

# Estimación de distancias absolutas utilizando un puntero láser y una cámara web

Christian Portugal Zambrano, Jesús P. Mena-Chalco

**Resumen** — En la actualidad existe un gran interés en el estudio de reconstrucciones 3D a partir de imágenes. La aplicación de algoritmos fotogramétricos han permitido mejoras relevantes en calibración, movimiento, recuperación de formas a partir de sombras y profundidad en imágenes. El proceso de obtención de distancia a partir de imágenes estáticas es muy importante para la determinación de medidas de profundidad en cualquier proceso de reconstrucción 3D. En este artículo, correspondiente al tema de tesis de pre-grado, aún en desarrollo, se describe una adaptación de un prototipo de escáner elaborado en base a una cámara web y un puntero láser de baja precisión, aplicado a la determinación de distancias absolutas en imágenes obtenidas de secuencias de vídeo en tiempo real. Fueron realizadas pruebas experimentales que demuestran la efectividad del cálculo de distancia en tiempo real. Finalmente es realizado un análisis de los resultados obtenidos, así como son descritas posibles mejoras al proceso de estimación de distancia.

**Términos de indexación** — Fotogrametría, calibración de cámara, visión computacional.

## 1. Introducción

La vista es uno de los principales sentidos usados por el hombre para moverse en el mundo. La cantidad de información que se recibe a través de la visión es incomparable con la de los demás sentidos, pero gran cantidad de información ha logrado ser procesada gracias a los avances en el campo de Visión por Computador.

El propósito de la visión artificial (visión por computador) es programar un computador para que entienda las características de una imagen o construya una descripción de escena de una imagen [19]. Para conseguir una descripción de una escena, la visión por computador brinda técnicas como reconocimiento de patrones, aprendizaje estadístico, geometría proyectiva, procesamiento de imágenes, teoría de gráficos, entre otros. Una técnica que está tomando más adeptos en el área de Visión Computacional, hoy en día, es la obtención del rango en imágenes, la cual es definida como la distancia existente entre el objeto en la escena y el sensor de captura de imágenes [18]. Este tipo de técnica permite obtener información tridimensional de la escena como fondo, forma, y profundidad de los objetos presentes.

Muchas aplicaciones fueron creadas considerando información de profundidad, como por ejemplo detección de colisiones en robots autónomos, Ingeniería Inversa usando sensores ópticos de rango [9] y elaboración de mapas de navegación, también fueron creadas aplicaciones en áreas como control de calidad y planeamiento de almacenaje, este último es de gran importancia para empresas que necesitan obtener medidas de objetos tridimensionales para su manipulación [6], en oposición encontramos que este tipo de técnica demanda mucho tiempo de procesamiento y/o requiere de componentes de hard-

ware (e.g. sensores de distancia) cuya adquisición, instalación y puesta en ejecución requieren de elevados costos financieros y personal adecuado para su implementación.

El presente trabajo de tesis, aún en desarrollo, está orientado hacia la estimación robusta de distancias absolutas utilizando un puntero láser. La propuesta de tesis está basada en el trabajo de [14], en el cual se consideraban dispositivos de fácil y económica adquisición como el de una cámara web de uso doméstico y un puntero láser, utilizados para una estimación rápida de distancias reales. Para el diseño del escáner, fue dispuesto tanto la cámara web, como el puntero láser en formación paralela para la simplificación de cálculos de proyección. La principal ventaja de esta configuración (denomínese *escáner*) es la utilización de componentes de bajo recurso económico y el bajo costo de complejidad computacional. Adicionalmente, fue realizado un estudio e implementación de técnicas de calibración de cámara para el correcto cómputo de distancias. Como parte complementaria, y final, para este trabajo fue realizado la evaluación de la robustez en estimación de distancias en tiempo real.

El presente artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 están descritos brevemente los trabajos previos relacionados a estimación de distancias. En la sección 3 se describe el procedimiento usado para la calibración de la cámara. El escáner considerado y la geometría del modelo están detallados en la sección 4. Los resultados y conclusiones obtenidas hasta el momento están presentadas en las secciones 5 y 6, respectivamente.

