el mantenimiento y reparación de equipamientos o la monitorización de procesos industriales. Por último, algunas de las aplicaciones clásicas de RA en interiores podrían portarse al exterior para facilitar la realización de determinadas tareas o extender el dominio de aplicación de la tecnología.

3. Caracterización del problema

El desarrollo del sistema propuesto presenta muchos problemas a resolver. A continuación describiremos las operaciones que debe realizar el sistema, analizando la funcionalidad de cada uno de sus componentes. Para cada componente mostraremos los problemas detectados y sus posibles soluciones. El diagrama de bloques del sistema se muestra en la figura 4.

La *Cámara* instalada en la unidad móvil captura el entorno real y genera una imagen discreta habitualmente de baja resolución (640x480 o 800x600 píxeles). El sistema de *Seguimiento* analiza la imagen capturada y devuelve

la posición (x, y, z) y el punto de vista (α, β, γ) estimados en el momento de la captura. Esta información se utiliza en el proceso de **Registro** junto al **Modelo CAD** de los contenedores en la terminal para determinar la posición y dirección reales en la imagen. Este cálculo es fundamental en todo el proceso ya que garantiza la correcta alineación de los objetos virtuales y reales, es decir la correspondencia entre los sistemas de coordenadas del mundo real y el virtual. Gracias a este proceso podremos mostrar información virtual alineada con los objetos y elementos del mundo real. Dicho proceso ocurre solamente si el **Usuario** solicita una interacción, en la cual se seleccionará un objeto en la imagen del mundo real que tiene asociada determinada información. Esta información está disponible en **Bases de Datos** remotas y describe las características del objeto. Una vez determinados los parámetros reales, el sistema combina la imagen adquirida con textos y gráficos apropiados y muestra el resultado al usuario a través de la unidad de visualización (**Display**).

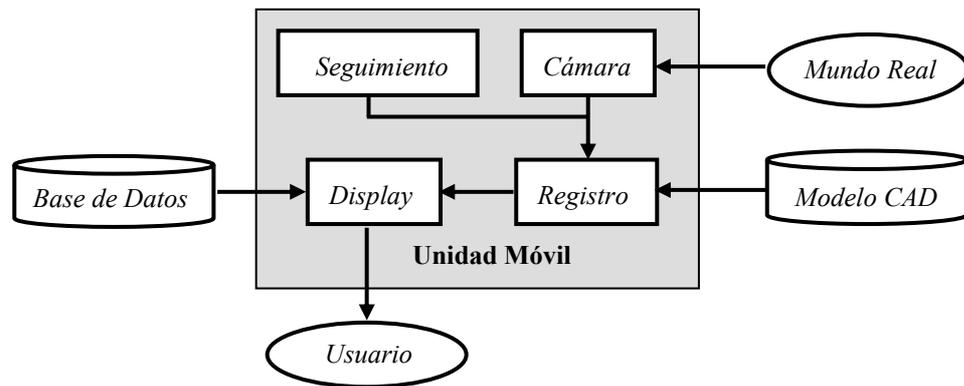


Figura 4: Diagrama de bloques del sistema

A la hora de construir la **Unidad Móvil**, el diseño de los componentes cámara y display no presenta muchas dificultades, con la excepción de que se necesitaría estimar los parámetros de la cámara mediante una calibración previa. ARToolkit ofrece funciones que ayudan a simplificar este proceso. Esta previsto que el sistema pueda utilizar sistemas de visualización heterogéneos [13] y monitores que no necesariamente sean HMD.

Los principales problemas aparecen en el sistema de seguimiento y en el proceso de registro. A continuación describiremos estos problemas con más detalle.

