

## **Reconstrucción 3D: de la adquisición a la visualización**

**Federico Cristina, Sebastián H. Dapoto, Javier Vegas,  
Verónica Artola, Claudia Russo, María José Abásolo**  
{fcristina, sdapoto, jvegas, vartola, crusso} @lidi.info.unlp.edu.ar  
{mjabasolo} @uib.es

Instituto de Investigación en Informática LIDI  
Facultad de Informática. Universidad Nacional de La Plata.  
La Plata, Buenos Aires, Argentina.  
Universidad de las Islas Baleares  
Departamento de Matemática e Informática

### **Resumen**

Los dispositivos de escaneo tridimensional permiten obtener modelos de objetos utilizando distintas técnicas de captura. Una técnica muy utilizada consiste en realizar la reconstrucción mediante el uso de estereovisión y luz estructurada. De esta forma, proyectando un patrón de luz conocido sobre una escena es posible determinar la correspondencia de puntos entre ambas imágenes. El presente trabajo detalla los resultados reales de las pruebas realizadas utilizando el prototipo de adquisición 3D desarrollado, el cual permite obtener modelos tridimensionales y visualizarlos como una nube de puntos en un entorno de realidad virtual.

**Palabras claves:** estereovisión, escáner tridimensional, reconstrucción 3D, proyección de luz

### **Abstract**

The 3D scanning devices allow obtaining object models using various capture techniques. A widely used technique is to undertake reconstruction using stereo vision and structured light. Thus, projecting a known pattern of light on a scene is possible to identify correspondence points between the two images. This paper describes the actual results of tests carried out using the developed 3D acquisition prototype, which generates three-dimensional models, and visualize them as a point cloud in a virtual reality environment.

**Keywords:** stereovision, three-dimensional scanner, 3D reconstruction, light projection

---

<sup>1</sup> Esta investigación es financiada por la Agencia Española de Cooperación Internacional AECI programa de cooperación interuniversitaria e investigación científica. Proyecto A/7155/06 – Diseño de un sistema de reconstrucción 3D mediante cámaras estereoscópicas y luz estructurada.

# 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen distintos sistemas de digitalización 3D. Según el método de interacción con el objeto a digitalizar, éstos pueden ser divididos en dos grandes grupos: sistemas con o sin contacto [1].

Los sistemas de digitalización por contacto son los más antiguos y obtienen las coordenadas de los puntos gracias al desplazamiento de una punta sobre la superficie a digitalizar. Poseen una elevada precisión; pero tienen una velocidad de adquisición de datos muy baja. Para emplear estos sistemas, se necesita además que las piezas tengan la rigidez suficiente para que no se deformen por el contacto de la punta. En ocasiones, debido a la geometría de las piezas, es imposible digitalizar ciertas ranuras y ángulos interiores.

Los sistemas de digitalización sin contacto presentan la ventaja de lograr una velocidad de adquisición de datos muy superior a las de los digitalizadores por contacto. Se pueden dividir las técnicas de digitalización sin contacto en dos grupos: de visión pasiva y de visión activa.

Las técnicas de visión pasiva se basan en utilizar dos o más puntos de vista de un mismo objeto para encontrar las coordenadas tridimensionales [2]. La principal complejidad de este método es la correspondencia de puntos en cada una de las imágenes monoculares. Muchas de las técnicas encargadas de realizar esta tarea presentan un elevado costo computacional.

Las técnicas de visión activa son las que hacen intervenir una fuente de luz específica para determinar las coordenadas tridimensionales de los puntos de medida. Constan como mínimo de un emisor de luz y uno o más receptores. Conociendo la dirección del rayo emitido y la del recibido se obtienen las dimensiones del triángulo formado y por lo tanto se logra determinar la profundidad del punto inspeccionado. Ejemplos de esta técnica son los sistemas que usan algún tipo de proyección de luz estructurada [3] o iluminación láser [4] sobre la superficie que se intenta reconstruir, como es el caso del prototipo desarrollado.

