

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN

MASTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER N° 3115008

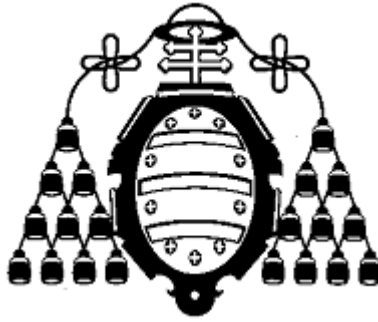
**INTEGRACIÓN DE UNA CÁMARA CONOSCÓPICA EN UNA MÁQUINA
DE MEDIR COORDINADAS PARA LA VERIFICACIÓN SIN CONTACTO
DE PATRONES GEOMÉTRICOS**

Junio de 2011

ALUMNO: Hoàng Vĩnh Hưng

TUTOR: Gonzalo Valiño Riestra

COTUTOR: Ignacio Álvarez García



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN

MASTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER Nº 3115008

INTEGRACIÓN DE UNA CÁMARA CONOSCÓPICA EN UNA MÁQUINA DE MEDIR COORDINADAS PARA LA VERIFICACIÓN SIN CONTACTO DE PATRONES GEOMÉTRICOS

Junio de 2011

Hoàng Vĩnh Hưng

Gonzalo Valiño Riestra

Ignacio Álvarez García

Alumno

Tutor IPF

Cotutor ISA

RESUMEN

La Holografía Conoscópica (HC) es una técnica de interferometría láser que en los últimos años ha venido aplicándose con éxito en entornos industriales, principalmente en tareas de verificación *on-line* de productos. Esta tecnología permite el digitalizado de superficies sin contacto de forma rápida y con alta precisión, obteniendo nubes de puntos que permiten llevar a cabo tanto la representación de la pieza como su verificación dimensional. Frente a otras técnicas de verificación sin contacto, tales como las de triangulación láser, presenta un conjunto de ventajas que convierten a la HC en una técnica de verificación emergente en el campo de la metrología industrial. Estas ventajas se resumen a continuación:

- Para una misma profundidad de campo, mejora de 5 a 10 veces la precisión y repetibilidad
- Presenta un buen comportamiento para diferentes tipos de materiales, tales como metales, materiales brillantes o incluso translúcidos
- Permite medir superficies con un ángulo de incidencia del láser hasta de 85° con respecto a la normal a la superficie
- Una misma cámara conoscópica puede utilizar ópticas distintas para adaptarse a varias profundidades de campo (0,6 mm a 120 mm), con precisiones desde menos de 1 μm hasta 60 μm , respectivamente
- Al tratarse de un sistema colineal, es posible acceder a geometrías complicadas, tales como agujeros o cavidades estrechas, tan sólo utilizando sistemas simples de redirección de la luz.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, en este Trabajo Fin de Máster se describen los pasos y tareas desarrolladas para la integración de un sensor conoscópico en una máquina de medir por coordenadas (MMC, modelo DEA Swift). Dicha integración comienza con el diseño, fabricación y ajuste de un utillaje para la instalación del sensor en la máquina. A continuación se realiza la conexión del sensor con el control de la máquina, gestionando ambos de forma coordinada desde un software de control desarrollado *ad hoc* en Visual Basic 6. Estas rutinas de control permiten llevar a cabo no solo el movimiento de la máquina y la adquisición de medidas con el sensor, sino también la calibración y ajuste del mismo respecto al origen de coordenadas de la MMC. En el proyecto se proponen y evalúan varios procedimientos de calibración, proponiendo un método optimizado. Finalmente, se realizan pruebas de medición sobre patrones geométricos que permiten caracterizar la precisión que presenta el sensor una vez instalado en la máquina de coordenadas. De los resultados obtenidos se infiere que la técnica es apropiada para la verificación de geometrías características de las piezas mecánicas con una precisión similar a las adquiridas con las técnicas de contacto.

PALABRAS CLAVE

Holografía Conoscópica - Calibración - Máquinas de Medir por Coordenadas (MMC)