## 2. Trabajos Previos

Hasta ahora no fueron muchos los trabajos relacionados con la estimación de distancias usando dispositivos tales como una cámara web y un puntero láser. A seguir son descritos brevemente algunos trabajos previos relacionados con el proyecto de tesis:

Christian Portugal Z. es estudiante de Quinto Año de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. Perú. E-mail: cportugal@unsa.edu.pe

Jesús P. Mena-Chalco es estudiante de Doctorado de la Universidad de São Paulo (IME-USP). E-mail:jmena@vision.ime.usp.br

- *Close-Range Camera Calibration* [3] en este trabajo se establece la importancia de la estimación de distancias cercanas fotogramétricas para la obtención de medidas de estructuras, esto dio origen a técnicas fotogramétricas más refinadas las cuales fueron aplicadas a la obtención de medidas de antenas parabólicas.
- *Estimación de distancias con un láser de línea y una cámara* [14] En este trabajo se describe un sistema de escáner láser, compuesto por una cámara y un apuntador láser, el cual proyecta una línea horizontal que rastrea todo el objeto y se basa en si un obstáculo está lejos o cerca del escáner, la idea general era poder estimar la distancia al objeto en base a la diferencia de ubicación del reflejo del puntero láser en la imagen. Se observó que a menor distancia el reflejo del láser se aproximaba a la parte inferior de la imagen y a mayor distancia se acercaba al centro de la imagen.
- *Um Método Projetivo para cálculo de dimensões de caixas em tempo real* [6] Este trabajo describe un método preciso para la computación de dimensiones de cajas en tiempo real, utilizando un enfoque de geometría proyectiva la cual usa información de las siluetas de la caja y de la proyección de dos punteros láser sobre una de las caras de la caja, logrando así obtener sus dimensiones en tiempo real. La efectividad de este trabajo fue demostrada implementando un prototipo de escaner que implementó su método.
- *WebCam DIY Láser RangeFinder* [5] Aquí se explica la necesidad de diseñar dispositivos ligeros en peso, debido a que en algunas aplicaciones como la robótica aérea el peso es un tema muy importante, es por ello que se describe como se puede configurar un láser de baja precisión con una Webcam de bajo costo con la finalidad de proveer una máquina de visión con información de rango.

Tomando los avances de [6] se propuso modificar la técnica de obtención de distancia en base a la idea propuesta por [5,14] estas dos propuestas junto con un proceso previo de calibración de la cámara usada en el escáner mencionado en [1] la cual fue originada por [3] permitió elaborar un esquema de obtención de distancia que brinde información tridimensional en tiempo real.

Existen varios aspectos a tener en cuenta a la hora de comparar los resultados obtenidos por una u otra técnica, siendo la precisión de los resultados la más importante. En ese sentido, fue adoptado la calibración propuesta por Abdel-Aziz y Karara [1] que fueron los primeros en desarrollar la *Direct Linear Transformation* (DLT). Esta técnica trata de detectar los dos tipos de parámetros a la vez mediante una ecuación lineal. Más tarde Karara, en 1979 mejoró el método para tener en cuenta las distorsiones ópticas. La simplicidad del modelo y los buenos resul-

tados obtenidos han hecho que se extienda su uso en la comunidad científica.

### 3. Calibración de cámara y corrección de imágenes

La calibración de cámaras ha sido siempre un componente de medida fotogramétrico, utilizado especialmente en la obtención de rangos con alta precisión [16].

Es necesario realizar un procedimiento de orientación y de calibración de cámara preciso [2], con el objetivo de extraer información métrica 3D confiable de las imágenes como paso previo a una reconstrucción tridimensional de movimiento y recuperación de forma [15]. Para nuestro propósito el concepto de calibración de cámara se entiende como la existencia de una relación directa entre las coordenadas de la imagen y coordenadas del objeto relativas al centro de la cámara, pero sin embargo la posición de la cámara en el espacio no es necesariamente conocida. Mucho trabajo se ha realizado en el calibrado de cámaras, algunos autores propusieron el uso de algoritmos genéticos [10,17] y también en el pre y post procesamiento de los datos. Desde un punto de vista práctico, algunos autores sugieren el método basado en una plantilla bidimensional como el más fácil de realizar [4] y que obtiene buenos resultados.

La orientación de la cámara incluye la determinación de los parámetros de ubicación externos para definir su estado y su eje en un sistema de coordenadas de alto orden generalmente llamado *Sistema de coordenadas del mundo* (World Coordinate System), para ello es que recurrimos a la ubicación de tres parámetros traslacionales y tres parámetros rotacionales por cada cámara utilizada<sup>1</sup>

#### Modelo de cámara Pinhole

Una cámara en términos matemáticos es vista como un mapeamiento (relación) entre el espacio del objeto y el espacio de la imagen, la cual es representada por matrices matemáticas con propiedades particulares que las describen. El modelo básico Pinhole es caracterizado porque el centro de proyección es el sistema de coordenadas Euclidiano donde se considera al plano  $Z = f$ , el cual es llamado plano de la imagen o plano focal. Bajo el modelo de cámara Pinhole un punto en el espacio con coordenadas  $X = (x, y, z)^T$  es relacionado o mapeado hacia un punto en el plano de la imagen formando una recta  $X$  que apunta hacia el origen del sistema de coordenadas, esto es conocido como un mapeamiento de coordenadas euclidianas 3D a coordenadas euclidianas 2D. El centro de proyección es llamado *centro de la cámara* o *centro óptico*, la línea desde el centro de la cámara y perpendicular al plano de la imagen es llamada *eje principal* o *rayo principal* de la cámara y el punto donde el eje principal intercepta el

<sup>1</sup>En nuestro sistema estamos considerando el uso de una sola cámara web de uso doméstico.

