
SISTEMA DE ESCANEEO DE SUPERFICIES MEDIANTE PROYECCIÓN DE LÍNEAS LÁSER

SCANNER SYSTEM OF SURFACES BY MEANS OF LÁSER PROJECTION

Victor Rojas Farias¹

Karina Carvajal Cuello¹

Vladimir Riffo Bouffanais¹

RESUMEN

En la actualidad se ha investigado y desarrollado una amplia gama de metodologías de visión artificial, enfocadas al área productiva y/o de investigación. Una de las áreas que se ha estado desarrollando últimamente es el reconocimiento de objetos para fines de diseño e inspección de piezas. Este trabajo pretende ser un aporte en esta materia, presentando una metodología de desarrollo para una tecnología que aún se encuentra en vías de crecimiento y que posee grandes expectativas a futuro, y consiste en la implementación de un sistema de escaneo y representación tridimensional de superficies, basado en la técnica de triangulación activa, la cual mediante un barrido de luz láser por la superficie de un objeto es capaz de generar una reconstrucción tridimensional de éste.

Para esto se utilizó una arquitectura que consta de un motor, un láser, una cámara y un computador, la que permitió desarrollar el proceso de proyección de líneas sobre el objeto y la captura de estas proyecciones para su análisis. Para el control de la arquitectura física, el proceso de reconstrucción y visualización, se desarrolló un software controlador capaz de obtener una representación de las superficies escaneadas.

Aun cuando la arquitectura física del sistema no permite generar un número de líneas adecuadas para reconstruir una superficie, debido a que se utiliza un motor paso a paso, los resultados son positivos, pues se propone una interpolación de líneas para solucionar este problema, siendo posible reconstruir superficies de baja complejidad y de no muy reducido tamaño.

Palabras clave: triangulación activa, reconstrucción de superficies, reconstrucción tridimensional.

ABSTRACT

At the present time it has been investigated and developed an ample range of methodologies of artificial vision, focused to the productive and/or investigation area. One of the areas had lately been developing is the recognition of objects for design and inspection of pieces. The present work consists of the implementation of a system of three-dimensional surfaces scanner, based on the technique of active triangulation, which by means of a sweeping of laser light by the surface of an object is able to generate a three-dimensional reconstruction of this one. This work tries to be a contribution in this matter, presenting a methodology of development for a technology that still is growing and that it has great expectations to future.

For this an architecture which consists of a motor, a laser and a camera was used, that allowed to develop to the process of projection of lines on the object and the capture of these projections for its analysis. For the control of the physical architecture, the process of reconstruction and visualization was developed a software controller able to obtain a representation of the scanned surfaces.

Even though the physical architecture of the system does not allow to generate a adapted line number to reconstruct a surface, because a motor step by step is used, the results are positive, because an interpolation of lines sets out to solve this problem, being possible to reconstruct surfaces of low complexity and not very reduced so large.

Keywords: active triangulation, surfaces reconstruction, 3D reconstruction.

¹ Departamento de Ingeniería Informática y Ciencias de la Computación. Universidad de Atacama. Copayapu 485. Copiapó, Chile. E-mail: kcarvajal@diicc.uda.cl

INTRODUCCIÓN

Entre las capacidades inherentes a los seres vivos, de las cuales se ha tratado de proveer a los computadores, se destaca particularmente el sentido de la visión, el cual es usado en un sin número de campos y aplicaciones, como por ejemplo: procesos productivos, prótesis en medicina, desarrollo de entornos virtuales y/o elaboración de efectos especiales en el cine. Esta área, denominada visión artificial o visión por computador, es una rama de la inteligencia artificial que tiene como objetivo, analizar y proponer herramientas para intentar reproducir o imitar lo que hasta hoy hace el ojo humano (visión biológica), extrayendo información del mundo físico a partir de imágenes, utilizando para ello un computador. Entre los problemas que intenta resolver, se encuentra el interpretar de manera automática una o varias partes de un objeto [1].

En este trabajo se desarrolla un método de visión artificial capaz de mostrar la superficie de un objeto, mediante el método de triangulación activa, que utiliza la proyección de líneas láser sobre el objeto y mediante ecuaciones obtiene la componente tridimensional de cada punto de la línea láser.

En trabajos realizados relacionados con este tema, generalmente es el objeto el que se mueve en forma milimétrica o rota [2, 3], o se utiliza más de una cámara [4], lo que permite obtener cientos o miles de líneas o más de una imagen para la reconstrucción. La problemática del método propuesto aquí es que el objeto no se mueve y se utiliza un motor paso a paso con un ángulo de rotación de 1.8° , por lo tanto, dependiendo de la distancia a la cual esté el objeto se pueden obtener pocas líneas de referencia para reconstruir la superficie del mismo. Para solucionar este problema se propone la interpolación de las líneas obtenidas por el láser.

Entre las áreas en que se puede utilizar esta metodología la principal está orientada a la minería, aplicándose en el dimensionamiento de grandes rocas derivadas de la parte superior del forado de una mina, después de un derrumbe al interior de ésta, producido en forma accidental o por detonaciones programadas, para su posterior extracción. Realizar el procesamiento mediante la técnica de triangulación activa permitiría dimensionar bloques de rocas de grandes dimensiones, que no pueden ser rotadas, dado que esta técnica sólo necesita una imagen frontal del objeto en una superficie estática. Por último, la principal aplicación de esta técnica estaría dada por la posibilidad de realizar ingeniería inversa a través del escaneo de modelos tridimensionales de piezas o partes desarrolladas localmente para su posterior análisis y producción [5].

La estructura del trabajo se describe a continuación: en primer lugar se expone a grandes rasgos el concepto de visión artificial, como también las técnicas asociadas al procesamiento de imágenes digitales. En segundo lugar se muestra la arquitectura física del sistema. Luego, se muestra la implementación de la reconstrucción de las superficies mediante la técnica de triangulación activa y la visualización de estas superficies reconstruidas. Posteriormente, se realizan las pruebas de luminosidad y mediante éstas se realiza el análisis de resultados con el fin de obtener los mejores rangos de luminosidad para el correcto funcionamiento del sistema y finalmente se exponen las conclusiones.