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.2	ESTRUCTURA DEL TRABAJO	3
2	ESTADO DEL ARTE	5
3	DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA.....	7
3.1	MÁQUINA DE MEDIR POR COORDENADAS	7
3.1.1	<i>Morfología de la máquina.....</i>	7
3.1.2	<i>Características técnicas de la máquina</i>	8
3.1.3	<i>Control de la MMC con la API del PC-DMIS</i>	8
3.2	CONO PROBÉ MARK III	11
3.2.1	<i>Descripción de la tecnología.....</i>	11
3.2.2	<i>Características del sensor ConoProbe MKIII.....</i>	13
3.2.3	<i>Gestión del sensor ConoProbe MKIII mediante programación.....</i>	14
3.2.4	<i>Procedimiento de utilización del sensor ConoProbe MKIII</i>	15
3.2.5	<i>Influencia de la superficie en el comportamiento del sensor</i>	16
3.3	Lenguaje de desarrollo: VISUAL BASIC 6.....	17
4	CALIBRACIÓN	18
4.1	CONCEPTO DE CALIBRACIÓN DEL SENSOR	18
4.2	CALIBRACIÓN CON POLIEDRO	19
4.3	CALIBRACIÓN CON ESFERA.....	21
5	DISEÑO DEL HARDWARE	24
5.1	DISEÑO MECÁNICO	24
5.1.1	<i>Requisitos de diseño</i>	24
5.1.2	<i>Dimensiones del ConoProbe MKIII</i>	24
5.1.3	<i>Diseño del soporte para el sensor ConoProbe MKIII.....</i>	26
5.2	CONEXIÓN ELECTRÓNICA	30
5.2.1	<i>Requisitos del sistema</i>	30
5.2.2	<i>Conexión del sensor ConoProbe MKIII.....</i>	30
5.2.3	<i>Configuración de la comunicación</i>	31
6	DISEÑO DE SOFTWARE	32
6.1	REQUISITOS DEL SOFTWARE DE CONTROL	32
6.1.1	<i>Requisitos funcionales.....</i>	32
6.1.2	<i>Requisitos No funcionales</i>	36
6.2	ARQUITECTURA SOFTWARE DISEÑO	37
6.2.1	<i>Supuestos iniciales</i>	37
6.2.2	<i>Diseño sistema</i>	38
6.2.3	<i>Diseño de interfaz de software</i>	39
6.2.4	<i>Descomposición del sistema.....</i>	40
6.2.5	<i>Diseño de Componentes.....</i>	42
7	PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS RESULTADO.....	55
7.1	PROCEDIMIENTO Y RESULTADO DE CALIBRACIÓN	55
7.1.1	<i>Calibración con poliedro</i>	55
7.1.2	<i>Calibración con esfera.....</i>	60
7.1.3	<i>Comparación de la calibración con poliedro y con esfera</i>	64
7.1.4	<i>Parámetros de influencia en la calibración con esfera.....</i>	64

7.2	PROCEDIMIENTO Y RESULTADO LA MEDICIÓN UN PATRÓN	76
7.2.1	<i>Procedimiento</i>	76
7.2.2	<i>Comparación entre la medición por contacto y por HC</i>	76
8	CONCLUSIONES	78
8.1	RESUMEN DEL TRABAJO	78
8.2	TRABAJOS FUTUROS.....	78
9	PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO	79
9.1	PLANIFICACIÓN	79
9.1.1	<i>Introducción</i>	79
9.1.2	<i>Planificación temporal</i>	80
9.2	PRESUPUESTO	81
9.2.1	<i>Introducción</i>	81
9.2.2	<i>Equipos y componentes</i>	81
9.2.3	<i>Desarrollo, diseño, fabricación, montaje e integración</i>	82
9.2.4	<i>Presupuesto total</i>	83
	INDICE DE PLANOS	85

1 Introducción y objetivos

1.1 Introducción y objetivos

La holografía conoscópica es una técnica de digitalizado sin contacto que presenta grandes ventajas en cuanto a velocidad frente a los sistemas tradicionales de medida en máquina herramienta mediante palpadores por contacto. Comparado con otros sistemas de medida sin contacto, tales como los sistemas de triangulación láser, también presenta importantes ventajas que se resumen a continuación:

- Para una misma profundidad de campo, mejora de 5 a 10 veces la precisión y la repetibilidad
- Presenta un buen comportamiento para diferentes tipos de materiales, tales como metales, materiales brillantes o incluso translúcidos
- Permite medir superficies con un ángulo de incidencia del láser hasta de 85° con respecto a la normal a la superficie
- Una misma cámara conoscópica puede utilizar ópticas distintas para adaptarse a varias profundidades de campo (0,6 mm a 120 mm), con precisiones desde menos de 1 μm hasta 60 μm , respectivamente

Al tratarse de un sistema colineal, es posible acceder a geometrías complicadas, tales como agujeros o cavidades estrechas, tan sólo utilizando sistemas simples de redirección de la luz.