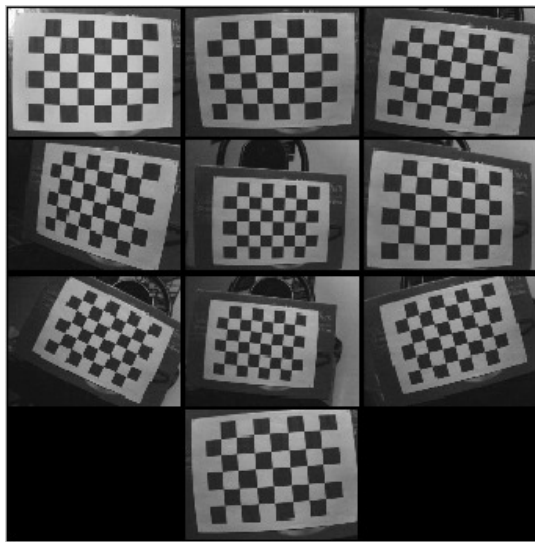


Figura 1: Patrones usados para el proceso de calibración, denominados Chessboard.

plano de la imagen es conocido como *punto principal*. Para una descripción más detallada de este modelo sírvase revisar [8].

## Proceso de calibración

Para el proceso de calibración se ha utilizado una técnica basada en homografías haciendo uso de un patrón de calibración denominado Chessboard, del cual se conoce sus dimensiones, en la figura 1 se puede apreciar los diez patrones de tablero utilizados para nuestra calibración.

## Detección de las esquinas y puntos del patrón de calibración

Con el objetivo de hallar las esquinas de cada uno de nuestros patrones se procedió a un proceso de pre-procesamiento, compuesto por una umbralización y una saturación de píxeles lo que permitió hacer un rastreo de los colores de diferentes píxeles secuenciales y detectar las esquinas de cada uno de los patrones presentados, la figura 2 muestra la detección de esquinas y puntos en dos patrones de los presentados en la figura 1.

Debemos de notar que nuestros patrones son de igual dimensión, razón por la cual si decidimos redimensionar nuestra imagen por un factor también debemos de agregar este factor a la dimensión de medida de nuestro patrón para no perder credibilidad en los datos. Terminado el proceso de obtención de las esquinas y puntos de cada uno de los patrones se procede a realizar la calibración con cada uno de los puntos obtenidos iterándolos en cada patrón subsecuente.

En la figura 3 se puede apreciar la relación de los parámetros externos en relación con el eje de la cámara,

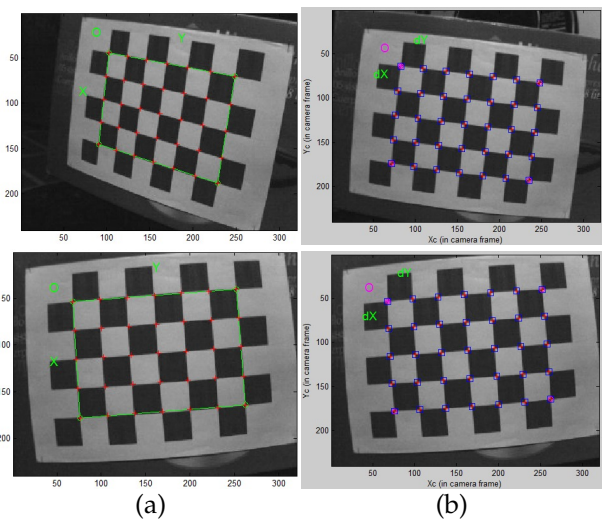


Figura 2: (a) Detección de las esquinas del patrón. (b) Detección de los puntos internos del patrón.