VISION ARTIFICIAL Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Visión Artificial

La visión artificial, también denominada visión por computador, es una rama de la inteligencia artificial que tiene como objetivo, analizar y proponer herramientas para intentar reproducir o imitar lo que hasta hoy hace el ojo humano, extrayendo información del mundo físico a partir de imágenes, utilizando para ello un computador. Entre los problemas que intenta resolver, se encuentra el interpretar de manera automática una o varias partes de un objeto [1].

Un sistema de Visión Artificial actúa sobre una representación de una realidad que le proporciona información sobre brillo, colores, formas, etc. Estas representaciones suelen estar en forma de imágenes estáticas, escenas tridimensionales o imágenes en movimiento.

Inicialmente, la información visual consiste en transformar la energía electromagnética percibida en forma de luz desde el entorno a un formato capaz de ser comprendido y procesado. Esta tarea es realizada en el mundo animal por el ojo.

El equivalente al ojo en la visión artificial está dado por la utilización de cámaras digitales de video o fotográficas, capaces de convertir los patrones de energía luminosa en impulsos eléctricos codificados que pueden ser posteriormente muestreados y digitalizados para su procesamiento en un computador.

La visión artificial, en un intento de reproducir el comportamiento del ojo humano, define tradicionalmente cuatro fases principales [6], que se muestran en la figura 1.

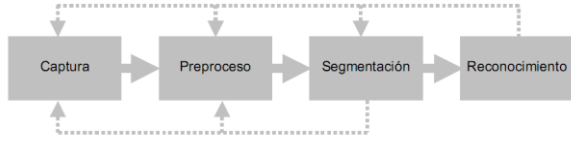


Figura 1. Diagrama de las etapas típicas en un sistema de visión artificial.

Estas cuatro fases no se realizan siempre de manera secuencial, sino que en ocasiones deben realimentarse hacia atrás. Así, es normal volver a la etapa de segmentación si falla la etapa de reconocimiento, o a la de pre-proceso, o incluso a la de captura, cuando falla alguna de las siguientes.

El uso de la visión artificial crece a grandes pasos, actualmente una gran cantidad de empresas relacionadas con la visión artificial ofrecen sus servicios a una gran diversidad de empresas en una gran variedad de campos y aplicaciones, con el fin de agilizar sus procesos y brindar utilidad a través de estas nuevas tecnologías. El sector industrial es uno de los más favorecidos con el desarrollo de estos sistemas, aplicándolos principalmente en sistemas de control de calidad, ensamblaje, medición e ingeniería inversa como los más destacados.

Otros usos destacados de esta tecnología se encuentra en los campos de la medicina, con el análisis de test médicos automatizados (medición de plaquetas, conteo de glóbulos rojos, etc.); los sistemas de seguridad, defensa militar, cartografía y exploración geofísica [7].

Triangulación Activa

Dentro de la visión artificial se ha desarrollado una gran variedad de técnicas de captura y procesamiento de imágenes. Estas técnicas se dividen en dos grandes ramas, técnicas pasivas y activas, las cuales se diferencian principalmente en la forma de su proceso de captura. Las técnicas de visión pasivas se basan en la luz natural que proviene del objeto, analizando principalmente el sombreado de la imagen, su textura, la reflectancia de su superficie y el movimiento, mientras que las técnicas de visión activa se caracterizan por proyectar sobre el objeto patrones luminosos mediante láser con el fin de analizar la reflexión en la superficie de esta luz en un objeto o simplemente analizar el comportamiento de las estructuras proyectadas y poder reproducir su forma con mayor precisión.

Entre las técnicas de visión activa se aprecian principalmente las técnicas basadas en telemetría y las técnicas de proyección de luz estructurada, en este tipo de técnica el emisor es un proyector de luz y el receptor una cámara.

La triangulación activa es una técnica de visión activa, del tipo que realiza proyecciones de luz estructurada sobre el objeto a analizar. Su principio de funcionamiento es básicamente es proyectar un fino rayo sobre una pequeña superficie del objeto a analizar, aproximadamente del tamaño (o grosor si se trata de línea) de un punto. Si ese punto o línea es captado por la cámara, debería aparecer en la imagen la cual sería fácil de detectar. Si se conoce con precisión el ángulo relativo de la proyección luminosa con respecto a la línea base es posible determinar la posición del punto en el espacio por medio de triangulación. La figura 2 muestra con mayor detalle la geometría básica del proceso de triangulación activa [1].

Para obtener una caracterización total de la superficie es necesario captar la escena con diferentes ángulos de la luz láser proyectada. Las ecuaciones 1, 2 y 3 describen cada una de las coordenadas x , y , z , de los puntos en el espacio.

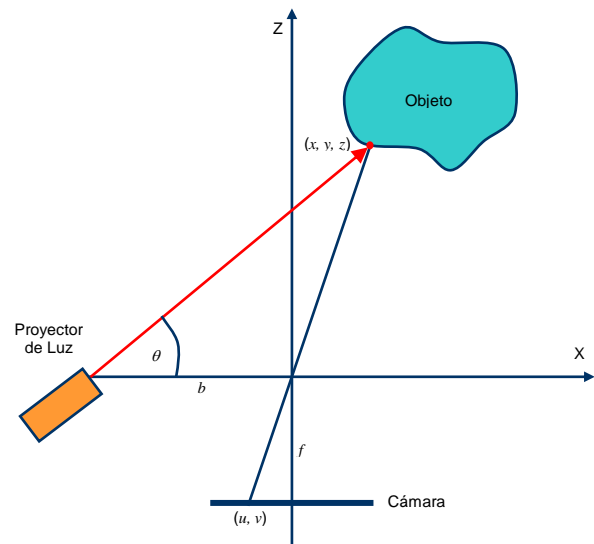


Figura 2. Geometría básica de un sistema de triangulación activa.

$$x = \frac{b}{f \cdot \cot \theta - u} \cdot u \quad (1)$$

$$y = \frac{b}{f \cdot \cot \theta - u} \cdot v \quad (2)$$

$$z = \frac{b}{f \cdot \cot \theta - u} \cdot f \quad (3)$$

Donde las variables se definen como:

x, y, z : coordenadas reales respecto a la cámara.
 f : distancia focal de la cámara.
 u, v : coordenadas en pixeles obtenidas por la cámara.
 θ : ángulo de proyección de luz láser.