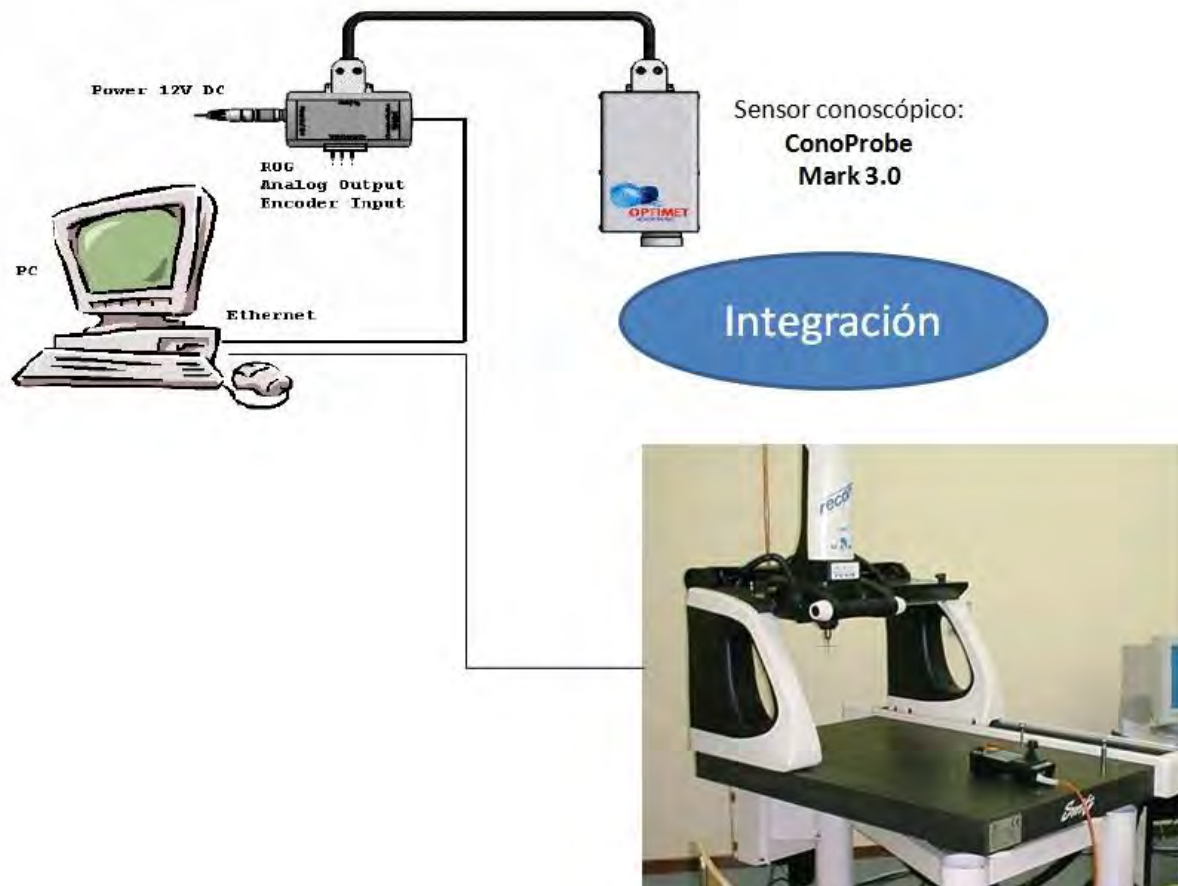


Figura 1.1. Sistema maquina de medir por coordenadas sin contacto

Teniendo en cuenta estas ventajas, se ha planteado un proyecto a desarrollar en el Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación cuyo objetivo es evaluar las ventajas e inconvenientes de la aplicación de esta técnica de medición sin contacto a la verificación en máquina de

superficies tridimensionales. Para ello, se pretende diseñar e implementar un sistema basado en sensores conoscópicos, integrarlo en un centro de mecanizado de 3 ejes y comparar la información proporcionada por dicho sistema –tanto desde el punto de vista de la productividad como de la calidad del digitalizado–, con la información proporcionada por un sistema estándar de medición en máquina, basado en sondas de contacto. Dicho proyecto cuenta con financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España, a través del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 (ref. DPI2010-15600).

En una fase inicial de este proyecto, se ha propuesto desarrollar el presente trabajo fin de máster, enfocado a la integración de un sensor conoscópico en una máquina de medir por coordenadas (MMC) y la caracterización de su puesta en funcionamiento de forma coordinada con el resto de la máquina (Figura 1.1). La utilización de la MMC proporcionará un posicionamiento mucho más preciso que la máquina herramienta, lo que permitirá desarrollar un procedimiento de calibración del sensor una vez instalado en la máquina.