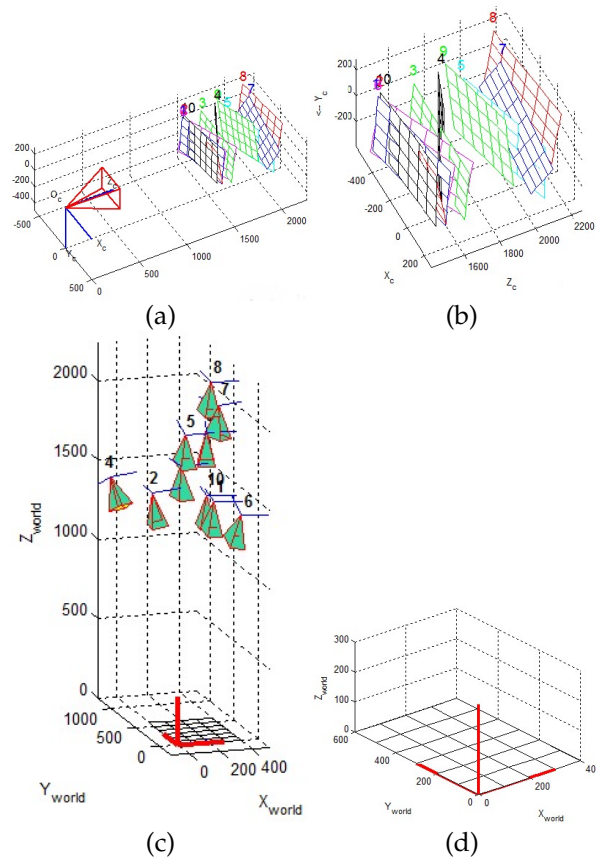


Figura 3: (a) Vista de las posiciones externas de los objetos (b) Vista de las posiciones de los objetos (c) Vista de los objetos en referencia a la cámara (d) Vista del eje de la cámara.

para cada patrón presentado se conoce su posición y orientación al eje principal, esto nos sirve para lograr una relación entre todos los puntos de los tableros y obtener un modelo de corrección para cualquier punto presentado a futuro.

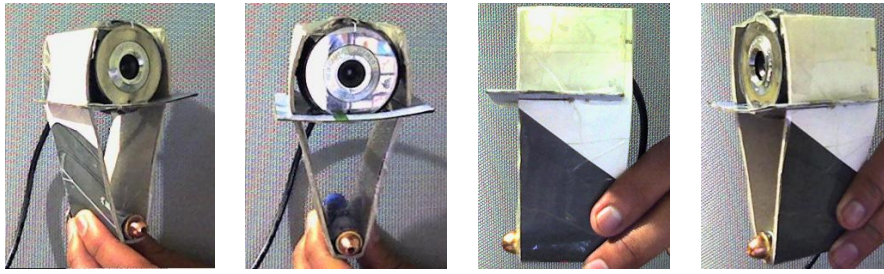


Figura 4: Imágenes del escáner implementado desde diferentes puntos de vista.

## 4. Estimación de distancia

En esta sección se detalla el modelo de escáner considerado en [5], utilizado para la obtención de distancia hacia un objeto de superficie plana.

En aplicaciones de robótica uno de los objetivos es dotar a los minirobots de aparatos ligeros y pequeños, es por ello que se consideró utilizar una cámara web y un puntero láser de baja precisión, en la figura 4 se resalta que la disposición de la cámara web y el puntero láser se encuentran en planos paralelos a una distancia relativa uno del otro. Se optó por apoyar el láser sobre una base plana para evitar la desalineación del mismo respecto de la cámara, también se aseguró la posición de la webcam con cintas adhesivas para evitar el problema anterior. La implementación del escáner, permitió comprobar la ligereza del diseño.

### Geometría del modelo

En la figura 5 se puede observar un modelo más detallado de funcionalidad del escáner y se establecen unos parámetros básicos para el cálculo de la distancia. La distancia entre la cámara web y el puntero láser es definida como  $h$  medida en cm, la distancia entre el escáner y el objeto de superficie plana es definida como  $D$  también en cm, la representación del objeto en la imagen formada por el lente de la webcam es referenciada por  $A$  y  $B$  en el objeto y proyectados como  $A^I$  y  $B^I$  respectivamente en la imagen, la proyección del punto láser en el objeto es definida en la imagen como  $\text{pfc}^2$  que representa la cantidad de píxeles tomados desde la proyección del punto láser hasta el centro de la imagen,  $\theta$  representa el ángulo en radianes formado por la recta de proyección del puntero láser y la recta perpendicular al plano focal y paralela al eje de la cámara.