La obtención de la distancia focal f se obtiene generalmente mediante la calibración de la cámara digital a ser usada. La cámara utilizada por el sistema actualmente, corresponde a una Minicam Pro modelo N° 98067, para la cual se conoce sólo una especificación técnica en la que se ubica su distancia focal de entre 7[mm] y 10[mm]. Para obtener de manera exacta la distancia focal requerida para los cálculos utilizados por la técnica de triangulación activa se procedió a utilizar la herramienta Camera Calibration Toolbox para MATLAB, la cual funciona basándose en la técnica de calibración definida por Roger Y. Tsai [8].

Los requerimientos básicos de un sistema de triangulación activa son: una cámara de video, una fuente de luz y un computador, cuyas características dependen del diseño específico para la aplicación con el fin de obtener un mayor rendimiento, o bien, un computador de propósito general [1]. La figura 3 muestra el esquema físico construido, en donde se muestra un espejo que refleja la luz láser emitida y la cámara que captura la proyección de la luz en el objeto. Todo este sistema está conectado a un computador que procesa la información.



Figura 3. Fotografía del sistema físico implementado.

Procesamiento de imágenes

La reconstrucción tridimensional de superficies a través de la técnica de triangulación activa de proyección de líneas láser requiere procesar las imágenes antes de aplicar el proceso de reconstrucción. Este procesamiento implica segmentar, eliminar ruido y esquelitizar las líneas proyectadas de cada imagen. La segmentación, en este

caso, consiste principalmente en aislar las líneas de las imágenes producidas por el láser y obtenidas durante el proceso de captura. Para este tipo de técnicas la mejor manera de lograr la segmentación es mediante técnicas basadas en umbralización. Por este motivo se procedió a probar técnicas asociadas a valores umbrales globales, basándose en la conversión de imágenes a escala de grises, y la determinación de umbrales globales de color utilizando los métodos RGB y HSV. También se analizó el uso de una técnica conocida como resta de imágenes, que consiste en tomar inicialmente una foto neutra (sin línea láser) y posteriormente restar esta imagen a las que tenían la proyección del láser.

La técnica que dio mejores resultados fue la resta de imágenes, de esta forma mediante la resta se obtuvo el segmento o línea que pertenece al láser. A esta línea luego se elimina el ruido, mediante filtros y luego se realiza la esquelitización (dejar la línea del grosor de un pixel), para posteriormente realizar la reconstrucción.

RECONSTRUCCION DE SUPERFICIES

Existe un gran número de técnicas aplicadas a la reconstrucción tridimensional de objetos a partir de puntos o datos obtenidos a través de las imágenes de los objetos. Principalmente se conocen técnicas básicas, las cuales son capaces de reconstruir imágenes a partir de la textura y variaciones en la incidencia de luz sobre los objetos analizados. Otros tipos de técnicas más elaboradas son las basadas en métodos geométricos, los cuales se basan en teorías y algoritmos básicos de la geometría computacional, entre los que se pueden nombrar la triangulación, polígonos de Thiessen [9], entre otros. Otros métodos utilizados comúnmente en geología son los geoestadísticos, los cuales se basan en la correlación espacial de las muestras en el espacio dado, apoyado en una serie de herramientas estadísticas; el más comúnmente usado es el método de Kriging [10].

Las técnicas usadas más comúnmente para la reconstrucción de superficies son las basadas en triangulación [11], que han demostrado que funcionan con eficiencia sobre nubes de puntos de gran densidad, la más conocida de estas técnicas es la triangulación de Delaunay, dando buenos resultados en este proyecto.

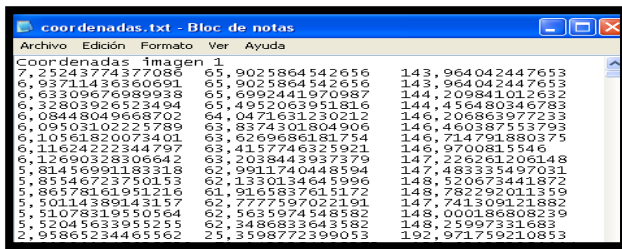
Determinación Coordenadas

La obtención de las coordenadas tridimensionales que definen al objeto mediante la técnica de triangulación activa, se obtienen mediante el análisis de las líneas obtenidas durante el proceso de segmentación de imágenes. El proceso consiste en determinar las coordenadas de cada punto u (columnas) y v (filas) de la imagen segmentada y determinar sus coordenadas X, Z e

Y, de acuerdo a las ecuaciones (1), (2) y (3), expuestas anteriormente.

Estas ecuaciones miden el grado de distorsión que se genera entre la coordenada u y el eje coordenado, tomando en cuenta los valores de distancia entre el láser y la lente de la cámara -valor b en la ecuación-, hacia el lado negativo del eje x en el plano coordenado, siendo las otras variables involucradas la distancia focal de la cámara (f) y el ángulo de proyección de la luz láser en relación con el eje x del plano coordenado (θ).

Al aplicar estas ecuaciones sobre las coordenadas bidimensionales “ u , v ” de cada uno de los pixeles que componen las líneas esqueletizadas, se obtienen coordenadas tridimensionales de cada punto existente, las cuales pueden ser procesadas posteriormente por alguna aplicación de reconstrucción tridimensional o por un sistema de visualización tridimensional para obtener una representación de éstas en el espacio. La figura 4 muestra un ejemplo de un archivo de texto generado por la aplicación desarrollada, en el cual se muestra el resultado de la obtención de las coordenadas “ X ”, “ Y ” y “ Z ”, de las líneas de una imagen. Además la figura 5 muestra una representación espacial de los puntos obtenidos, a través de una ventana de OpenGL-VTK [12], en la cual se puede apreciar el comportamiento de los puntos de la superficie escaneada.



