



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**



**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL**



005399

**TEMA:**

**DISEÑO DE UNA MESA "XY-R" PARA DIGITALIZACIÓN  
3D DE SÓLIDOS**

**POR**

**M. C. ANGEL ROLANDO RIVAS VELÁZQUEZ**

**SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN JULIO DE 2006.**

# ÍNDICE

<b>Tema</b>	<b>Página</b>
<b>1 Información del proyecto</b>	<b>1</b>
1.1 Título del Proyecto	1
1.2 Duración del Proyecto	1
1.3 Área de Investigación	1
1.4 Responsable	1
1.5 Grado Académico	1
<b>2 Resumen</b>	<b>2</b>
<b>3 Introducción</b>	<b>4</b>
<b>4 Antecedentes</b>	<b>5</b>
<b>5 Objetivos y Metas</b>	<b>5</b>
<b>6 Limitación</b>	<b>5</b>
<b>7 Metodología</b>	<b>6</b>

<b>8 Infraestructura</b>	<b>8</b>
<b>9 Justificación Financiera de los Requerimientos</b>	<b>9</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>10</b>
<b>Anexo A</b>	<b>11</b>

## **1 INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

### **1.1 TÍTULO DEL PROYECTO**

Diseño de una Mesa "XY-R" para digitalización 3D de Sólidos.

### **1.2 DURACIÓN DEL PROYECTO**

4 a 6 semanas.

### **1.3 ÁREA DE INVESTIGACIÓN**

Laboratorio de Modelación y Simulación.

### **1.4 RESPONSABLE**

Jesús Carlos Pedraza Ortega.

### **1.5 GRADO ACADÉMICO**

Doctor.

## 2. RESUMEN

La idea de este proyecto nació de la necesidad que se tiene por la digitalización 3D de sólidos proyectos universitarios y de las pérdidas de tiempo y de material que se producen en el momento de la elaboración y análisis en piezas. Por otro lado, sólo existe un par de máquinas para realizar el mismo trabajo, que lleva a los estudiantes y entusiastas de la modelación y simulación a realizar manualmente estos trabajos.

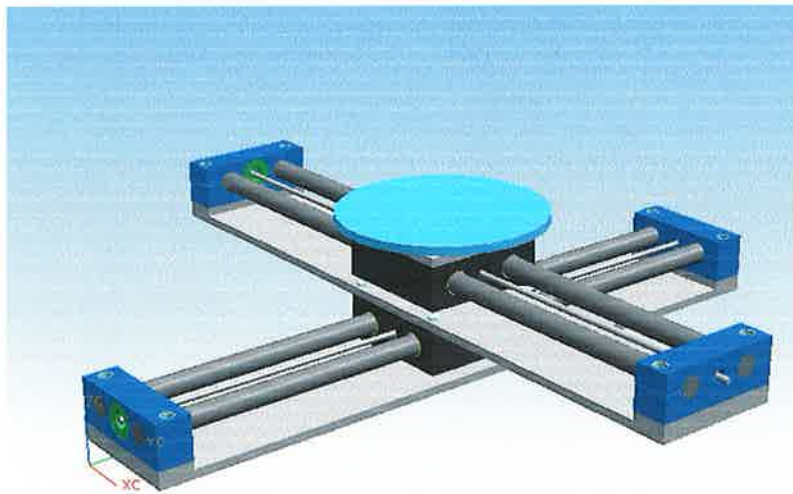


Figura 1. Mesa "XY-R"

Con la realización de este trabajo queremos comprobar la factibilidad para elaborar este tipo de mesas, a partir de un diseño realizado en algún programa comercial y materiales disponibles en el mercado local. Se utilizó una máquina para los trabajos de la fabricación, que nos permitió un mejor aprovechamiento del tiempo para realizar otras tareas, así como de los materiales para no llegar a reportar pérdidas.