El resto de este trabajo se encuentra organizado de la siguiente forma: La sección 2 discute los sistemas actuales de adquisición. La sección 3 expone el prototipo de captura desarrollado. La sección 4 menciona las técnicas involucradas y el procesamiento requerido según los diferentes métodos de adquisición de datos del prototipo. En la sección 5 se pueden observar los resultados obtenidos. Finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones y el trabajo a futuro.

## 2 COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ADQUISICIÓN

Todos los sistemas de digitalización cuentan con un método de captura de la escena y de cálculo de correspondencia con el fin de adquirir las coordenadas 3D del objeto que se intenta reconstruir. La tabla 1 presenta un resumen de trabajos categorizados según los métodos y hardware utilizados. El sistema desarrollado en el presente trabajo utiliza un láser como fuente lumínica y un sistema de cámaras estéreo conformado por dos cámaras web.

Método / Hardware utilizado	Calibración necesaria
1 cámara fija, 1 láser. Barrido láser sobre el objeto a adquirir. [4, 5, 6, 7]	Calibración intrínseca y extrínseca de la cámara. Calibración o autocalibración del láser.
1 cámara, 1 láser, 1 estructura de referencia (doble cuadro). Barrido láser sobre el objeto a adquirir. [8]	No necesita que la cámara y el láser se encuentren fijos.
1 cámara, 1 proyector de luz estructurada. Proyección sobre el objeto a adquirir. [3, 9]	Dependiendo del sistema, necesita o no calibración intrínseca y extrínseca del proyector y la cámara.
1 cámara. Conjunto de imágenes. [10, 11].	No necesaria, pero asume una escena rígida y limitaciones de los parámetros intrínsecos.
2 cámaras, 1 láser [12, 19]	Calibración intrínseca y extrínseca de las cámaras.

Tabla 1. Resumen de trabajos relacionados.

### 3 PROTOTIPO

El prototipo de hardware desarrollado para el sistema de captura (figura 1) cuenta con dos cámaras web, un láser, dos motores, y un módulo de comunicación que conecta la computadora y con la estructura que lo soporta.

La estructura metálica es robusta y flexible; sobre la misma se encuentran montadas las cámaras, los motores y los accesorios regulables tanto horizontal como verticalmente. La estructura fue pensada para permitir un sencillo armado y desarmado a fin de facilitar su portabilidad.

El módulo de comunicación utiliza el puerto paralelo para recibir/enviar información desde/hacia la computadora. Al mismo también se conectan los motores y los demás accesorios del prototipo. Permite controlar el motor de la base donde se coloca el objeto, el motor del láser, así como también la activación del láser.

Los dos motores utilizados son de tipo *paso a paso* de 200 pasos por revolución. El motor de la base (encargado de girar la base en donde se ubica el objeto a escanear) cuenta con una precisión de 7700 pasos en un giro. El motor del láser (encargado de realizar el barrido sobre el objeto) tiene una precisión de 13000 pasos en un giro. Ambos motores poseen sensor de "fin de carrera", es decir, detección de giro realizado.

Las cámaras son modelo *Unibrain FireWire WebCam - Fire-i Digital Camera* [13], y pueden adquirir hasta 15 cuadros por segundo con una resolución de 640x480 píxeles en formato RGB, o hasta 30 cuadros por segundo con una resolución de 640x480 píxeles en formato YUV 4:1:1. Su precio en el mercado es de \$350 aproximadamente.

El láser es de tipo *CLASS IIIA* [14, 15], color rojo y con una potencia menor a 5mW. El mismo cuenta con diferentes patrones de luz: punto, línea o cruz. Su precio en el mercado es de \$70.

Con el prototipo desarrollado se logra la automatización total del proceso de escaneo: activación de las cámaras y del láser, la rotación de este último y de la base (según el método de adquisición de datos elegido, explicado en el apartado 4.2), además de otras funciones secundarias.



Figura 1. Prototipo de captura.