Coordenadas imagen 1	X	Y	Z
7.25243774377086	65.9025864542656	143.964042447653	
6.93711436360991	65.9025864542656	143.964042447653	
6.63309676989938	65.6992441970987	144.209841012632	
6.32803926523494	65.4952063951816	144.456480346783	
6.08448049668702	64.0471631230212	146.206863972733	
6.09503102225789	63.8374301804906	146.460387553793	
6.10661820073401	63.6269686181754	146.714791880375	
6.11624222344797	63.4157746325921	146.9700815546	
6.12690328306642	63.2038443937379	147.226261206148	
5.81456991183318	62.9911740448594	147.483335497031	
5.85546723750153	62.1330134645996	148.520673441872	
5.86578161951216	61.9165837615172	148.782292011359	
5.50114389143157	62.7777597022191	147.741309121882	
5.1078319550564	62.563974548582	148.000186808239	
5.52045633955255	62.3486833643582	148.25997331683	
2.95865234465562	25.3598772399053	192.971759210853	

Figura 4. Archivo generado con coordenadas extraídas.

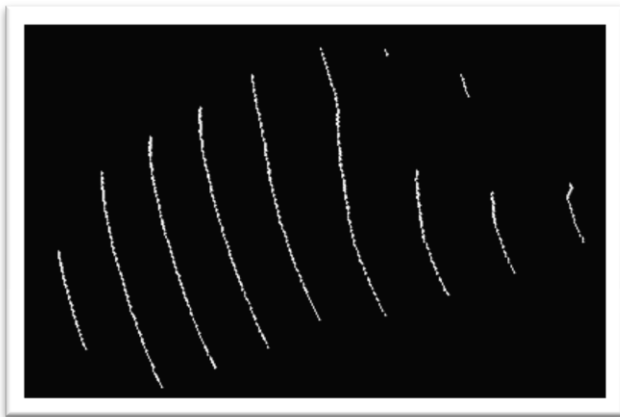


Figura 5. Representación de las coordenadas obtenidas utilizando la aplicación VTK-OpenGL.

Interpolación de líneas

La principal problemática al tratar de representar tridimensionalmente las superficies escaneadas en este trabajo, es la cantidad de líneas producidas en el proceso de captura. En otros trabajos realizados mediante triangulación activa se puede apreciar que la distancia entre líneas es milimétrica y el proceso por lo general se lleva a cabo en un ambiente altamente controlado, en donde es el objeto el que se desplaza o en algunas ocasiones es rotado [2, 3, 13]. Lo anterior genera la cantidad de líneas adecuadas para la reconstrucción.

La arquitectura implementada en este trabajo produce un número reducido de líneas proyectadas sobre el objeto, el cual varía a su vez con la distancia. Un ejemplo de esto se dio al comparar el número de líneas sobre un mouse, en el cual la arquitectura desarrollada sólo podía proyectar dos líneas láser sobre el objeto, mientras que en otros trabajos realizados [14] se puede apreciar la proyección de 62 líneas a un objeto de similares características.

Dada la problemática expresada con anterioridad, se hizo necesaria la generación de líneas, a partir de las obtenidas de manera normal, con el único fin de poder realizar la reconstrucción de la superficie de manera más representativa. Por lo tanto, se procedió a interpolar las líneas iniciales, de tal manera que las líneas generadas conservaran la tendencia de la superficie del objeto a través de las coordenadas tridimensionales de los puntos generados por la aplicación, y mediante las coordenadas bidimensionales (u, v) de las líneas en las imágenes esqueletizadas.

Se probaron cuatro tipos de interpolaciones:

- Interpolación de líneas 3D, es decir, en el plano x , y y z .
- Interpolación en 2D, donde se toman en cuenta las coordenadas “ u ” y “ v ” de los pixeles de las líneas en las imágenes.
- Interpolación en 2D, donde se toma en cuenta la coordenada “ v ” de los pixeles de las líneas en las imágenes.
- Interpolación en 2D, donde se toma en cuenta la coordenada “ v ” de los pixeles de las líneas en las imágenes, que es una variante de la interpolación anterior, en la cual se analiza el tamaño de las líneas y la cantidad de pixeles de éstas, también basándose en coordenadas de pixeles ubicados a alturas similares. Esto con el fin de obtener mejor resultados en objetos con características esféricas.

Estas interpolaciones fueron probadas con objetos de distintas características: objetos esféricos (pelota), objetos planos (cajas), e irregulares (casco minero, florero, botella). Como resultado de estas pruebas se eligió, para el proceso de reconstrucción de imágenes, las dos últimas interpolaciones realizadas, las cuales obtienen mejores resultados de acuerdo a los objetos analizados, siendo aplicadas a objetos de distintas características, la primera, a objetos de superficies homogéneas a lo largo del barrido sobre el objeto y la segunda a objetos de características esféricas. La figura 6 y 7 muestran ejemplos de estas interpolaciones.

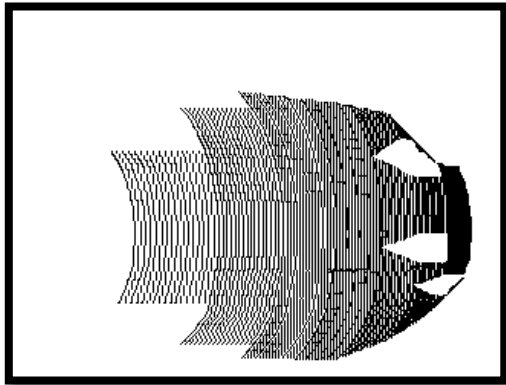


Figura 6. Resultado Interpolación 2D balón de Fútbol americano, distancia "v".