Para el control se ha utilizado la programación en LabView, que es una de las herramientas más potentes de programación para control de sistemas electrónicos. A diferencia de los demás lenguajes de programación, LabView utiliza el lenguaje gráfico para aumentar la facilidad de la creación de código por medio de bloques interconectados. El funcionamiento de este tipo de máquinas no es más que un posicionamiento en el plano XY de una herramienta, así como también el posicionamiento en la rotación de una pieza sólida. Debido a que es un posicionamiento y que se utilizan normalmente motores de pasos, no existe retroalimentación de la posición, lo que llevaría a hacer una calibración previa del sistema. Si se utiliza un motor de DC, se necesita de un encoder que proporciona información del desplazamiento, y por último si se ocupa un servo-motor se necesitaría utilizar el encoder que tiene integrado.

Para el siguiente análisis se ha tomado en cuenta todos los requerimientos de dicho sistema, desde su ensamblaje, implementación, costo económico y humano para llevarlo a cabo. Además de la capacidad obtenida del sistema, tomando en cuenta la velocidad y exactitud.

### 3 INTRODUCCIÓN

En el siguiente diagrama se muestra los pasos que se siguieron para realizar el diseño de este proyecto.



#### **4 ANTECEDENTES**

Se tomo como referencia la creación de algunas mesas "XY", existentes en el mercado, así como también, algunos prototipos que ya habían sido diseñados para ser utilizados de otra forma.

Algunas piezas que se emplearon se buscaron en el mercado para analizar su funcionalidad en este tipo de mesa, es decir, se analizaron parte por parte y se busco el mejor acomodo para que pudiera realizar lo que se requería para su funcionamiento.

#### **5 OBJETIVOS Y METAS**

Desarrollar un prototipo de una mesa "XY" con rotación y un control básico como auxiliar en la digitalización tridimensional de sólidos, para su posterior análisis utilizando procesamiento digital de imágenes.

#### **6 LIMITACIÓN**

Este proyecto se limitara al diseño de una mesa "XY" con rotación para posicionar un objeto en el plano XY y además de tener la posibilidad de efectuar una rotación en su eje, con este movimiento se puede aplicar algunas técnicas de digitalización 3D, de donde se obtendrá la forma digitalizada de un sólido, utilizando algoritmos de procesamiento de las imágenes obtenidas.



Las otras partes en la cual se limitara el trabajo son:

- Peso de la mesa.
- Área de trabajo.
- Transportación.
- Ensamble.
- Capacidad de movimiento en sus ejes.
- Velocidad de respuesta de los motores.
- Exactitud de lo motores.

005399

## **7 METODOLOGÍA**

Investigar los diferentes tipos que existen de mesas para digitalización tridimensional, así como al mismo tiempo analizar su funcionamiento con los dispositivos ya existentes en el mercado.

De esta manera se analizara la manera de realizar el diseño el cual se realizara en varias etapas las cuales son:

- Investigar en la literatura existente, así como al mismo tiempo en Internet para analizar las diferentes formas existentes.
- Mostrar dichas investigaciones al Dr. Jesús Carlos Pedraza Ortega, para analizar el diseño que más convenga.

- Diseñar las partes a emplear; en este punto ya existen algunas piezas diseñadas, de tal forma que se analizaran si se pueden emplear, de lo contrario se realizara el dibujo de la pieza que se requiere, utilizando los software que se vieron en el curso de la Especialidad de Tecnólogo en Mecatrónica, en el modulo de Diseño, Análisis y Manufactura por Computadora.
  
- Al terminar los dibujos, se pasara a realizar un ensamble con las piezas que se tienen, para ver si cumple con el cometido de su diseño, de lo contrario, se realizaran modificaciones para llegar al producto deseado.
  
- Una vez aprobado el diseño, se procederá a pedir cotización de las piezas que ya se encuentren manufacturadas o fabricadas (la cotización se realizara por medio del departamento de compras del CIDESI) y al mismo tiempo se analizaran aquellas piezas que se puedan realizar dentro del Instituto.
  