3.1. Sistema de seguimiento

La localización del observador en entornos exteriores de gran extensión es una tarea mucho más compleja que la localización en entornos interiores, habitualmente fácilmente controlables. Los entornos interiores pueden prepararse de forma previo, añadiendo al entorno un conjunto de *marcadores* (mediante emisores ópticos o electromagnéticos, por ejemplo) y permitiendo el desarrollo de sistemas de seguimiento altamente fiables [4]. De forma similar, los entornos interiores pueden prepararse fijando marcas visibles que permiten mejorar la estimación obtenida utilizando técnicas de Visión por Computador [2]. Esta última técnica es la que se utiliza en la librería de RA *ARToolkit*.

En entornos exteriores, habitualmente no es posible la colocación de marcas visibles o emisores, lo que hace que el diseño de sistemas de seguimiento funcionales para este tipo de entornos sea un problema abierto a la investigación en el momento actual. La mayoría de los prototipos desarrollados hasta el momento están basados en el uso de GPS y sistemas inerciales (giróscopos y acelerómetros), combinados con otros elementos [1]. Las últimas tendencias en el diseño de estos prototipos se basan en aproximaciones híbridas, y prácticamente todas ellas utilizan técnicas de Visión por Computador para mejorar el emparejamiento entre el mundo real y el virtual [12].

3.2. Emparejamiento

El emparejamiento es el proceso central en un sistema de RA, y es el proceso en el que se presentan la gran mayoría de problemas de diseño. El proceso de emparejamiento garantiza la alineación correcta entre el sistema de coordenadas del mundo real y el utilizado para visualizar el modelo CAD en 3D. La figura 5 muestra un modelo CAD simple superpuesto a una imagen del mundo real.



Figura 5. Modelo CAD superpuesto a una imagen real

La secuencia de imágenes del mundo real capturadas por una vídeo cámara se utilizan para corregir los errores de forma dinámica, asegurando la correcta alineación entre los objetos reales y los virtuales [12][3]. Los sistemas de RA necesitan habitualmente de entornos cuidadosamente controlados. El usuario no puede caminar libremente y explorar el entorno. El sistema funciona únicamente con algunos objetos específicos, que pueden observarse desde un conjunto reducido de puntos de vista. Cuando se establecen restricciones de este tipo, el problema es más fácil de resolver, pero se restringe al mismo tiempo la flexibilidad del sistema, dificultando la construcción de sistemas de RA efectivos sin el conocimiento de un experto.

En muchas aplicaciones de RA el emparejamiento se refuerza colocando marcas de referencia (conocidas como *fiducials*) en el entorno. Estos fiducials pueden ser LEDs [2] o marcas especiales prediseñadas [14]. En entornos exteriores puede resultar difícil la colocación de marcas prediseñadas, por lo que se debe recurrir a la extracción de características de la imagen mediante técnicas de Visión por Computador. Estas técnicas permiten la extracción de esquinas (vértices) y aristas de la imagen, que posteriormente se emparejan con vértices y aristas del modelo CAD.

4. Anotación de contenedores en una terminal marítima

Como ejemplo de aplicación de las técnicas mencionadas se está desarrollando un prototipo de sistema de RA. El sistema debe permitir el acceso remoto a información alfanumérica perteneciente a los contenedores almacenados en una terminal. Una parte de esta información, referida a la posición y distribución de los contenedores, se utiliza como base de la interacción. La parte descriptiva de esa información es la que se muestra al usuario bajo demanda. El prototipo trabajará en un entorno abierto y permitirá al usuario en la terminal marítima el acceso a la información disponible para algún contenedor específico seleccionado o apuntado por él. La información asociada se encuentra almacenada en una Base de Datos remota permanentemente actualizada y accesible. La construcción de este prototipo está subvencionada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (TIC2002-4166-C03).