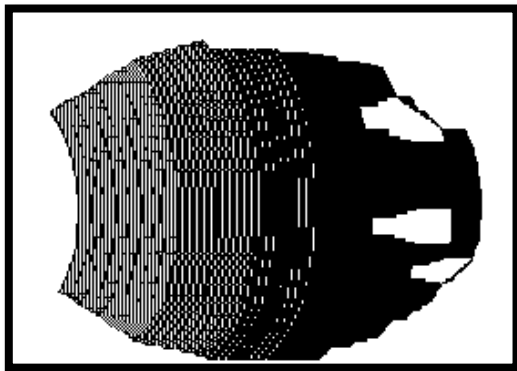


Figura 7. Resultado Interpolación 2D, respetando tamaño de líneas y número de puntos. Balón de Fútbol americano.

Como resultado de estas interpolaciones fue posible obtener las reconstrucciones de las superficies de los objetos, permitiendo generar puntos a menores distancias entre ellos y así aplicar el algoritmo de mallado tridimensional de triangulación de Delaunay provista por VTK.

Representación Tridimensional

El procesamiento de los datos para la triangulación y visualización de los resultados de la reconstrucción de la

superficie fueron realizados mediante la utilización de las bibliotecas VTK (Visualization Toolkit). Estas bibliotecas están desarrolladas en lenguaje nativo C y proveen de una gran gama de aplicaciones enfocadas principalmente a la reconstrucción de objetos, análisis de imágenes para reconstrucción y herramientas de visualización. VTK está disponible para una gran cantidad de lenguajes entre los que se destacan C, JAVA, C++ y Python. En el caso de las plataformas .Net, el uso de estas librerías es posible mediante la existencia de wrappers (encapsuladores), los cuales permiten el acceso a las bibliotecas de código nativo C que posee VTK, mediante un lenguaje de .NET.

Finalmente los datos son ingresados al algoritmo de triangulación de Delaunay 3D provisto por VTK para la reconstrucción de la superficie. Un ejemplo de reconstrucción de la superficie de un objeto escaneado se muestra en la figura 8, donde se puede apreciar el objeto original y la reconstrucción de su superficie a través del sistema propuesto.

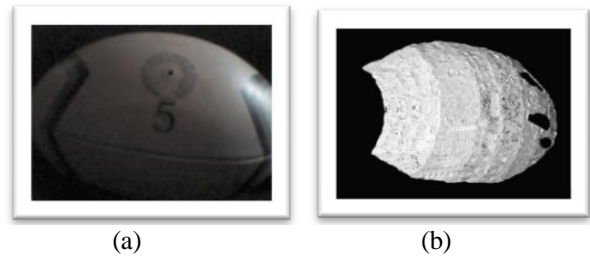


Figura 8. Ejemplo de reconstrucción de superficie: (a) Balón de Rugby; (b) Reconstrucción superficie.

PRUEBAS DE LUMINOSIDAD

Variación del tipo de objeto

Se realizó una serie de experiencias con un número determinado de objetos complejos y regulares de distintas características, entre los que se cuentan: casco minero, botella cloro, cilindro metálico, serrucho, caja, porta lápices, porta fósforos, pelota de baby futbol, florero y una pelota de rugby. De estas pruebas se mostrarán los resultados más relevantes obtenidos.

El primer objeto analizado correspondió a una botella de cloro probada con distintas intensidades de luz ambiental, como se muestra en la figura 9.

Los resultados obtenidos en esta prueba se ven expresados en la figura 10, la que muestra el comportamiento del sistema en relación al tamaño de la nube de puntos generada a partir de las distintas pruebas, a diferentes intensidades lumínicas medidas en lux. Como se ve en el gráfico de la figura 10 en este objeto ya se demuestra la tendencia a la disminución del número de coordenadas

captadas por el sistema de acuerdo al aumento de la intensidad de luz.

Las características de este objeto lo hacen realmente especial para el análisis al tratarse de una superficie homogénea que cuenta con una sección irregular, lo que aumenta la dificultad al escanearlo. También fue elegido por el color de su superficie, su textura lisa y altamente brillante a intensidades de luz superiores a 180 lux. Algunos resultados de la reconstrucción de este objeto a distintos rangos de intensidad de luz se pueden apreciar en la figura 11, donde se puede ver la disminución en la calidad de la superficie reconstruida a medida que aumenta la luminosidad.

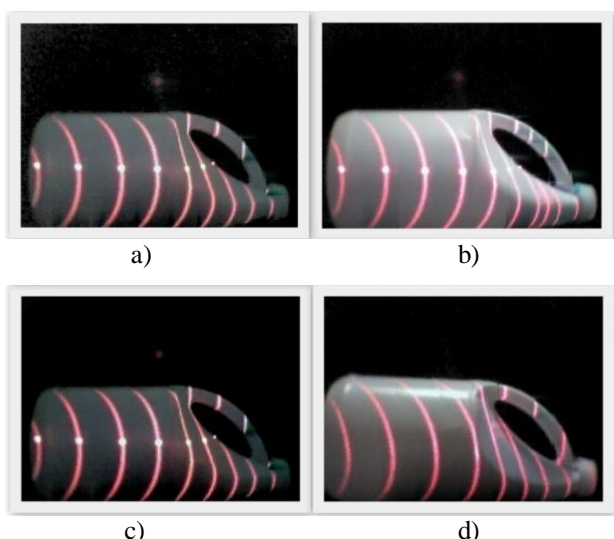


Figura 9. Muestra pruebas de luminosidad. Objeto: botella Cloro. a) 116 lux. b) 350 lux. c) 125 lux. d) 20 lux.