- Para hacer un análisis y comprobar que se tiene un buen funcionamiento del diseño seleccionado, se ha tomado la decisión de fabricar un prototipo el cual constara de partes de impresoras, formando la base, paredes y mesas para su movimiento de acrílico de 6 milímetros de espesor. El desarrollo de un prototipo es importante debido a que se adquirirá experiencia y conocimiento en los requerimientos reales del diseño final.

También se hará un análisis de los posibles inconvenientes que se tendrán como es la fuente de alimentación, el tipo de programación, los elementos necesarios para el control y movimiento (motores principalmente).

- Contando con las piezas reales (las cuales se tardaran aproximadamente 2 meses en ser surtidas al CIDESI), se procederá a su armado, así mismo se realizara el control para los movimientos de dicha mesa los cuales serán en los ejes "X", "Y" y también un eje de rotación.

## **8 INFRAESTRUCTURA**

Este proyecto se realizo en las Instalaciones del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), en la Unidad de Investigación y Posgrado en particular en el Laboratorio de Modelación y Simulación.

En el laboratorio se trabaja en las líneas de investigación relacionadas con; Realidad Virtual, Modelación y Simulación, Procesamiento de Imágenes, Instrumentación Virtual, Electrónica y Reconstrucción 3D. Se tiene equipo básico como; PC de escritorio, equipo básico de Óptica, equipo de Realidad Virtual (casco inmersivo, guantes y sensores de posición y orientación), joysticks, fuente de alimentación, circuitos y dispositivos electrónicos, tarjetas de adquisición de datos y procesamiento de imágenes de la empresa NI, software de desarrollo como MATLAB, Visual C++, Java y LabView.

## **9 JUSTIFICACIÓN FINANCIERA DE LOS REQUERIMIENTOS**

En la justificación financiera de este proyecto se trabajo en forma independiente, por tal motivo no se cuenta con la cifra del costo de este proyecto.

Si se requiere este tipo de información hay que pedir autorización a la institución para obtener esta documentación.

## BIBLIOGRAFÍA

<http://www.igus.com/>

<http://www.directindustry.es/prod/danaher-motion/platina-xy-con-motores-lineales-9036-55760.html>

Jesús Carlos Pedraza Ortega. *Image Processing for Real World Representation Using Depth From Focus Criteria*, Marzo 2002.

Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins. *Digital Image Processing Using MATLAB*, Pearson Prentice Hall, 2004.

Giovanni Alessandro Forte Véliz, *Control básico de una mesa XY utilizando LabView 7.0 aplicado a fabricación de tarjetas impresas para circuitos de potencia*, Guatemala 2005.

## **ANEXO A**

# 3D Digitizer using a Modified Fourier Transform Profilometry Method

J. Carlos Pedraza, Angel Rivas Velazquez, Jesus Espinoza Puebla, and J. Wilfrido Rodriguez

**Abstract**—In this paper we propose a new method for the 3D reconstruction using a modified Fourier Transform Profilometry method. First, a sinusoidal fringe pattern of known spatial frequency is projected to a reference frame and one image is acquired. Later, an object of unknown shape is placed on the reference frame, the same fringe pattern is projected and the other image is obtained. The fringe pattern is distorted due to the irregular shape of the object. Then a modified Fourier Transform Profilometry method is applied to both acquired images. The digitized images contains the (x,y) pixels of the object including the fringe pattern, and the phase difference between the acquired images contains the z (height or depth) information. The novelty in the proposed method comes in the part of the unwrapping algorithm at the moment of obtaining the depth information.