Para llevar a cabo este objetivo, se comenzará con el diseño, fabricación y ajuste de un utillaje para la instalación del sensor en la máquina. Este utillaje deberá ser suficientemente rígido y estable para minimizar las incertidumbres asociadas a los movimientos de desplazamiento durante las mediciones. A continuación se realizará la conexión del sensor con el control de la máquina, gestionando ambos de forma coordinada desde un software de control diseñado *ad hoc*. Para ello se dispone de la API de PC-DMIS que permite realizar los desplazamientos de la MMC y proporciona información sobre la posición del equipo de captura. La gestión del sensor conoscópico utilizará una biblioteca de enlace dinámico (*Fifo.dll*) proporcionada por el fabricante, que permitirá la configuración del sensor y la captura de la distancia de los puntos medidos. Asimismo, se utilizará una API de PC-DMIS para el control de la MMC (Figura 1.2)

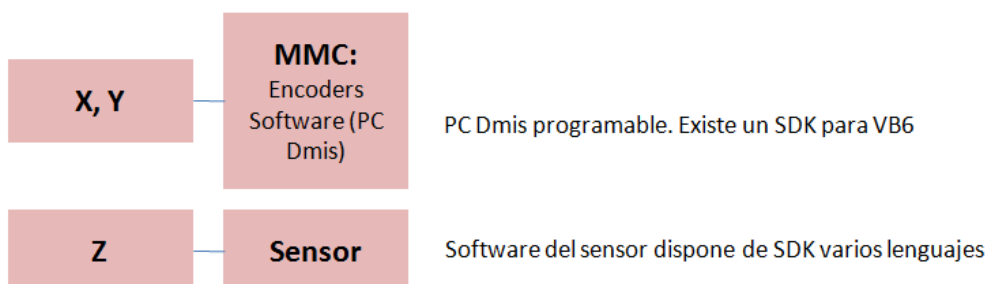


Figura 1.2. Integración del control de coordenadas: X, Y de la MMC y Z del sensor

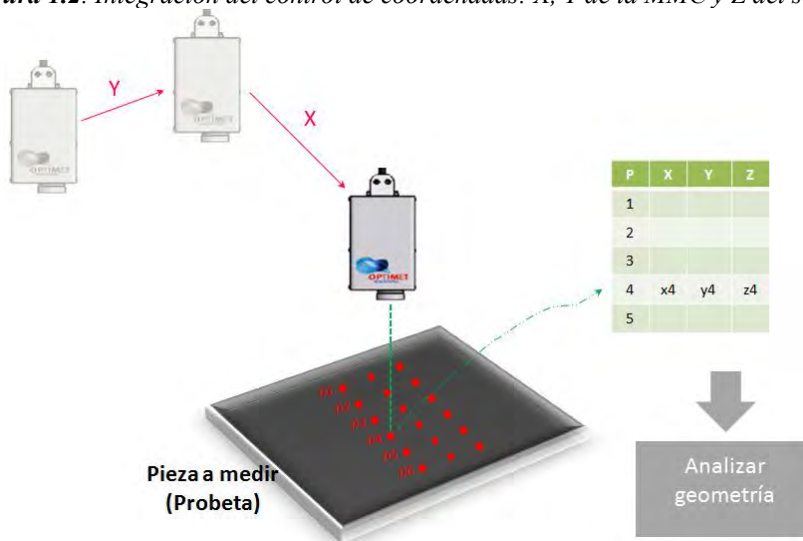


Figura 1.3. Procedimiento de adquisición de coordenadas

Por último una vez montado e integrado el equipo en la MMC, la última tarea consiste en desarrollar un procedimiento de calibración que permita establecer un sistema de coordenadas común para el equipo láser y el sistema de palpado. En la calibración intervienen por tanto la cámara conoscópica, el utillaje empleado para fijar el equipo a la máquina, y la máquina que proporcionará el desplazamiento relativo entre la cámara y la superficie a digitalizar.

Finalmente, una vez calibrado, se probará el funcionamiento del sensor en la adquisición de puntos sobre piezas de prueba (Figura 1.3).

1.2 Estructura del trabajo

La exposición en este documento del trabajo desarrollado, se ha organizado de la siguiente forma:

- En la primera parte se describen los aspectos comunes de los sistemas de digitalizado, sus aplicaciones, la técnica de holografía conoscópica, así como un estado del arte sobre la misma.
- La segunda parte describe el trabajo desarrollado, analizando los equipos y métodos utilizados, así como la planificación del programa de control.
- En la tercera parte se analizan los problemas y soluciones en el diseño mecánico del utillaje y las conexiones electrónicas.
- La cuarta parte se centra en la calibración que permite establecer un sistema de coordenadas común para el equipo láser y el sistema de palpado.
- La quinta parte analiza los problemas y soluciones en el diseño del software.
- Finalmente se incluyen ejemplos de aplicación en la medición de piezas reales.