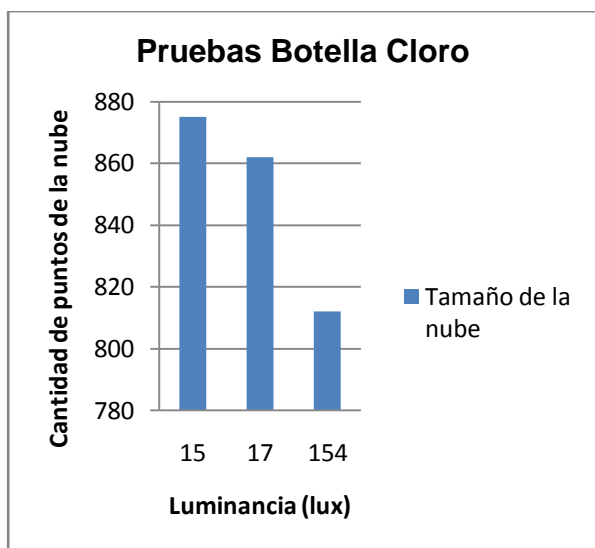


Figura 10. Resultados prueba de luminosidad. Objeto: botella Cloro.

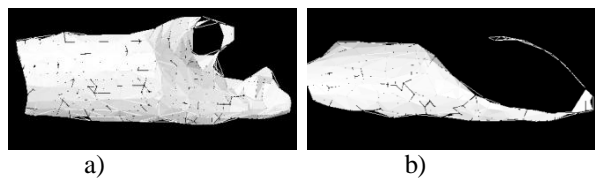


Figura 11. Reconstrucción botella cloro. a) reconstrucción a 125 lux. b) reconstrucción a 350 lux.

Posteriormente, se procedió a analizar objetos más cotidianos y de formas más homogéneas, como balones o cajas. Se muestra a continuación los resultados asociados a un balón de fútbol Americano, el cual poseía una superficie homogénea y absorbente a la luz. La figura 12 muestra los resultados obtenidos en tamaño de la nube de puntos al variar las condiciones de luz aplicados al balón de fútbol. A su vez la figura 13 muestra los resultados de las reconstrucciones obtenidas a distintas intensidades de luz.

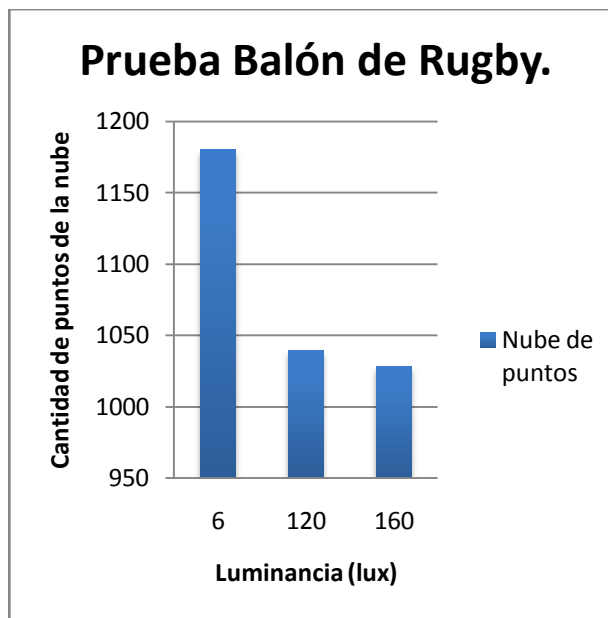


Figura 12. Resultados prueba de luminosidad. Objeto: pelota rugby.

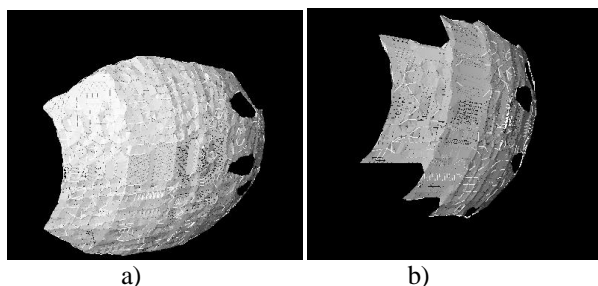


Figura 13. Reconstrucción Balón de fútbol Americano. a) reconstrucción a 6 lux. b) reconstrucción a 160 lux

Uno de los objetos con mejor representación tridimensional corresponde a los de forma cúbica, como se nombró anteriormente. Es por esto que se muestran los resultados obtenidos de la reconstrucción de una de estas superficies en la figura 14 y los resultados obtenidos al analizar la nube de puntos al variar la luminosidad sobre el objeto se ilustran en la figura 15.

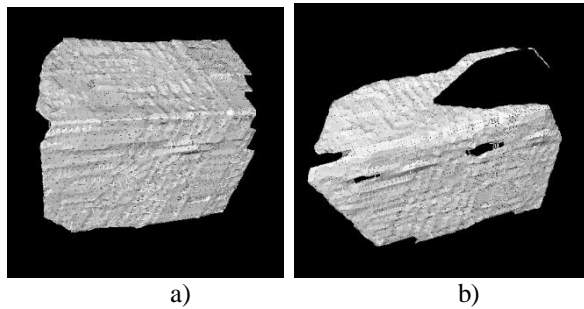


Figura 14. Reconstrucción de una caja. a) reconstrucción a 21 lux. b) reconstrucción a 166 lux

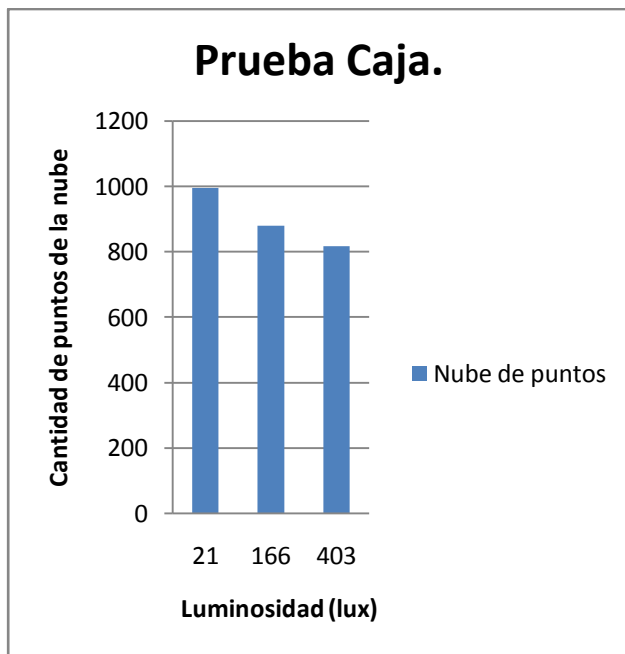


Figura 15. Resultados prueba de luminosidad. Objeto: Caja.