**Keywords**—Unwrapping algorithms, 3D reconstruction, Fourier Transform Profilometry.

## I. INTRODUCTION

In the past 30 years, an important area of research in Computer Vision has been the inference of the 3D information about a scene from its 2D images. The idea is to extract the useful depth information from an image in a efficient and automatic way. The obtained information can be used to guide various processes such as robotic manipulation, automatic inspection, inverse engineering, 3D depth map for navigation and virtual reality applications [1]. Depending on the application, a simple 3D description is necessary to understand the scene and perform the desired task, while in other cases a dense map or detailed information of the object's shape is necessary. Moreover, in some cases a complete 3D description of the object may be required. Today, the three-dimensional shape of an object can be obtained in different ways. In 3D machine vision can be classified in two categories; Active and Passive Methods, which can be also classified as contact and non contact methods. The active methods project energy in the scene and detect the reflected energy; some examples of these methods are sonar, laser ranging, fringe projection and structured method. The active methods work based on triangulation. On other hand, the passive methods use ambient illumination during data acquisition; some examples of this methods are motion parallax, shape from shading, stereo vision, depth from defocus and depth from focus. In the present work we are working with an active method called the Fourier Transform Profilometry, which will be explained in the next section.

## II. FOURIER TRANSFORM PROFILOMETRY

The image of an object with projected fringes can be represented by the following equation:

$$g(x, y) = a(x, y) + b(x, y) * \cos[2\pi f_0 + \varphi(x, y)] \quad (1)$$

Where  $g(x, y)$  is the intensity of the image at  $(x, y)$  point,  $a(x, y)$  represents the background illumination,  $b(x, y)$  is the contrast between the light and dark fringes,  $f_0$  is the spatial-carrier frequency and  $\varphi(x, y)$  is the phase corresponding to the distorted fringe pattern, observed from the camera. The experimental setup will be explained in the next section. Here is important to mention that  $\varphi(x, y)$  contains the desired information, and  $a(x, y)$  and  $b(x, y)$  are unwanted irradiance variations. In most cases  $\varphi(x, y)$ ,  $a(x, y)$  and  $b(x, y)$  vary slowly compared with the spatial-carrier frequency  $f_0$ . Then,  $\varphi(x, y)$  is the phase shift caused by the object surface end the angle of projection, and its expressed as:

$$\varphi(x, y) = \varphi_0(x, y) + \varphi_z(x, y) \quad (2)$$

Where  $\varphi_0(x, y)$  is the phase caused by the angle of projection corresponding to the reference plane, and  $\varphi_z(x, y)$  is the phase caused by the object's height distribution.

Considering the figure 1, we have a fringe from the from a projector, which reaches the object point H and will cross the reference plane at the point C. The fringe then can be seen at the point F by the camera, and therefore the phase change caused by the object's shape is given by:

$$\varphi_z(x, y) = 2\pi f_0 CF \quad (3)$$

By observation, the triangles  $D_pHD_c$  and  $CHF$  are similar and

$$\frac{CD}{-h} = \frac{d_0}{l_0} \quad (4)$$

Leading us to the next equation:

$$\varphi_z(x, y) = \frac{h(x, y)2\pi f_0 d_0}{h(x, y) - l_0} \quad (5)$$

Where the value of  $h(x, y)$  is measured and considered as positive to the left side of the reference plane. The previous equation can be rearranged to express the height distribution as a function of the phase distribution:

$$h(x, y) = \frac{l_0 \varphi_z(x, y)}{\varphi_z(x, y) - 2\pi f_0 d_0} \quad (6)$$

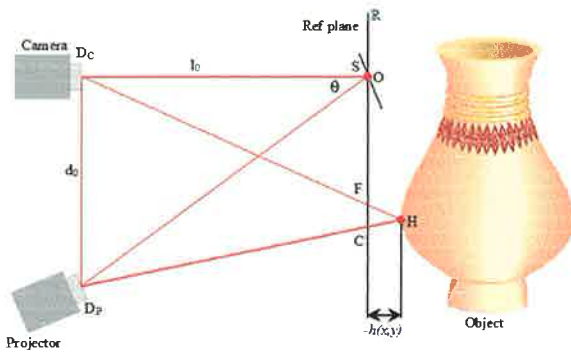


Fig. 1. Experimental setup

### A. Fringe analysis

The equation 1 can be rewritten as:

$$g(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n r(x, y) \exp(in\varphi(x, y))^* \exp(i2\pi n f_0 x) \quad (7)$$

where  $r(x, y)$  is the reflectivity distribution on the diffuse object [3, 4]. Then, a FFT (Fast Fourier Transform) is applied to the signal for in the x direction only. Notice that even y is fixed, the same procedure will be applied for the number of y lines in both images. Therefore, we can get:

$$G(f, y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} Q_n(f - n f_0, y) \quad (8)$$