Hasta el momento se ha estado trabajando con las técnicas necesarias para lograr el registro del modelo CAD de la terminal de contenedores y los contenedores que aparecen en las imágenes reales, específicamente en:

- Construcción de un sistema de seguimiento basado en sensores hardware.
- Estudio de técnicas basadas en Visión por Computador para la extracción de características de la imagen real de una terminal de contenedores.
- Utilización de técnicas basadas en marcas para garantizar el seguimiento. Desarrollo de un prototipo en interiores utilizando la librería pública *ARToolkit*.
- Visualización del modelo CAD superpuesto a la imagen real de la terminal.
- Interacción del usuario con el sistema. Para el desarrollo del prototipo, la interacción permite al usuario seleccionar un contenedor en la imagen y confirmar que desea consultar su información asociada.
- Mostrar en pantalla los datos correspondientes al contenedor seleccionado. Los datos describen características particulares de cada contenedor y se encuentran, por el momento, en un fichero de texto.

A continuación describiremos los principales trabajos relacionados con las tres líneas de actuación principales: (i) desarrollo de un sistema de seguimiento basado en sensores; (ii) extracción de características de la imagen y (iii) desarrollo de un prototipo en interiores basado en marcas.

4.1. Desarrollo de un sistema de seguimiento basado en sensores

Las tecnologías empleadas en los sistemas de RA dependen en gran parte de la aplicación final del sistema. Las aplicaciones en el exterior tienen mayores restricciones que las aplicaciones en el interior o en entornos controlados. Para entornos interiores o controlados se han realizado grandes avances, utilizando sensores de tipo magnético, mecánico, y óptico que han proporcionado excelentes resultados.

Para diseñar sistemas capaces de operar en entornos exteriores es necesario tener en cuenta elementos como el tamaño o el peso de la unidad. Adicionalmente, los dispositivos utilizados deben tener características como: alta resolución, baja latencia, alta exactitud, baja oscilación, buena tasa de actualización de las medidas, inmunidad a las interferencias de la naturaleza, etc.

Gracias a los avances de la microelectrónica con los dispositivos tipo MEMs, es posible recurrir a la utilización de sensores inerciales; los sensores inerciales en un comienzo fueron diseñados para aplicaciones como la navegación o la aviación. Actualmente se pueden encontrar en el mercado sensores inerciales que pesan solamente unos pocos gramos, y teniendo en cuenta que son sensores independientes de una fuente de señal, son los más utilizados en aplicaciones móviles en entornos exteriores o incontrolados.

En el presente trabajo se pretende diseñar un prototipo cuyo sistema de seguimiento sea híbrido, integrando un sistema basado en Visión por Computador y un sistema de sensores compuesto por un compás digital (sensor inercial), un GPS (sensor de transmisión) y una cámara. La integración de estos sensores se realiza sobre un Tablet PC que actúa al mismo tiempo como dispositivo de visualización. Aunque el objetivo final no es desarrollar un sistema hardware completamente autónomo, la integración de la información proporcionada por los sensores con las técnicas de extracción de características y seguimiento permite la construcción de un sistema altamente fiable.

4.2. Extracción de características de la imagen

Utilizando imágenes de la terminal marítima hemos experimentado con diferentes métodos de extracción de vértices y aristas: el método propuesto por Harris [15], el método SUSAN [16] y algunos métodos novedosos propuestos por Geusebroek and Van den Boomgaard [17].

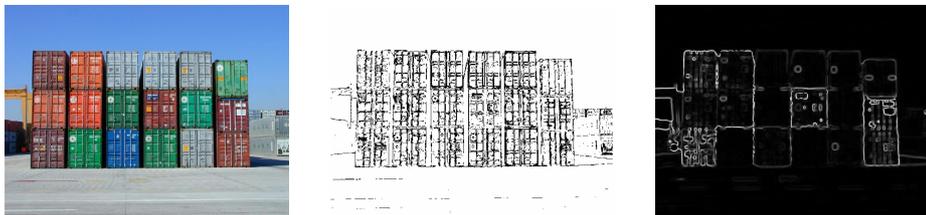


Figura 6. Original (izquierda) y detectores de bordes. SUSAN (centro), Geusebroek (derecha)

Después de extraer las características de la imagen, los resultados se procesan mediante un método de afinamiento de aristas y supresión de no – máximos. Tras la aplicación de estos métodos podemos extraer los contornos de interés de la escena (los que corresponden a los límites de cada contenedor). La figura 7 muestra el resultado obtenido tras la aplicación de estos procesos. Las líneas rojas representan las aristas detectadas para el emparejamiento.