## 4 DETALLE DEL PROCEDIMIENTO

### 4.1 Técnicas involucradas

La adquisición 3D se basa principalmente en el concepto de visión estereo [16]. Los ojos humanos, debido a su separación, obtienen dos imágenes de una misma escena con pequeñas diferencias entre ellas. El cerebro procesa las diferencias entre ambas imágenes y las interpreta de forma que percibimos la sensación de profundidad, lejanía o cercanía de los objetos que nos rodean. Este proceso se denomina estereopsis.

Las técnicas estereoscópicas intentan reproducir la sensación de profundidad de la visión estereoscópica natural. Si se obtienen dos fotografías con una separación adecuada, correspondientes a la visión que se obtendría con cada ojo, es posible reconstruir la profundidad [17, 18].

Sin embargo, una vez que se cuenta con dos puntos de vista de la escena, el problema consiste en calcular las correspondencias entre los puntos de dichas vistas. Una forma de simplificar este proceso, es utilizar una fuente lumínica (láser, luz estructurada) sobre el objeto. Así, los puntos iluminados son individualizados en cada una de las vistas, reduciendo drásticamente el costo computacional de la estimación de las correspondencias.

El sistema desarrollado utiliza dos cámaras web y un láser para adquirir las imágenes del objeto a escanear [19]. Luego, estas imágenes son procesadas mediante una técnica de filtrado por color (umbralización RGB) con el fin de descartar los puntos no pertenecientes a zonas del objeto iluminadas por el láser.

Una vez filtrados los puntos en ambas imágenes, se estiman las correspondencias y se aplican los conceptos de la visión estereoscópica, obteniéndose una nube de puntos tridimensionales.

Tanto las técnicas de filtrado como las estereoscópicas se encuentran desarrolladas utilizando la librería OpenCV [20]. Esta librería es una es potente y versátil herramienta de trabajo que permite abstraerse de los problemas típicos del procesamiento de imágenes.

#### 4.2 Métodos de adquisición de datos

El sistema fue pensado a fin de incorporar dos métodos de adquisición de datos. En ambos casos, el sistema de cámaras estéreo requiere una calibración inicial, tanto intrínseca como extrínseca [21, 22]. La aplicación presenta un módulo de calibración específico con esta finalidad.

Cabe destacar que de no modificarse la posición de las cámaras, el proceso de calibración no debe realizarse nuevamente antes de cada captura.

A continuación, se describen las características de los métodos de adquisición desarrollados.

- Adquisición de datos mediante barrido láser: en este caso, el objeto a reconstruir permanece inmóvil, mientras que se releva la superficie del mismo barriendo el área de escaneado con un láser. Pensado para objetos sin volumen de revolución o cuyo contenido se presenta mayormente sobre una sola cara.
- Adquisición de datos mediante objeto giratorio: en este caso, el láser permanece inmóvil, siendo el objeto quien realiza un giro sobre su eje a fin de relevar la superficie del mismo. Ideal para objetos con volumen de tipo *cilíndrico*, como vasijas, tazas, etc.

Las imágenes que se pueden observar en las figuras 2 y 3 muestran una secuencia de imágenes que ejemplifican la captura de ambos mecanismos. La primera presenta la adquisición mediante barrido láser, mientras que la segunda presenta la secuencia mediante objetivo giratorio.

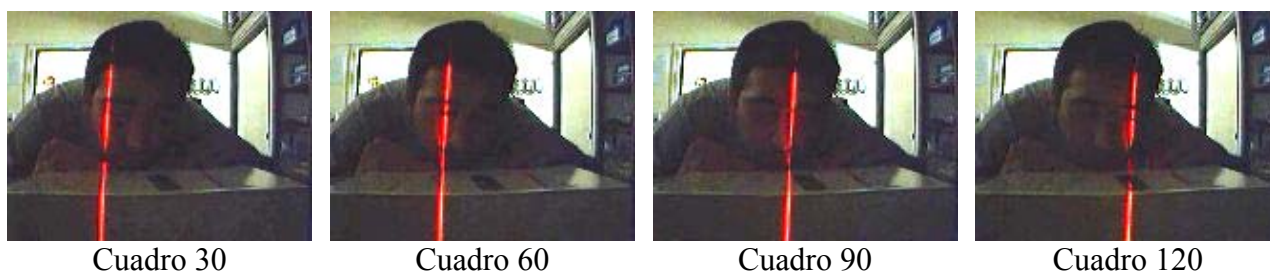


Figura 2. Barrido láser (video izquierdo, 130 cuadros)