Now, we can observe that  $\varphi(x, y)$  and  $r(x, y)$  vary very slowly in comparison with the fringe spacing, then the  $Q$  peaks in the spectrum are separated each other. The next step is to remove all the signals with exception of the positive fundamental peak  $f_0$ . Later, the IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) is applied in the x direction only, same as the FFT. The obtained equations for the reference and the object are given by:

$$\begin{aligned} \hat{g}(x, y) &= A_1 r(x, y) \exp\{i(2\pi f_0 x + \varphi(x, y))\} \\ \hat{g}_0(x, y) &= A_1 r_0(x, y) \exp\{i(2\pi f_0 x + \varphi_0(x, y))\} \end{aligned} \quad (9)$$

By multiplying the  $\hat{g}(x, y)$  with the conjugate of  $\hat{g}_0(x, y)$ , and separating the phase part of the result from the rest we obtain:

$$\begin{aligned} \varphi_z(x, y) &= \varphi(x, y) + \varphi_0(x, y) = \\ &= \text{Im}\{\log(\hat{g}(x, y)\hat{g}_0^*(x, y))\} \end{aligned} \quad (10)$$

From the above equation, we can see that the phase map can be obtained by applying the same process for each horizontal line. The values of the phase map are wrapped at some specific values. Those phase values range between  $\pi$  and  $-\pi$ .

Therefore, the next step is to apply some phase unwrapping algorithms. The whole methodology is described in figure 2.

The phase unwrapping consist of locating discontinuities of magnitude close to  $2\pi$ , and then depending on the phase change we can add or subtract  $2\pi$  according to the sign of the phase change. There are various methods for phase unwrapping, and the important thing to consider here is the abrupt phase changes in the neighbor pixels. There are a number of  $2\pi$  phase jumps between 2 successive wrapped phase values, and this number must be determined. This number depends on the spatial frequency of the fringe pattern projected at the beginning of the process. This step is the modified part in the Fourier Transform Profilometry and represents the major contribution of this work. Another thing to consider is to carry out a smoothing before the doing the phase unwrapping, this procedure will help to reduce the error produced by the unwanted jump variations in the wrapped phase map. Some similar methods are described in [5].

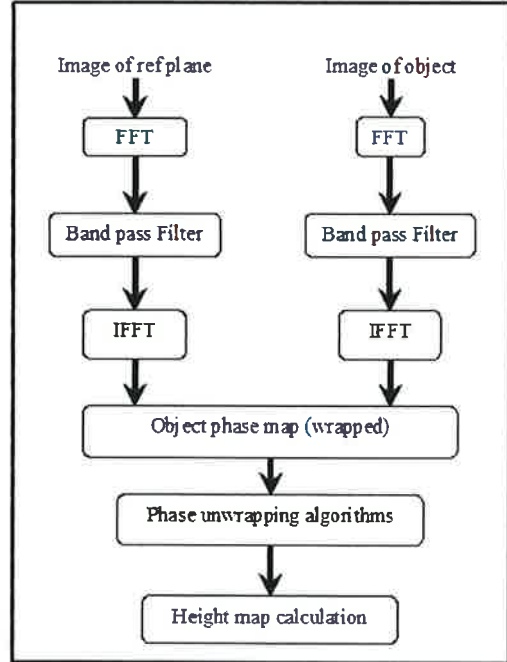


Fig. 2. Fourier Transform Profilometry modified method

### III. EXPERIMENTAL RESULTS.

To apply the proposed methodology, we implement an experimental setup like the one described in figure 1. A structured light fringe pattern is projected using a high resolution video projector and a digital CCD camera. As the reference plane we use a whiteboard covered with non-reflecting paper to avoid the unwanted reflections that affect the system. As an object, we tried 2 objects; a piece of metal with a triangular shape and a thermal coffee glass.