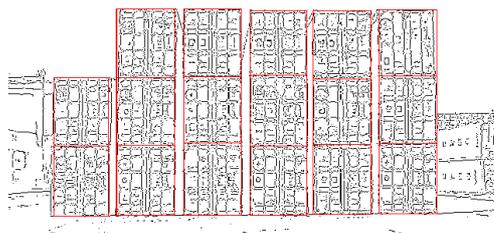


Figura 7. Emparejamiento final. Las líneas rojas muestran los contenedores detectados

4.3. Desarrollo de un prototipo basado en marcas

Para la prueba del prototipo en el laboratorio fue necesario crear un modelo físico que simulara una parte de la terminal de contenedores. Este modelo se realizó con cajas de cartón de dimensiones similares en escala a los contenedores reales y tomando en cuenta, además, la distribución de dichos contenedores en las terminales reales.

Partiendo de dicho modelo físico, se creó el modelo gráfico CAD en 3D de dicha terminal, apoyándose en las estructuras de Listas de Visualización (Display Lists) de OpenGL. El modelo CAD se visualiza utilizando una cámara sintética cuyos parámetros se estiman a partir de la marca detectada y la posición que esta ocupa en el terreno real. La figura 8 muestra distintas imágenes del apilamiento con el modelo CAD superpuesto.



Figura 8. Emparejamiento de imágenes del apilamiento con el modelo CAD

En el desarrollo del prototipo, debido a la poca extensión del modelo simulado de la terminal y a que el trabajo aún se encuentra en periodo de pruebas, se han utilizado las marcas predefinidas en ARToolkit. Posteriormente, para poder migrar esta aplicación a un entorno más extenso, se realizará el entrenamiento de nuevas marcas para que el software sea capaz de reconocerlas.

La visualización del modelo CAD se realiza mediante ocultación de líneas, lo que permite trazar o perfilar los límites de cada contenedor sin ocultar la imagen real, facilitando el proceso de interacción. La interacción del usuario con el sistema se reduce a la selección de un contenedor por parte del usuario y a la confirmación de que se desea consultar su información asociada.

La selección de un contenedor en la imagen mediante el ratón se implementa mediante un proceso de detección por color, que es uno de los métodos documentados en la literatura para implementar funciones de selección en OpenGL. El contenedor seleccionado se visualiza en un color semitransparente que permite ver el contenedor real asociado al mismo, tal y como se muestra en la figura 9.

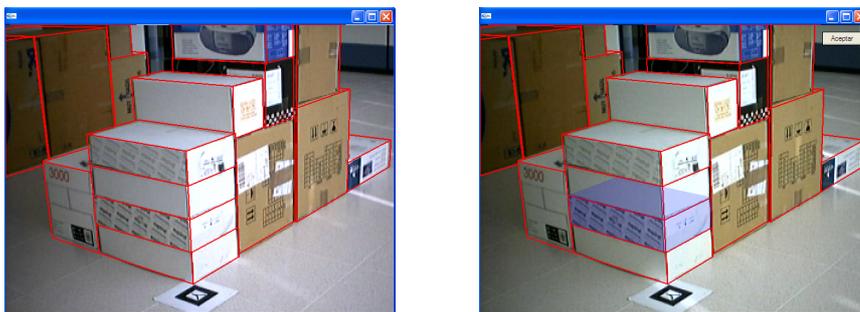


Figura 9. Selección de un contenedor, que se muestra de color azul semitransparente

Una vez seleccionado el contenedor por el usuario, el sistema pide confirmación mostrando un botón en pantalla. Cuando el usuario hace clic en el botón de confirmación, se muestran en pantalla los datos disponibles para el contenedor seleccionado. Los datos describen características particulares de cada contenedor y se encuentran, en esta versión del prototipo, en un fichero de texto. Este proceso de anotación se muestra en la figura 10.