Por último, se muestra un ejemplo de los resultados asociados a las pruebas de luminosidad de objetos curvos de secciones irregulares en su superficie y con un alto grado de reflexión de luz por parte de ésta, un casco minero, escaneado para análisis de luminosidad en este tipo de objetos. La figura 16 muestra el comportamiento de la nube de puntos. Por otra parte la figura 17 muestra un ejemplo del comportamiento de la superficie al cambiar la luminosidad.

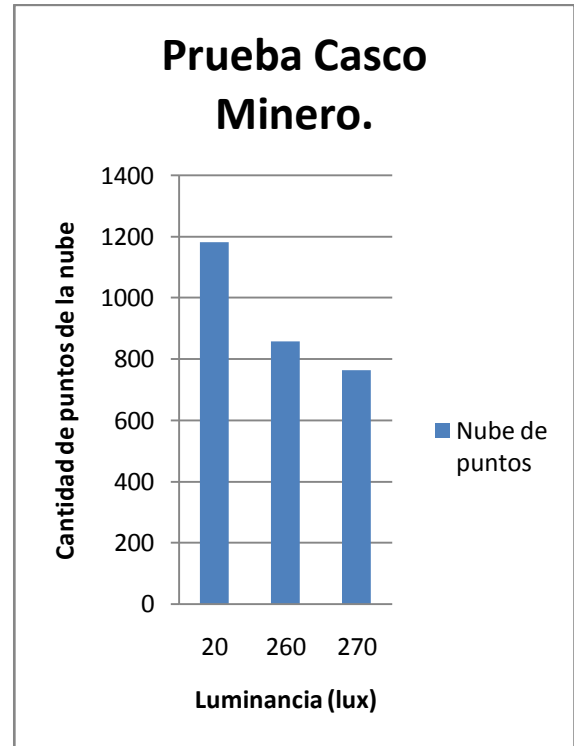


Figura 16. Resultados prueba de luminosidad. Objeto: Casco Minero.

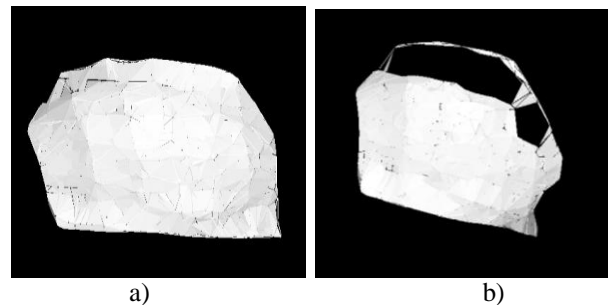


Figura 17. Reconstrucción de un casco minero. a) reconstrucción a 6 lux. b) reconstrucción a 160 lux

Variación del color del objeto

El último grupo de pruebas desarrolladas, correspondió a una serie de capturas a una superficie regular y homogénea, en la cual el sistema se comporta de la mejor manera y obtiene las mejores representaciones. Para esto se trabajó con una caja de forma cúbica de 15x30 cm, a la cual se le adherían papeles de distintos colores en la superficie que sería escaneada por el sistema, para descubrir el comportamiento de la reconstrucción de acuerdo a los colores de un objeto.

Los colores utilizados para el análisis del comportamiento del sistema fueron: rojo, azul, amarillo, negro, café claro y

blanco. También se realizaron pruebas con objetos metálicos y se aplicó una superficie plateada reflectante a la misma caja en que se realizó la prueba de colores inicial.

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta prueba se muestran en el gráfico mostrado en la figura 18, en la cual se pueden apreciar de forma comparativa los resultados obtenidos para cada color en una determinada intensidad lumínica. Ejemplos de estas reconstrucciones a partir del objeto base se muestran en las figuras 19 y 20. En estas figuras se puede apreciar que los colores oscuros son los que presentan una mayor dificultad para ser escaneados y con el color café claro se puede obtener una mejor nube de puntos.

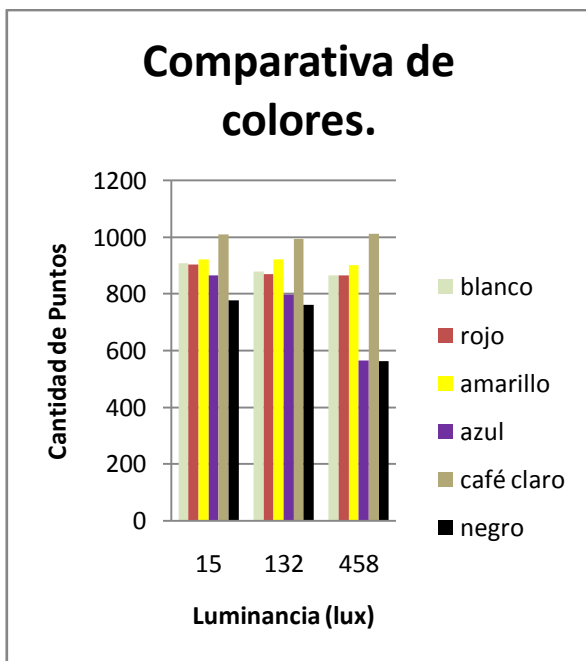


Figura 18. Resultados prueba de luminosidad. Alternación de colores.