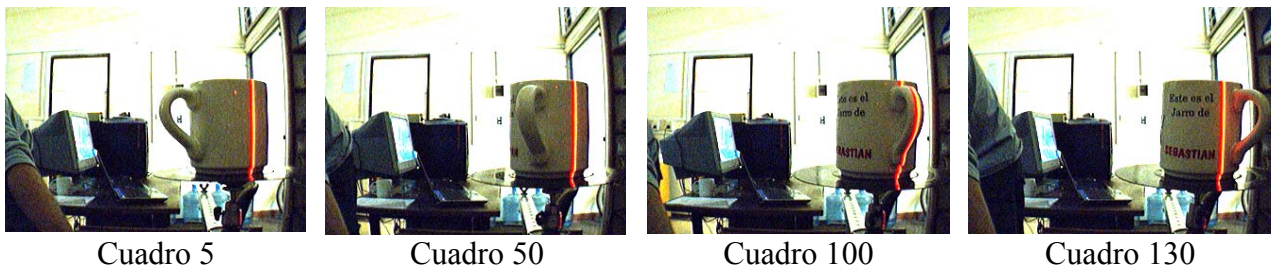


Figura 3. Objetivo giratorio (video izquierdo, 360 cuadros)

### 4.3 Detalle del proceso de reconstrucción

Luego de realizar la captura de los videos utilizando uno de los métodos descritos en el punto anterior, es posible iniciar el proceso de reconstrucción. El mismo cuenta con una serie de pasos que se detallan a continuación:

1. Dado que las cámaras se encuentran en una misma línea y con idéntica orientación, idealmente no debería existir un desplazamiento vertical entre ellas. Sin embargo, en la práctica puede existir un pequeño desplazamiento del orden de unas pocas filas. Con el objetivo de incrementar la robustez del sistema, se calcula dicho valor tomando en cuenta la mediana del desplazamiento vertical a lo largo de los videos capturados.
2. Se toma un par de imágenes estéreo de la secuencia y se realiza el filtrado RGB a fin de obtener los puntos del objeto en donde la luz del láser ha sido proyectada.
3. Se toma el primer punto filtrado en la imagen izquierda y se hace lo propio en la imagen derecha, teniendo en cuenta el desplazamiento vertical calculado en el primer paso. Utilizando los puntos seleccionados en ambas imágenes junto a la información adquirida en el proceso de calibración, se realiza la triangulación del punto en el espacio tridimensional. En el caso del método mediante objeto giratorio, la reconstrucción del punto se realiza contemplando el ángulo de giro entre frame y frame.
4. Se repite lo realizado en el punto anterior para cada uno de los siguientes puntos de la imagen, los cuales corresponden al resto de la proyección del láser sobre el objeto. Una vez finalizado el procesamiento de todos los puntos, se toma el siguiente par de imágenes estéreo y se repiten los pasos 2, 3 y 4.

Al finalizar el procesamiento de todas las imágenes se cuenta con una nube de puntos tridimensionales. La misma puede ser almacenada en un formato de archivo .XYZ para luego ser renderizada en el entorno de visualización 3D desarrollado [19]. También es posible realizar la conversión a formato .WRL para su visualización en un entorno de realidad virtual.