Luego de haber explicado los parámetros correspondientes a la figura 5 establecemos la primera ecuación básica:

$$\tan \theta = \frac{h}{D} \quad (1)$$

Si despejamos el parámetro  $D$  la ecuación quedaría como:

$$D = \frac{h}{\tan \theta} \quad (2)$$

<sup>2</sup>pfc = pixel from center

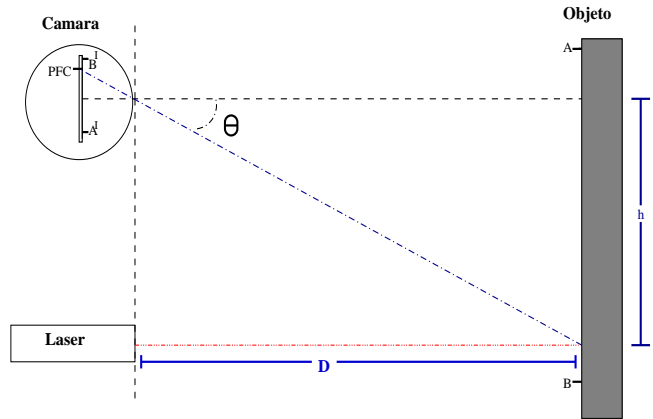


Figura 5: Modelo de escáner considerado en el cálculo de distancia en base a un puntero láser. Figura adaptada de [5].

El valor de  $\theta$  al tomar varias mediciones muestra un comportamiento decreciente conforme la distancia *Escáner-Objeto* va en aumento y viceversa.

De la relación planteada se requiere obtener el total de píxeles por grado de luz entrante denominado  $\text{rpc}^3$ , logrando así convertir cada píxel en la imagen a su correspondiente en centímetros. La siguiente relación muestra  $\text{rpc}$  definido como:

$$\text{rpc} = \frac{\theta}{\text{pfc}} \text{Rad/Pixel}$$

A continuación expresamos la misma relación pero en otro orden.

$$\theta = \text{pfc} * \text{rpc} \quad (3)$$

Para completar la ecuación nos enfocamos en la presencia de un factor de corrección de alineación, denominado  $\text{ro}^4$  producido por la deformación en la lente<sup>5</sup>. Luego de considerar el factor de corrección, la ecuación sería representada como:

$$\theta = \text{pfc} * \text{rpc} + \text{ro} \quad (4)$$

<sup>3</sup>rpc=radian per pixel pitch.

<sup>4</sup>ro=radian offset

<sup>5</sup>Por ser una cámara web de bajo costo las deformaciones se deben a su radio de curvatura predominando las deformaciones radiales y tangenciales

	$D_R$	$PFC_1$	$PFC_2$	$PFC_3$	$PFC_4$	$PFC_5$	$PFC_P$
1	30	214	212	210	210	208	211
2	35	198	196	194	194	196	196
3	40	184	186	188	186	184	186
4	45	180	176	180	178	176	178
5	50	170	172	174	170	168	171
6	60	160	158	160	158	160	159
7	70	150	150	152	150	152	151
8	80	146	146	146	146	146	146
9	90	140	140	140	141	142	141
10	100	139	136	136	138	139	138
11	110	134	134	134	134	136	134
12	120	132	130	132	130	132	131
13	140	128	129	128	129	128	128
14	160	124	124	123	125	124	124
15	180	122	122	121	122	122	122
16	190	122	121	120	120	122	121
17	210	118	119	120	118	117	118

Cuadro 1: Cuadro que muestra las cinco muestras tomadas de Píxeles desde el centro -  $PFC_P$  = el promedio de las medidas.

## Obtención de $rpc$ y $ro$

Para poder completar nuestra ecuación necesitamos obtener los valores de  $rpc$  y  $ro$  aproximados, de los cuales sólo tenemos  $pfc$ , para poder obtener una aproximación se tomó un total de 17 valores reales de Distancia como se puede ver en el cuadro 1 en donde para cada distancia real  $D_R$  se obtuvo 5 valores PFC para luego obtener un promedio ponderado de ellos.

Una vez obtenido el valor de  $PFC_P$  despejamos la ecuación (1) para obtener la siguiente ecuación

$$\theta_{Real} = \arctan\left(\frac{h}{D}\right) \quad (5)$$

Ahora vamos a obtener una aproximación de  $rpc$ , para ello vamos a tomar el primer valor de  $\theta_{Real}$  y lo etiquetaremos como  $\theta_1$  y al siguiente valor de este como  $\theta_2$  para luego establecer las siguientes dos ecuaciones:

$$\theta_1 = PFC_1 * rpc + ro$$

$$\theta_2 = PFC_2 * rpc + ro$$

Eliminando  $ro$ <sup>6</sup> de las ecuaciones anteriores nos queda la siguiente igualdad:

$$rpc = \frac{\theta_2 - \theta_1}{PFC_2 - PFC_1} \quad (6)$$

Observar que en el cuadro 2 no se toma el valor de la fila 17 debido a que en la columna de  $PFC_P$  presenta un valor menor que la mitad de la altura de la imagen capturada la cual resultaría en un valor negativo de nuestra distancia. Aplicando la ecuación (6) para cada uno de los valores de las filas del cuadro 2 obtenemos cada uno de los valores de la columna  $rpc$  en la misma tabla.