8 Conclusiones

8.1 Resumen del trabajo

- ✚ Trabajo introduce tecnología HC y su ventajas, también característica de producto ConoProbe Mark III que aplica tecnología HC
- ✚ Se ha llevado a cabo con éxito la integración del un ConoProbe Mark III en una MMC, para lo que se ha desarrollado un software que permite configurar los parámetros de adquisición y elaborar las estrategias de captura de puntos. Este software incorpora funcionalidades del control de la MMC y del control del sensor, ofreciendo una interface de usuario única e integrada.
- ✚ Tras haberse analizado varios métodos de calibración, se ha implementado un método basado en patrones poliédricos y otro basado en patrones esféricos. Se ha desarrollado procedimiento para calibración (con patrones poliédricos y patrones esféricos) siguiente estándar VDI/VDE 2634.
- ✚ Mediante los correspondientes ensayos, se han evaluado sus respectivas características, llegándose a la conclusión de que es la calibración mediante patrones esféricos la que ofrece los resultados más estables.
- ✚ La calibración mediante patrón esférico se ha aplicado al digitalizado de un modelo geométrico compuesto por cuatro esferas dispuestas en diferentes posiciones dentro del espacio de trabajo de la MMC. Los resultados obtenidos por el HC se han comparado con los proporcionados por el sensor de contacto integrado en la MMC. Los resultados obtenidos para la HC indican que esta técnica es susceptible de proporcionar resultados análogos o superiores a los obtenidos mediante técnicas más extendidas como la TL.

8.2 Trabajos Futuros

- ✚ Usar patrón esfera estándar para calcular precisión de calibración y precisión del sistema.
- ✚ Programa para medir pieza continua, es que para sistema puede medir rápido y reducir tiempo medida.
- ✚ Programa para medir otro tipo de la pieza (nuevo algoritmo)

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Böhler, W. and Marbs, A., 3D Scanning instruments. Proceedings of the CIPA International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording, Corfu, Grecia: s.n, 2002.
- [2] Blais, F., A Review of 20 Year of Range Sensor Development, Journal of Electronic Imaging, Vol. 13, 2004, pp. 231-243.
- [3] Página web de Optimet con aplicaciones de los sistemas de holografía conoscópica <http://www.optimet.com/Applications.php>
- [4] Gabriel Y SIRAT, Freddy PAZ, Gregory AGRONIK, Kalman WILNER, Conoscopic Systems and Conoscopic Holography
- [5] I. Alvarez, J. M. Enguita, M. Frade, J. Marina, G. Ojea, *On-Line Metrology with Conoscopic Holography: Beyond Triangulation*. Sensors, 9 (2009), pp.7021-7037.
- [6] OPTIMET MANUAL P/N 3J06007, ConoProbe MKIII OEM Manual version 0.99B
- [7] K. B. Smith, Y. F. Zheng *Point Laser Triangulation Probe Calibration for Coordinate Metrology*, J. Manuf. Sci. Eng. 122 (2000) pp. 582-586.
- [8] A.Contri, P.Bourdet, C. Lartigue, Quality of 3D digitised points obtained with non-contact optical sensors, CIRP Annals-Manufacturing Technology Vol.51, (2002), pp. 443-446.
- [9] J. Santolaria, J. J. Pastor, F. J. Brosed and J. J. Aguilar, A one-step intrinsic and extrinsic calibration method for laser line scanner operation in coordinate measuring machines, Measurement Science and Technology, Vol 20, (2009).
- [10] VDI/VDE 2634 Part I, Optical 3D measuring systems - Imaging systems with point-by-point probing
- [11] VDI/VDE 2634 Part II, Optical 3-D measuring systems - Optical systems based on area scanning
- [12] ISO 10360, Geometrical Product Specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM)
- [13] E.A. Rakhmanov, E.B. Saff, and Y.M. Zhou, Minimal Discrete Energy on Sphere, Mathematical Research Letters Vol.1, (1994), pp. 647-662
- [14] Chenggang Che, Jun Ni, A ball-target-based extrinsic calibration technique for high-accuracy 3-D metrology using off-the-shelf laser-stripe sensors, Precision Engineering, Vol. 24 (2000), pp. 210-219.
- [15] N.Van Gestel, S. Cuypers, P. Bleys, J.P. Kruth, *A performance evaluation test for line scanners on CMMs*. Optics and Lasers in Engineering, 47 (2009), pp. 336-342