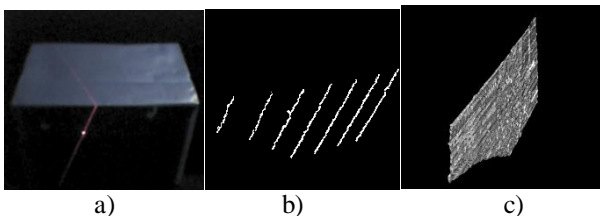


Figura 19. Reconstrucción de superficie de color azul (solo se puede apreciar la mitad del objeto). a) caja color azul escaneada. b) nube de puntos obtenida. c) Reconstrucción superficie.

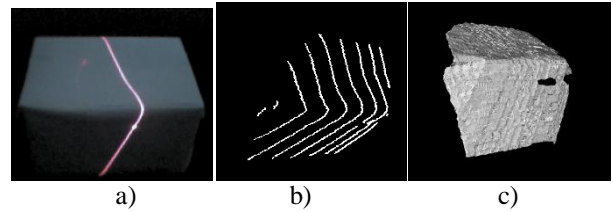


Figura 20. Reconstrucción de superficie de color blanco. a) caja color blanco escaneada. b) nube de puntos obtenida. c) Reconstrucción superficie.

Además, la figura 21 muestra el resultado de una reconstrucción a partir de una superficie metálica, lo que permite apreciar claramente que el sistema no es capaz de reconstruir fielmente este tipo de superficies.

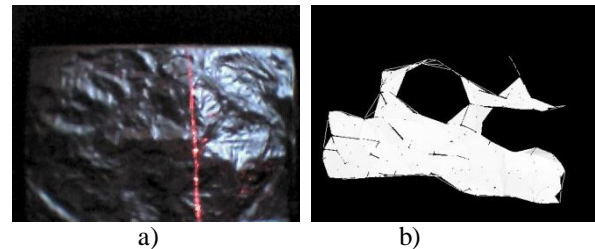


Figura 21. Reconstrucción de superficie de color plateado. a) superficie escaneada. b) reconstrucción superficie.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha diseñado e implementado un sistema de escaneo y reconstrucción tridimensional de superficies, basado en la técnica de triangulación activa. Esto llevó realizar dos etapas: (1) procesamiento de las líneas obtenidas (segmentación, eliminación de ruido, filtros y esqueletización) y (2) reconstrucción tridimensional (interpolación de líneas y reconstrucción).

Para probar el sistema se realizaron pruebas de luminosidad y color con distintos tipos de objetos. Los resultados obtenidos mediante estas pruebas indican que el sistema funciona bien cuando la luz ambiental es menor a 20 lux, exceptuando los objetos con superficies de baja reflexión y/o rugosas, además de aquellos objetos con superficies de aspecto metálico.

A partir de las pruebas realizadas sobre una caja con superficies de distintos colores, se pudo concluir que las superficies de colores claros, ya sean de mayor o igual intensidad que el color rojo, permiten una obtención más nítida de las líneas proyectadas sobre el objeto. Además, estos colores permiten realizar capturas nítidas a valores de luminosidad más altos que los demás colores, superando los 500 lux, pero según los resultados de las

pruebas los valores no deben superar los 687 lux. Por su parte los colores de rango inferior al rojo obtienen buenos resultados a valores de iluminación menores de 28 lux.

En relación a las superficies de aspecto metálico, el comportamiento del sistema no es el esperado. Para este tipo de superficies las pruebas sugieren un nivel de iluminación inferior a los 4 lux.

AGRADECIMENTOS

Los autores agradecen al Proyecto DIUDA 221143 por el apoyo financiero para realizar esta experiencia y a Orlando Bolados, que participó en el inicio de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] G. J., Javier, "Visión por Computador", Editorial PARANINFO, Primera Edición. Madrid. España. 1999.
- [2] J. Gühring, "Dense 3-D surface acquisition by structured light using off-the-shelf components", Proc. Videometrics and Optical Methods for 3D Shape Measurement, 2001.
- [3] J.A. Muñoz Rodríguez, A. Asundi y R. Rodríguez Vera, "Aplicación de redes neuronales de aproximación a una línea de luz para reconstrucción 3D de objetos", Revista Mexicana de Física 50 (5) 453–46, octubre 2004.
- [4] F. Isgro, F. Odone, A. Verri, "An open system for 3D data acquisition from multiple sensor", Proceedings of the Seventh International Workshop on Computer Architecture for Machine Perception (CAMP'05), IEEE, 2005.
- [5] B. R. Benito, L. B. Xoán, "Aplicaciones de la ingeniería Inversa a la reconstrucción virtual de piezas arqueológicas", Universidad de Vigo, 2003.
- [6] V. S. José, M. D. Ana, S. C. Ángel, S. M. José "Visión por Computador", Editorial Dyckinson, Segunda edición. 2003.
- [7] G. C., Yolanda, "Aplicaciones de la Visión artificial", Universidad de les Illes Balears, 2001.
- [8] T. Y., Roger "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-self TV Cameras and Lenses", IEEE Journal of robotics and automation, 1984.
- [9] S. P., José, "Territorio y poblamiento en Galicia entre la antigüedad y la plena edad media", Universidad Santiago de Compostela, 2008.
- [10] W., Hans "Multivariate Geostatistics, An introduction Applications", Springer-Vela Berling Heidelberg, Tercera edición, 2003.
- [11] L. D. T., Schachter B. J., "Two Algorithms for Constructing the Delaunay Triangulation", Int. J. Comput. Inf. Sci. 1980.
- [12] Kitware, "Visualization Toolkit", 05 de mayo de 2010, <http://www.vtk.org/>
- [13] Grupo de automática, robótica y visión artificial, "Reconstrucción Tridimensional de objetos con técnicas de visión y luz estructurada", Universidad de Alicante, 2002.
- [14] R. A., Luis, "Generación de modelos tridimensionales basados en técnicas de triangulación y acoplamiento de caras: 3D EN INTERNET", 5 de abril 2010, http://www.elai.upm.es/spain/Investiga/GCII/personal/Irodriguez/web3D/reconstruccion_3d.htm.