To create a different fringe pattern, a GUI created in MATLAB was used like the one projected on figure 3.



Fig. 3. Fringe Pattern GUI in MATLAB

As an example of one object, we can see on figures 4 and 5 the reference pattern projected on a plane and the same pattern projected on the object.

It can be observed that the number of fringes are 13.



Fig. 4. Fringe Pattern projected on a reference plane

Applying the modified Fourier Transform Profilometry we can obtain the fourier spectra corresponding to the respective images on figure 6 and 7. Also can be observed that the  $f_0$  frequency is at 13 pixels from the center of the spectra. Also is clear that in the positive part of the spectra, the first frequency  $f_0$  the variation is higher than on the other frequencies ( $2f_0, 3f_0$  etc.), and also the unwanted background variation located on the origin is separated. The same pattern applies for the negative values of  $f_0$ . The  $f_0$  frequency then is selected on both images to perform the filtering process that will be applied in the next step.

Once the filter is applied to the images, a IFFT algorithm is used to return to the spatial domain. Then the conjugate of the object filtered spectra obtained after the IFFT process is used to have the phase difference together with the corresponding

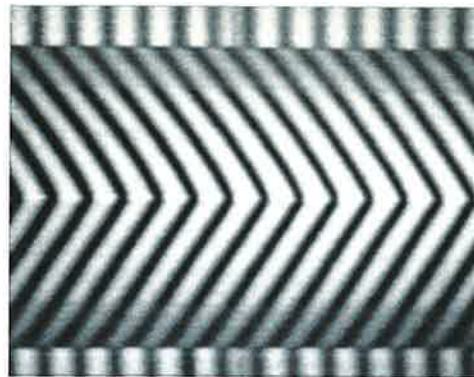


Fig. 5. Fringe Pattern projected on an object to digitize

part of the object. The result is a wrapped phase map. On figure 8 we can observe the wrapped depth map before applying the unwrapped algorithm. Notice that there are various 2 phase jumps along the x-axis.

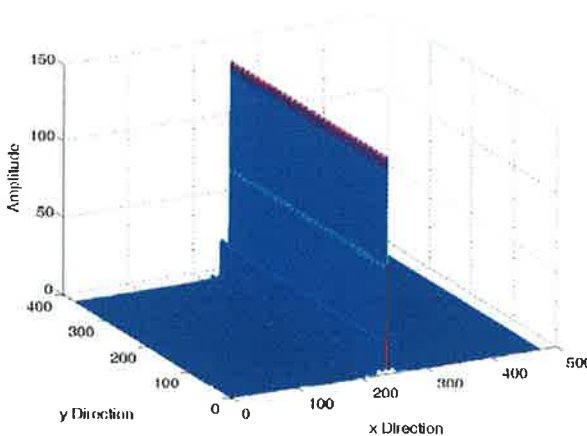


Fig. 6. Fourier spectra on reference plane

Finally on figure 9, the results of the 3D reconstruction process are presented. We can see clearly the shape of the object as well as the depth. Here is important to mention that all the programming was made in MATLAB.

#### IV. CONCLUSIONS AND FUTURE WORKS

An modified Fourier Transform Profilometry method has been presented to improve the 3D reconstruction of objects, by modifying the unwrapping algorithms.

This kind of methodology could be used to digitize various objects in order to use them for future applications such as simulation, reverse engineering, virtual reality, 3D navigation depth map and so on.

As future work, a xy-r table is being constructed to obtain a full (360 degrees) 3D reconstruction.