Para hallar el valor de  $ro$  adecuamos la ecuación (4):

$$\theta_{Real} = PFC_{Real} * rpc + ro$$

<sup>6</sup>Considerando por ahora el valor de  $ro$  tan próximo que serían iguales

	$D_R$	$PFC_P$	$\theta_{Real}$	$\theta_{Obt}$	$rpc$	$ro$	$D_{Obt}$	$Error$
1	30	211	0.26682	0.26503	0.002413	0.040995	30.21	0.71
2	35	196	0.23013	0.22723	0.002793	0.042117	35.46	1.32
3	40	186	0.20220	0.20236	0.002888	0.039050	39.97	-0.08
4	45	178	0.18024	0.18346	0.002457	0.035998	44.19	-1.79
5	50	171	0.16255	0.16555	0.002304	0.036213	49.08	-1.84
6	60	159	0.13583	0.13670	0.002287	0.038334	59.61	-0.65
7	70	151	0.11661	0.11581	0.003014	0.040011	70.49	0.70
8	80	146	0.10214	0.10388	0.002089	0.037481	78.66	-1.68
9	90	141	0.09086	0.09045	0.003014	0.039627	90.42	0.46
10	100	138	0.08182	0.08298	0.002315	0.0380	98.59	-1.41
11	110	134	0.07441	0.07503	0.001931	0.038594	109.09	-0.83
12	120	131	0.06823	0.06707	0.003472	0.040372	122.08	1.73
13	140	128	0.05850	0.06010	0.001658	0.037613	136.27	-2.67
14	160	124	0.05121	0.04916	0.002582	0.041257	166.66	4.17
15	180	122	0.04552	0.04369	0.002991	0.041047	187.57	4.20
16	190	121	0.04313	0.04170	0.001578	0.040644	196.53	3.44
17	210	118	0.03903	0.03523	0	0.04	232.64	10.78

Cuadro 2: Relación entre el  $PFC_P$  y los parámetros para obtención de  $D_{Obt}$ .

y despejamos el valor de  $ro$ :

$$ro = \theta_{Real} - PFC_{Real} * rpc \quad (7)$$

Usando la ecuación anterior 7 para cada valor de la fila del cuadro 2 obtenemos un valor de  $rpc$  distinto, por lo tanto para terminar de establecer la ecuación procedemos a obtener un valor promedio para las columnas  $rpc$  y  $ro$  los cuales serán conocidos como  $rpc_{prom}$  y  $ro_{prom}$ . Finalmente expresamos la ecuación para el cálculo de  $\theta$  en función de  $rpc_{prom}$  y  $ro_{prom}$ :

$$\theta_{Obt} = PFC_P * rpc_{prom} + ro_{prom} \quad (8)$$

donde  $\theta_{Obt}$  expresa el valor de  $\theta$  obtenido en tiempo real. Note que el valor de  $\theta_{Obt}$  depende de  $PFC_{Prom}$  debido a que  $rpc_{prom}$  y  $ro_{prom}$  son constantes.

## Cálculo de la distancia en tiempo real

Para obtener la distancia hacia el objetivo [5], fue introducido la ecuación (8) en la ecuación (2), tomando como unidad de medida cm:

$$D_{Obt} = \frac{h}{\tan(PFC * rpc_{prom} + ro_{prom})} \quad (9)$$

donde PFC expresa la medida de píxeles hacia el centro en el momento que se desea hacer la estimación de distancia, ambos obtenidos en tiempo real. Los valores de nuestro cálculo son:

$$d = 8,2$$

$$rpc = 0,002487006708$$

$$ro = 0,039212892130$$

El valor de PFC se obtiene en tiempo real cada vez que se necesite obtener el rango (distancia) hacia el objetivo.

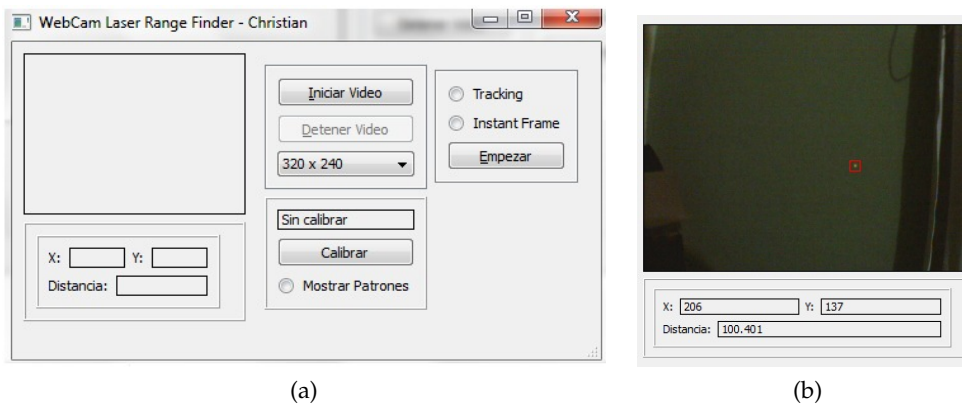


Figura 6: (a) Interface de usuario del sistema para el cálculo de distancia, hecha enteramente en Qt4. (b) Imagen con datos sobre la posición del punto láser y su distancia calculada.