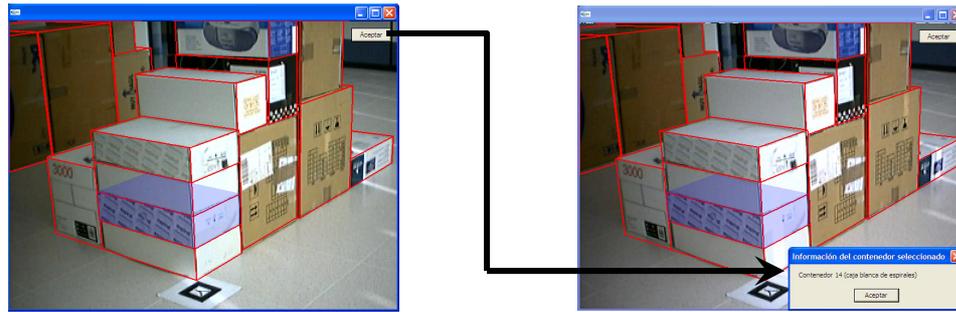


Figura 10. Anotación de información asociada al contenedor seleccionado

5. Conclusiones y trabajo futuro

Las tecnologías de RA pueden utilizarse en aplicaciones diseñadas para entornos exteriores, como la exploración de un terreno o determinadas tareas de mantenimiento al aire libre. En este trabajo se ha presentado un sistema para la anotación espacial que permite enlazar información alfanumérica con objetos reales en secuencias de imágenes capturadas con una cámara de vídeo. Actualmente se está construyendo un prototipo del sistema para anotar los contenedores de una terminal marítima.

Para una primera prueba de laboratorio se ha creado un modelo físico de la terminal, simulando las condiciones de una terminal de contenedores real. Para ello se han tenido en cuenta los datos de tamaño y distribución de los contenedores reales. Se ha realizado un modelo CAD de la terminal simulada y se ha implementado el proceso genérico partiendo de las condiciones impuestas.

En las primeras pruebas se obtienen resultados positivos, por lo que podemos asegurar que el sistema permite al usuario obtener los datos solicitados en tiempo real y registrados de forma correcta. Este hecho permite pensar que el sistema puede llegar a operar en entornos amplios exteriores, específicamente el de la terminal marítima.

Las principales conclusiones extraídas de la investigación realizada son las siguientes:

- Los sistemas de RA que utilizan sistemas de seguimiento basados en visión por computador resultan más económicos y sencillos de implementar que los basados en sensores hardware.
- Dentro de los sistemas basados en visión, los que extraen características de la imagen (como esquinas o aristas del modelo) no son aplicables actualmente en una aplicación como la propuesta. Esta limitación se debe a que todos ellos necesitan en mayor o menor medida de la asistencia del usuario para marcar en un fotograma de la secuencia los objetos de interés a seguir.
- Los sistemas basados en marcas resultan operativos en un amplio espectro de aplicaciones de RA. El prototipo desarrollado en este trabajo de investigación permite al usuario obtener los datos solicitados en tiempo real y registrados de forma correcta.
- Los sistemas basados en marcas necesitan entornos preparados y controlados. La aplicación de este tipo de sistemas para entornos exteriores extensos es compleja, ya que en determinadas ocasiones no es posible marcar el entorno a explorar.

Para que un sistema basado en marcas como el desarrollado pueda ser operativo en un entorno extenso como la terminal marítima, es necesario superar un conjunto de limitaciones detectadas en la herramienta. Estas limitaciones se encuentran tanto en la naturaleza de la librería ARToolkit como en la del entorno a explorar.

1. No es posible colocar marcas en los contenedores de la terminal. Para solucionar esta limitación, es posible utilizar un sistema con dos cámaras de vídeo, una capturando la escena y la otra dirigida hacia el suelo de la terminal. Las marcas se colocan en el suelo y se utilizan para realizar el seguimiento.
2. La cantidad de marcas necesarias para definir y diferenciar un terreno exterior extenso es demasiado grande como para obtener una respuesta final de todo el proceso en tiempo real.
3. ARToolkit presenta oscilaciones en el modelo visualizado aún cuando la cámara y los objetos permanezcan estáticos.