### 4.4 Detalles técnicos

Previamente a realizar la captura de los videos de prueba, los dispositivos que conforman el prototipo fueron configurados de la siguiente manera:

- El balance de blancos fue especificado de forma manual e independientemente en cada una de las cámaras, con el objetivo de lograr imágenes equivalentes. De manera similar se realizó la configuración del tinte y de la saturación.
- Las cámaras fueron configuradas para realizar la captura de video utilizando el modelo de color YUV 4:1:1, con una resolución de 640 x 480 píxeles. De esta forma, fue posible adquirir 30 cuadros por segundo, permitiendo un detalle de malla considerable.
- La distancia de las cámaras a los objetos escaneados en las pruebas abarcaron un rango de distancias desde los 10 cm. hasta los 40 cm.
- El láser fue configurado para proyectar la luz en forma de línea vertical sobre el objeto.

## 5 RESULTADOS

Se realizaron una serie de pruebas variando la posición y orientación de las cámaras, así como también la distancia del objeto a las mismas. Los mejores resultados se obtuvieron ubicando las cámaras a la menor distancia posible entre ellas y de forma paralela. Por otra parte, la variación de la ubicación del láser no produjo mayores incidencias en los resultados de la reconstrucción. La figura 4 presenta ejemplos de las pruebas realizadas, junto con sus resultados.

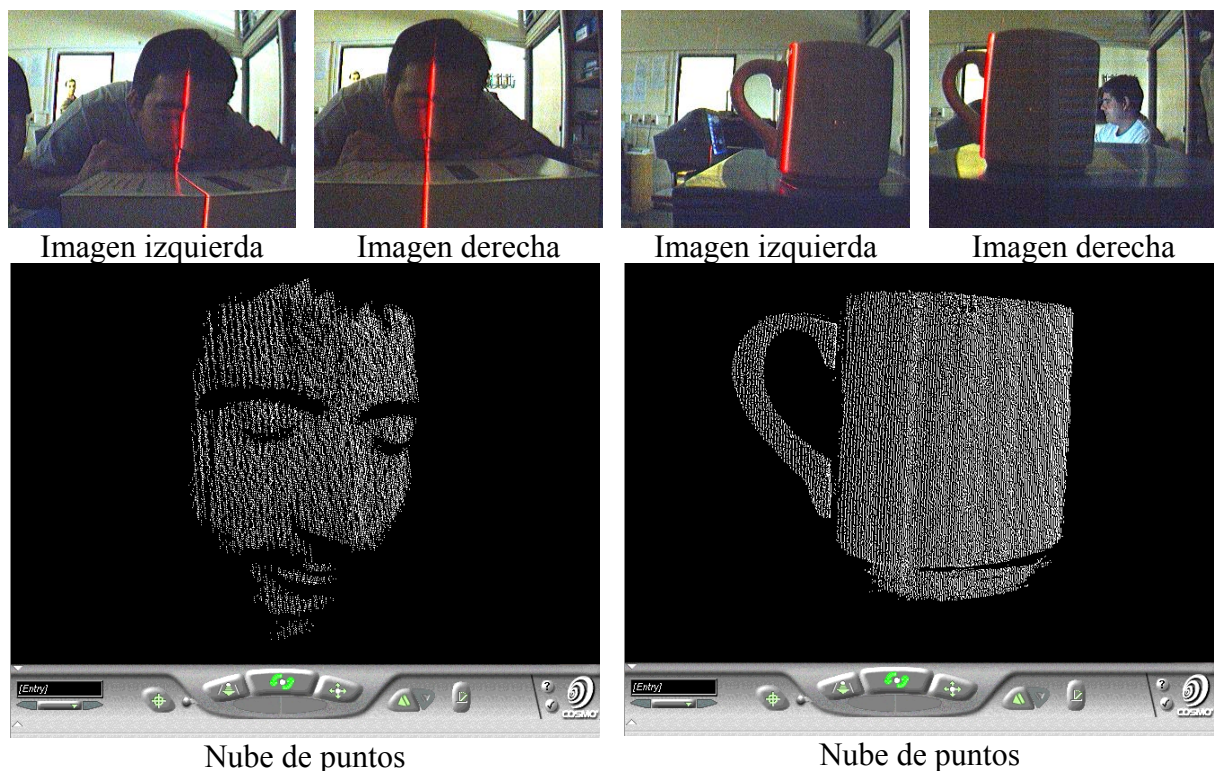


Figura 4. Adquisición de puntos 3D y su visualización (rostro y taza)

Para facilitar las pruebas que permiten medir el error cometido, se utilizó como modelo un poliedro de 70 x 70 x 80 milímetros (figura 5). Se realizó una serie de capturas sobre el objeto, tomando el promedio de los valores obtenidos, a fin de contrastar las dimensiones reales con las reconstruidas.

