



Una técnica de calibración axial para un sistema de medición 3D

Marvin Ortiz, Jesús Villa y Efrén Gonzalez

A calibration technique for an axial 3D measuring system

Recibido: enero 10, 2009

Aceptado: febrero 22, 2009

Palabras clave: Calibración axial; medición 3D; proyección de franjas

Abstract:

This paper describes a technique for carrying out the calibration Axial in a 3D measurement system by fringe projection. The proposed approach uses a calibration technique for calculating temporal phase and the technique of least squares polynomial approximation for modeling the correlation between phase and shift in z . We present several results of measurements made with real objects.

Keywords: Axial calibration; 3D measurements; fringe projection

EN metrología es de interés la obtención de medidas de volúmenes mediante el uso de técnicas no invasivas. Con el desarrollo de sistemas de estas características, es posible solventar diferentes necesidades de modelado 3D. Una de las técnicas más poderosas y comúnmente usadas es la de proyección de franjas [1], [2], [3], [4]. En forma genérica, un sistema de medición por proyección de franjas se basa en la utilización de una cámara CCD y un proyector digital como se puede ver en la figura 1. La técnica consiste en obtener una o varias imágenes de franjas proyectadas sobre el objeto a medir, para llevar a cabo un proceso de cálculo de fase, la cual, está relacionada proporcionalmente a la profundidad del objeto a medir. Debido a que la relación fase-profundidad depende de la geometría del sistema, es necesario implementar una técnica de calibración, para poder obtener medidas reales. En la literatura, existe diversidad de técnicas de calibración para este tipo de sistemas [5], [6]. Comúnmente requieren del uso de complicadas herramientas matemáticas y un alto costo computacional. En este trabajo se presenta un método simple y efectivo, basado en un ajuste polinomial por mínimos cuadrados que, puede ser viable para ser usado en muchos casos en los que no se requiere de gran precisión en la medición.

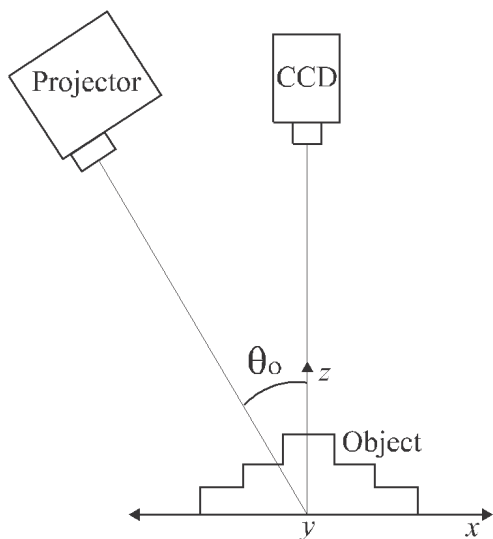


Figura 1. Sistema de visión para medición 3D por proyección de franjas.



Figura 2. Proyección de franjas sobre un objeto.

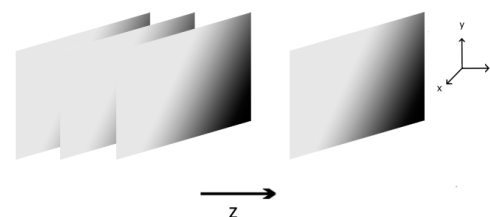


Figura 3. Medición de w en diferentes planos perpendiculares al eje.

MATERIALES Y MÉTODOS

A. Sistema de Visión

El sistema de medición tridimensional por proyección de franjas consiste en un arreglo experimental conformado por una cámara CCD, un proyector LCD y una computadora de uso convencional para el procesamiento de los datos. Entre los ejes ópticos de la cámara y el proyector existe un ángulo como se muestra en la figura 1. Cuando éste se aumenta, la sensibilidad del sistema de medición incrementa, empero, hay que tomar en cuenta que al aumentar dicho ángulo entre los ejes ópticos, se ve reducido el campo de visión para valores válidos y crece la presencia de sombras causando ruido en el sistema. La figura 2 es un ejemplo de imagen de franjas proyectadas sobre un objeto obtenida mediante un sistema de este tipo.

B. Cálculo de Fase y Calibración Axial

La técnica de cálculo de fase usada para este trabajo es la reportada por Huntley et al. [3], la cual consiste en variar temporalmente y de forma exponencial la frecuencia de las franjas proyectadas; para cada valor de frecuencia se generan cuatro patrones desplazados en fase, con el fin de calcular la variación de la fase $\Delta q(t)$ con respecto al tiempo de forma independiente en cada pixel de la imagen. Una vez que se obtienen los valores de $\Delta q(t)$ para cada valor de t en

la secuencia se lleva a cabo una integración discreta y un ajuste a una línea recta $q(t) = wt + \Xi$ por mínimos cuadrados (para detalles vease [3]).