## 5. Implementación y análisis de resultados obtenidos

El diseño del sistema fue realizado con software libre usando Eclipse Galileo como IDE, Mingw como compilador, Qt4 [13] para el diseño de la interface (ver figura 6(a)) y la librería Openvc1.1 [7] para el procesamiento de video, la pruebas fueron desarrolladas y probadas en un computador convencional: Pentium IV, con procesador Intel de 2.8Ghz y 1Gb de RAM. La webcam usada tiene una resolución de 1.3 hasta 5.2 M pixeles a una tasa de 30fps, 48dbs de ruido y un rango focal de 30mm al infinito.

Luego de haber obtenido los parámetros de la ecuación (9) manualmente, el proceso de obtención de distancia se realiza de manera interna en el sistema como sigue:

1. Se implementó la ecuación (9) de la sección anterior.
2. El sistema maneja una secuencia de vídeo capturada por la webcam del escáner.
3. Para realizar el cálculo de distancia se obtiene un *frame* de la secuencia de vídeo y se realiza una búsqueda del píxel más brillante en la imagen, obteniendo así sus coordenadas  $(x,y)$ <sup>7</sup>.
4. Se calcula internamente PFC como  $PFC = y - \text{Alto\_de\_Imagen}/2$  y se aplica la ecuación (9) para el cálculo de distancia, en la figura 6(b) se observa las posiciones  $(x,y)$  y su respectivo cálculo de distancia para el punto láser fijado por un recuadro rojo.

Note que el proceso anterior se realiza internamente y sólo es ejecutado por el usuario por medio de la interface del sistema, se probó el sistema para las medidas determinadas en el cuadro 2, columna  $D_R$ , y se obtuvo como resultado los datos mostrados en la columna  $D_{Obt}$  asociado a su respectivo error obteniendo un porcentaje máximo error de 4,20 para una distancia de 180cm y un porcentaje

<sup>7</sup>Se considera la posición (0,0) en la parte superior izquierda de la imagen

mínimo de  $-0,08$  para una distancia de 40cm. En la figura 7 se puede ver la relación entre la medida real y la medida calculada por el sistema para cada uno de los datos del cuadro 2.

### Limitaciones

Si bien los resultados son prometedores y el tiempo de cálculo es casi instantáneo (menos de un segundo) el sistema presenta ciertas limitaciones:

- El grado de efectividad en la detección del píxel más brillante se ve afectado en presencia de luz ambiente, por lo que se sugiere el uso de un ambiente controlado con poca luz para la realización de pruebas.
- El alcance de cálculo de nuestro sistema fue de un mínimo de 30cm (Distancias menores no pueden ser calculadas) y un máximo de 190cm (Distancias mayores no pueden ser calculadas), este alcance se ve influenciado por la distancia entre la webcam y el puntero láser de modo directamente proporcional. Según nuestras pruebas comprobamos que a mayor distancia Cámara-Láser mayor será el alcance mínimo y máximo.
- El sistema ha sido probado con objetos de superficie plana y lisa. Es lógico pensar que existirá una degradación en la exactitud de estimación cuando sean consideradas superficies rugosas no-planas, dado que la proyección del rayo láser sobre estas superficies se verá afectada.

## 6. Conclusiones y Trabajos Futuros

Se comprobó la funcionalidad y efectividad del escáner, implementando el modelo matemático, este sistema puede verse mejorado intentando diseñar configuraciones y posiciones diferentes de escáner-láser. Creemos que se puede adaptar la configuración del escáner para considerar distancias más grandes. Como parte importante del trabajo de tesis, a ser realizada, consideraremos

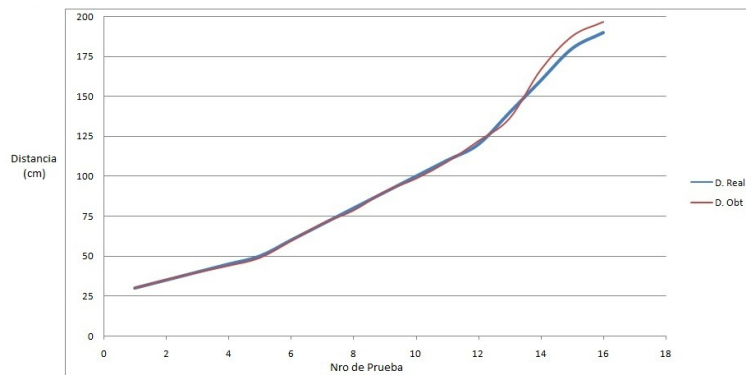


Figura 7: Gráfico de relación entre los valores de D. Real y D. Obtenida para cada Número de Prueba del cuadro 2.

el estudio de la influencia de diversas configuraciones del escáner en la estimación de distancias.