Las tablas 2 y 3 detallan las coordenadas de los vértices reconstruidos y las distancias entre los mismos, las cuáles permiten realizar la comparación mencionada.

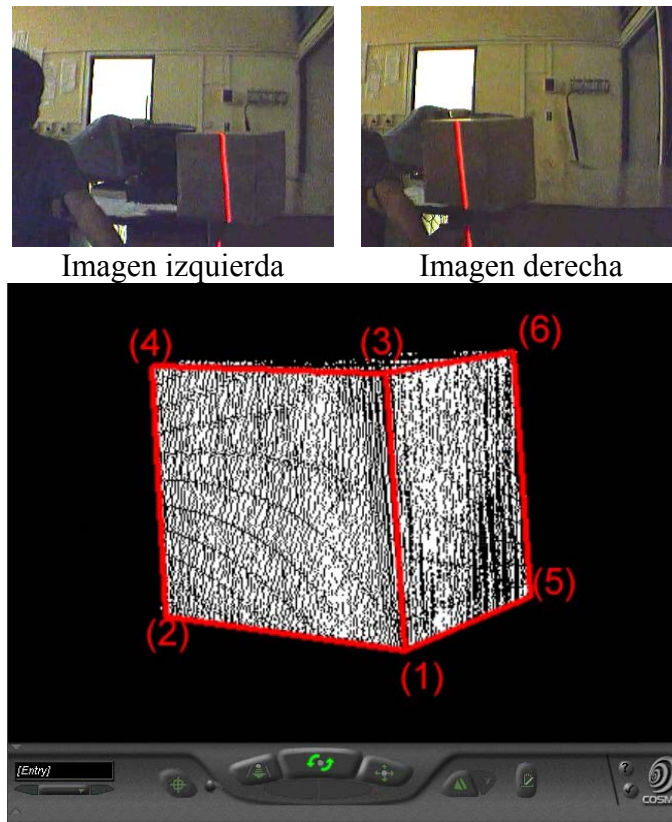


Figura 5.- Poliedro utilizado para la medición del error cometido.

Coordenada	X	Y	Z
1	151,2	-109,78	382,585
2	92,92	-108,485	343,38
3	149,53	-42,85	401,685
4	89,705	-38,42	349,215
5	188,96	-105,005	313,945
6	184,4	-33,75	328,42

Tabla 2.- Coordenadas de los 6 puntos relevados (promedio de las series de prueba).

Lado de 70 mm			
Coordenada 1	Coordenada 2	Distancia	Error relativo promedio
1	3	69,62	1,50 %
2	4	70,38	
5	6	72,85	
Lado de 80 mm			
Coordenada 1	Coordenada 2	Distancia	Error relativo promedio
1	5	78,49	1,97 %
3	6	81,65	

Tabla 3. Distancia euclídea entre los puntos analizados.



El tiempo de procesamiento de la secuencia de video capturada promedió 35,3 segundos a lo largo de la serie de pruebas realizadas.

## 6 CONCLUSIONES

La solución software/hardware explicada en el presente trabajo detalla los avances al proceso de investigación llevado a cabo anteriormente [19], el cual solo contemplaba pruebas en un ambiente controlado mediante simulaciones.

Los resultados que arrojan las pruebas reales efectuadas demuestran que la precisión del sistema así como los tiempos de procesamiento son más que aceptable para el costo del prototipo desarrollado.