Considérese que al intentar medir la profundidad de un objeto, se obtiene un campo de $w(x,y)$ mediante la técnica descrita en [3], donde (x,y) representan las coordenadas de la imagen. Lo que se pretende ahora, es obtener la distribución de profundidad $z(x,y)$ del objeto a partir de $w(x,y)$. Para describir de forma simplificada la técnica de calibración, en adelante omitiremos las coordenadas (x,y) . La calibración del sistema, se lleva a cabo usando valores de w en cada pixel haciendo incrementos de profundidad (z), mediante un plano que se desplaza sobre un riel graduado como se muestra esquemáticamente en la figura 3.

Dada una serie de datos obtenidos de forma experimental en una serie de planos para diferentes valores de z , en cada pixel, donde cada valor de w_i asume su respectivo valor tabulado en z_i ; se desea hacer una aproximación polinomial por mínimos cuadrados del conjunto de datos (z_i, w_i) , $i = 1, 2, \dots, m$. Para el ajuste de estos datos a un polinomio $z_m(w) = \sum_{k=0}^m a_k w^k$ de grado $n < m - 1$ necesario obtener las constantes a_0, a_1, \dots, a_m que minimizan el error cuadrático

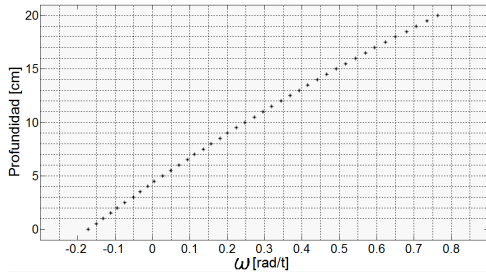


Figura 4. Relación w -profundidad para un conjunto de planos medidos en un pixel fijo.

definido por

$$E = \sum_{i=1}^m (z_i - z(w_i))^2. \quad (1)$$

Para minimizar E es necesario que $\partial E / \partial a_j = 0$ para $j = 0, 1, \dots, n$. Esto es

$$\frac{\partial E}{\partial a_j} = -2 \sum_{i=1}^m z_i w_i^j + 2 \sum_{k=0}^n a_k \sum_{i=1}^m w_i^{j+k} = 0. \quad (2)$$

Esto resulta en $n + 1$ ecuaciones normales en las $n + 1$ incógnitas a_j ,

$$\sum_{k=0}^n a_k \sum_{i=1}^m w_i^{j+k} = \sum_{i=1}^m z_i w_i^j. \quad (3)$$

La calibración en el sistema de visión se ha implementado usando los valores de w en cada pixel y sus respectivos incrementos en la profundidad, tomando como referencia un plano montado sobre un riel graduado, su posición inicial con $z = 0$ cm hasta una profundidad máxima predefinida y con incrementos también predefinidos.

Ejemplo de la relación que existe entre w y z a lo largo de todo un historial de datos capturados en forma experimental para un pixel fijo se muestra en la figura 4.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación mostramos los resultados obtenidos de dos experimentos con la técnica de calibración aquí propuesta. El primero de ellos, se realizó con un objeto en forma de toroide, cuyos resultados de medidas reales se muestran en la figura 5. Un perfil sobre una línea vertical de la distribución de profundidad del mismo objeto, se muestra en la figura 6.

El segundo experimento, se llevó a cabo con la cabeza de un maniquí como el que se muestra en la figura 2. La distribución de medidas reales de profundidad del objeto es

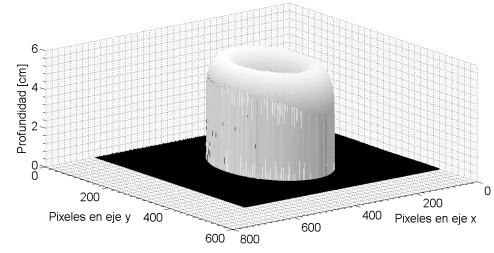


Figura 5. Distribución de profundidad de un objeto 3D en forma de toroide.