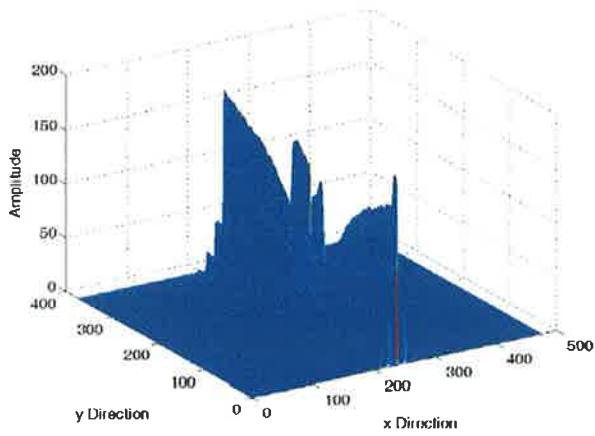


Fig. 7. Fourier spectra on the object to digitize

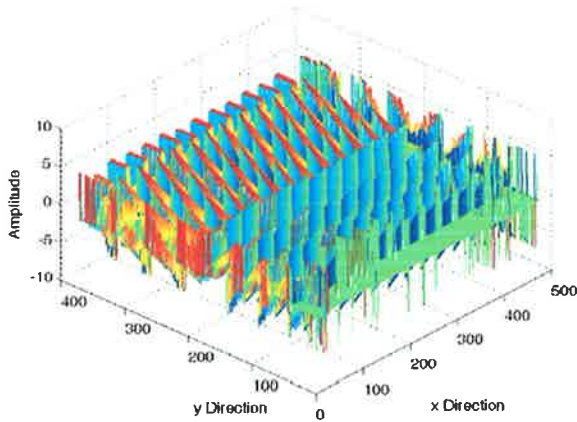


Fig. 8. Wrapped Phase map

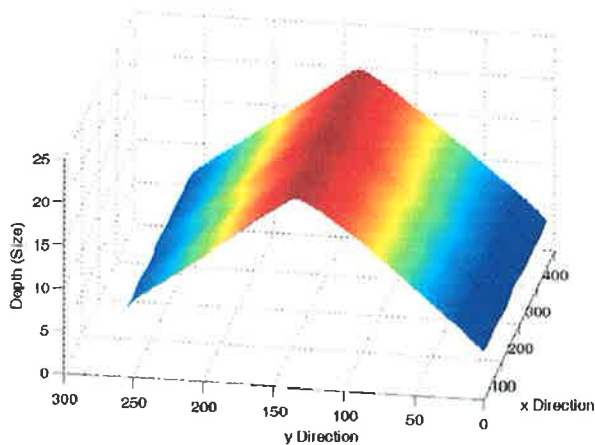


Fig. 9. Wrapped Phase map

Another challenge is to improve the speed of the algorithm in order to use the digitizer as close as possible to real time. One solution is to use an optical filter to obtain the FFT directly.

Also there is the possibility of improve the results by applying an interpolation method like the splines or b-splines [6].

#### REFERENCES

- [1] Mats Gokstorp, "Depth Computation in Robot Vision", Ph.D. Thesis, Department of Electrical Engineering, Linkoping University, S-581 83 Linkoping, Sweden, 1995.
- [2] Pedraza Ortega, Jesus Carlos, "Image Processing for Real World Representation Using Depth From Focus Criteria", Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Tsukuba, 2002.
- [3] Mitsuo Takeda, Hideki Ina and Seiji Kobayashi, "Fourier-Transform method of fringe pattern analysis for computed-based topography and interferometry". J.Opt. Soc.Am. Vol. 72, No.1, pp. 156-160, January 1982.
- [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". Optics and Lasers in Engineering. Vol. 39, pp. 35-50, 2003.
- [5] Pramod K. Rastogi, "Digital Speckle Pattern Interferometry and related Techniques". Edit. Wiley, 2001.
- [6] J. A. Soto Cajiga, J. E. Vargas Soto, J. C. Pedraza Ortega, "Generacin de trayectorias para un robot manipulador utilizando procesamiento de imagenes y splines", Segundo Congreso Internacional de Ingeniera, Marzo de 2006, Quertaro Qro. ISBN 968-845-296-3.