La conversión a formato WRML brinda un grado más de versatilidad, permitiendo visualizar los resultados en cualquier navegador que soporte esta característica.

El escenario a futuro prevé llevar a cabo dos tareas principales. Por un lado, la utilización de técnicas especiales de estimación de desplazamiento para determinar la correspondencia de puntos a fin de evitar el uso de un láser, simplificando de manera considerable el hardware necesario. Por otro lado, implementar una solución a medida que permita realizar la conversión de nube de puntos a mallado triangular de los objetos escaneados.

## 8 REFERENCIAS

[1] Digitalización.

<http://plutarco.disca.upv.es/~jcperez/doctorado/SV2D3DPI/trabajos/Calzado/digitalizacion.html>

[2] Surface Reconstruction by Propagating 3D Stereo Data in Multiple 2D Images

Gang Zeng, Sylvain Paris, Long Quan, and Maxime Lhuillier

[3] Interactive 3-D Media with Structured Light Scanning

Nelson L. Chang - Imaging Systems Laboratory

HP Laboratories Palo Alto - HPL-2003-112 - May 29th , 2003

[4] A Simple 3D Scanner. Steve Baker.

[http://www.sjbaker.org/wiki/index.php?title=A\\_Simple\\_3D\\_Scanner](http://www.sjbaker.org/wiki/index.php?title=A_Simple_3D_Scanner)

[5] Low-Cost Laser Range Scanner and Fast Surface Registration Approach

Simon Winkelbach, Sven Molkenstruck, Friedrich M. Wahl

[6] High Speed 3D Scanner with Real-Time 3D Processing

Joseph P. Lavelle, Stefan R. Schuet, Daniel J. Schuet

[7] Interactive 3D Scanning Without Tracking

Matthew J. Leotta, Austin Vandergon, Gabriel Taubin

[8] A paint-brush laser range scanner

Lyubomir Zagorchev, A. Ardeshir Goshtasby

- [9] A low cost 3D scanner based on structured light  
C. Rocchini, P. Cignoni, C. Montani, P. Pingi, R. Scopigno
- [10] An automatic method for acquiring 3d models from photographs: applications to an archaeological site  
M. Pollefeys, R. Koch, M. Vergauwen, L. Van Gool
- [11] From Images to 3D Models: How computers can automatically build realistic 3D models from images acquired with a hand-held camera  
M. Pollefeys, L. Van Gool
- [12] Detection of Human Presence in Front of Mobile Robot, utilizing a SICK LMS laser scanner and two color cameras. David Hillman, Gahl Saraf, Nimrod Nahum.
- [13] Unibrain FireWire WebCam - Fire-i Digital Camera  
[http://www.unibrain.com/Products/VisionImg/Fire\\_i\\_DC.htm](http://www.unibrain.com/Products/VisionImg/Fire_i_DC.htm)
- [14] Laser line generators and other structured light pattern projectors  
<http://www.stockeryale.com/i/lasers/>
- [15] Laser and Eye Safety  
<http://www.stockeryale.com/i/lasers/safety.htm>
- [16] TRUCCO, VERRI, Introductory Techniques for 3D computer vision, Prentice Hall 1998.
- [17] XU, ZHANG, Epipolar Geometry in Stereo, Motion and Object Recognition, A Unified Approach, Kluwer Academic Publishers 1996.
- [18] HARTLEY, ZISSERMAN, Multiple View Geometry in computer vision, Cambridge University Press 2000.
- [19] Desarrollo de un escáner 3D mediante cámaras estereoscópicas e iluminación láser  
Federico Cristina, Sebastián H. Dapoto, Javier Vegas, Verónica Artola, Claudia Russo, Abásolo María José. XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación CACIC 2007
- [20] OpenCV - Open Source Computer Vision Library Community.  
<http://groups.yahoo.com/group/OpenCV>
- [21] A Flexible New Technique for Camera Calibration. Zhengyou Zhang. Technical Report MSR-TR-98-71 - 2002
- [22] Camera Calibration Toolbox for Matlab.  
[www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/index.html](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html)