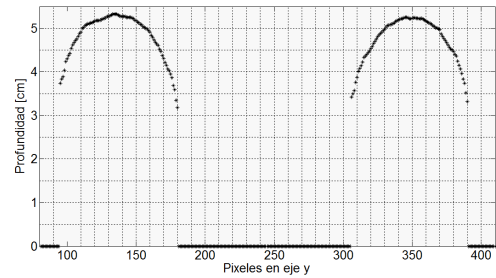


Figura 6. Perfil de profundidad de un objeto 3D en forma de toroide.

mostrada en la figura 7, mientras que un perfil sobre una línea vertical del mismo objeto se muestra en la figura 8. En todos los experimentos realizados se llevó a cabo la calibración usando el ajuste por mínimos cuadrados a un polinomio de quinto grado. Como se puede ver en la figura 4, la variación de z con respecto a w es casi lineal, por lo tanto, encontramos suficiente modelar dicho comportamiento con un polinomio de grado cinco.

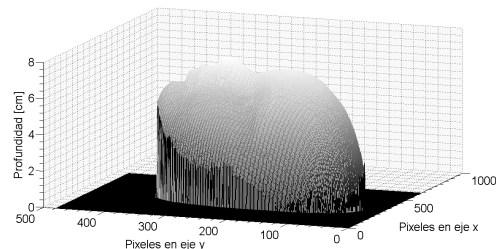


Figura 7. Distribución de profundidad de un objeto 3D en forma de maniquí.

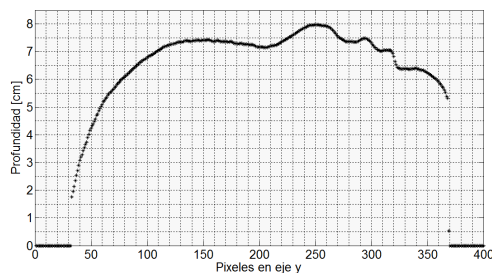


Figura 8. Perfil de topografía de la profundidad de un objeto 3D en forma de maniquí.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El comportamiento de la relación w -profundidad son independientes para cada pixel, por lo que la calibración se realiza en cada pixel obteniendo coeficientes polinomiales únicos para cada uno de ellos. En la medición de la profundidad de un objeto 3D, se usa la w obtenida para evaluarse con los coeficientes propios de cada pixel, generando medidas muy aproximadas a las reales. Hablando del costo computacional, durante la obtención del conjunto de coeficientes tarda aproximadamente 15 minutos, sin embargo, hay que tomar en cuenta que esta operación se realiza en cada pixel en una imagen con tamaño de 640 x 480 píxeles, tomando en cuenta que la calibración sólo se realiza una vez para un número indefinido de mediciones puede concluirse, que la técnica de calibración aquí propuesta, es fácil de implementar y rápida desde el punto de vista computacional. Actualmente está en proceso de realizarse un estudio de precisión para la implementación de esta técnica. Ésta, será viable para utilizarse en mediciones que no requieren de extrema precisión. Como trabajo futuro, se pretende continuar con la calibración del sistema en el plano x - y para obtener una correspondencia como la anterior en la altura y anchura de los píxeles; esto permitirá tener una reconstrucción total del volumen. También se desea desarrollar un sistema de control con el riel calibrado, para hacer automáticos los movimientos del plano en el proceso de calibración del sistema de visión. Por último, se buscará implementar un sistema automático rotatorio, para que de este modo el objeto montado sobre éste pueda ser medido sobre todo su volumen.

Bibliografía

- [1] M. Takeda and Kazuhiro Mutoh, Fourier transformometry for the automatic measurement of 3-D object shapes, *Appl. Opt.* 22(24), 3977-3982 (1983). p. 23-26, (1984).
- [2] J. Villa, M. Servín and L. Castillo, Profilometry for the measurement of 3-D object shapes based on regularized filters, *Opt. Comm.* 161, 13-18, (1999).
- [3] J. M. Huntley and H. O. Saldner, Error reduction methods for shape measurement by temporal phase unwrapping, *JOSA A* 14(12), 3188-3196 (1997).
- [4] Fiona Berryman, Paul Pynsent and James Cubillo, A theoretical comparison of three fringe analysis methods for determining the three-dimensional shape of an object in the presence of noise, *Opt. Las. Eng.* 39, 35-50 (2003).
- [5] R. Legarda, T. Bothe and W. P. Jüptner, Accurate procedure for the calibration of a structured light system, *Opt. Eng.* 43(2), 464-471 (2004).
- [6] H. Liu, W. Su, K. Reichard and S. Yin, Calibration-based phase-shifting projected fringe profilometry for accurate absolute 3D surface profile measurement, *Opt. Comm.*, 216, 165-80 (2003).

Acerca del autor o autores

Marvin Ortiz, Jesús Villa y Efrén Gonzalez, Laboratorio de Procesamiento Digital de Señales, U. A. de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas ZAC-98000. TEL: +(492)9239407, ext. 169 correo-e: acoswt@hotmail.com