El proceso de calibración de cámara es un paso importante para obtención de información tridimensional, en este trabajo se realizó un proceso de calibración en base a homografías, obteniendo relaciones lineales, se propone realizar un estudio mayor de técnicas de calibración [10,16,17] procurando buscar mayor eficiencia en este paso. Actualmente, con las pruebas realizadas, se observó que el cálculo de distancia no sufre mayor influencia por el proceso de calibración de cámara, existiendo independencia entre ambos pasos. Nuestro estudio posterior también estará centrado en una mejor indagación sobre este hecho. Serán consideradas diferentes configuraciones de cámaras con aparentes distorsiones, con la finalidad de estimar la robustez de estimación de distancias. Adicionalmente serán considerados los trabajos [11] y [12] con la intención de elaborar un modelo de *Self-Calibration RangeFinder* aplicando el modelo aquí desarrollado. Es importante destacar que, si bien el proceso de calibración de cámara no tiene una relación directa con el cálculo de distancia, ambos pasos en conjunto poseen información necesaria y efectiva para un trabajo posterior de reconstrucción superficial de objetos tridimensionales [6,8,9,15]. En particular se puede configurar un nuevo modelo de escáner usando adicionalmente un segundo puntero láser y/o una segunda cámara web que permita la reconstrucción de escenas en 3D, manteniendo información real de altura y profundidad, i.e. obtención de escenas 3D donde también se tenga información real de sus dimensiones.

## Referencias

- [1] Y.I. Abdel-Aziz and H.M. Karara. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry*, pages 1–18, 1971.
- [2] J.-Y. Bouguet. Camera calibration toolbox for matlab. <http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/index.html>, 2008.
- [3] D.C. Brown. Close-range camera calibration. *Photogrammetric Engineering*, 37(8):855–866, 1971.
- [4] P. Campos D. Aracena and C. Tozzi. Comparación de técnicas de calibración de cámaras digitales. *Universidad de Tarapacá*, 13(1):57–68, 2005.
- [5] T. Danko. Webcam based DIY laser rangefinder. [http://sites.google.com/site/todddanko/home/webcam\\_laser\\_ranger](http://sites.google.com/site/todddanko/home/webcam_laser_ranger), 2008.
- [6] L. A. Frata Fernandes. Um método projetivo para cálculo de dimensões de caixas em tempo real. Master's thesis, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2006.
- [7] B. Gary and K. Adrian. *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*. O'Reilly, first edition, 2008.
- [8] R.I. Hartley and A. Zisserman. *Multiple View Geometry in computer Vision*. Cambridge University Press, second edition, 2004.
- [9] B. Jahne, H. HauBecker, and P. Geibler. *HandBook of Computer Vision and Applications*, volume third. Academic Press, first edition, 1999.
- [10] Q. A. Ji and Y. M. Zhang. Camera calibration with genetic algorithms. *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, 31(2):120–130, 2001.
- [11] M. Kurisu, H. Muroi, and Y. Yokokohji. Calibration of laser range finder with a genetic algorithm. pages 346–351. IEEE, 2007.
- [12] D. D. Lichti. Self-calibration of a 3D range camera. In *IS-PRS Congress*, page B5: 927 ff, 2008.
- [13] D. Molkenitin. *The Book of Qt 4*. No Starch Press, first edition, 2007.
- [14] J.Y. Montiel, J.L. López, and R. Hernández. Estimación de distancias con un láser de línea y una cámara. *Científica*, 11(3):129–134, 2007.
- [15] N. Paragios, Y. Chen, and O. Faugeras. *Handbook Of Mathematical Models In Computer Vision*. Springer-Verlag, first edition, 2005.
- [16] F. Remondino and C.S. Fraser. Digital camera calibration methods: Considerations and comparisons. volume 36, pages 266–272, 2006.
- [17] G. G. SAVII. Camera calibration using compound genetic-simplex algorithm. *Journal of optoelectronics and advanced materials*, 6(4):1255–1261, 2004.
- [18] M. Shah. *Fundamentals of computer vision*. University of Central Florida, 1997.
- [19] L. G. Shapiro and G. C. Stockman. *Computer Vision*. Prentice Hall, 2001.