Estas limitaciones se consideran superables, y constituyen el núcleo de la investigación a realizar como trabajo futuro.

Referencias

- [1] Azuma, Ronald T. "A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments" 6, 4 (August 1997), 355-385.
- [2] Bajura, Michael and Ulrich Neumann. "Dynamic Registration Correction in Video-Based Augmented Reality Systems". IEEE Computer Graphics and Applications 15, 5 (September 1995), 52-60.
- [3] State, Andrei, Mark A. Livingston, Gentaro Hirota, William F. Garrett, Mary C. Whitton, Henry Fuchs y Etta D. Pisano. "Techniques for Augmented-Reality Systems: Realizing Ultrasound-Guided Needle Biopsies". Proceedings of SIGGRAPH '96 (New Orleans, LA, 4-9 August 1996), 439-446.
- [4] Feiner, Steven, Blair MacIntyre, and Tobias Höllerer. "A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment". Proceedings of First International Symposium on Wearable Computers (Cambridge, MA, 13-14 October 1997), 74-81.
- [5] Milgram, Paul, Shumin Zhai, David Drascic, and Julius J. Grodski. Applications of Augmented Reality for Human-Robot Communication. Proceedings of International Conference on Intelligent Robotics and Systems (Yokohama, Japan, July 1993), 1467-1472.
- [6] Maes, Pattie. Artificial Life Meets Entertainment: Lifelike Autonomous Agents. CACM 38, 11 (November 1995), 108-114.
- [7] Ohshima T., et. al., RV-Border Guards: A multi-player mixed reality entertainment,. Trans. Virtual Reality Soc. Japan, vol.4, no.4, 1999, pp. 699-705.
- [8] Wanstall, Brian. HUD on the Head for Combat Pilots. Interavia 44 (April 1989), 334-338. [A89-39227].
- [9] Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., MacIntyre, B. Recent Advances in Augmented Reality. IEEE Computer Graphics and Applications 21, 6 (Nov/Dec 2001), 34-47.
- [10] Rekimoto, Jun, and Katashi Nagao. The World Through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments. Proceedings of UIST '95 (Pittsburgh, PA, 14-17 November 1995), 29-36.
- [11] Feiner, Steven, Blair MacIntyre, Marcus Haupt, and Eliot Solomon. Windows on the World: 2D Windows for 3D Augmented Reality. Proceedings of UIST '93 (Atlanta, GA, 3-5 November 1993), 145-155.
- [12] Azuma, Ronald T. "The Challenge of Making Augmented Reality Work Outdoors". In Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds. Yuichi Ohta and Hideyuki Tamura (ed.), Springer-Verlag, 1999. Chp 21 pp. 379-390.
- [13] Butz A. et al., Enveloping Users and Computers in a Collaborative 3D Augmented Reality,. Proc. 2nd Int.l Workshop Augmented Reality. (IWAR '99). San Francisco, 20-21 Oct. 1999, pp. 35-44.
- [14] Neumann U., You S., Natural Feature Tracking for Augmented Reality, IEEE Trans. Multimedia. vol. 1, no. 1, Mar. 1999, pp. 53-64
- [15] Harris C. and Stephens M., "A Combined Corner and Edge Detector", in Proc. 4th Alvey Vision Conference, pp. 189-192, 1988.
- [16] Smith S. M. and Brady M.. "SUSAN_ A new approach to low level image processing". International Journal of Computer Visión, vol. 23(1), 45-78, 1997. También aparece: Technical Report TR95SMS1c, Defence Research Agency, Farnborough, England, 1995.
- [17] Geusebroek, Jan-Mark y Rein van den Boomgaard. "Color Invariance". IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 23, no. 12, december 2001