

Posicionamiento en micromecanizado utilizando un sistema basado en cámara y pantalla LCD

(Recibido: 29/04/2016; Aceptado: 23/06/2016)

de Francisco Ortiz O.¹; Sánchez Reinoso H.T.²; Estrems Amestoy M.³

¹ Segula Technologies, División Aeronáutica. odefrancisco@segula.es

² Dpto. de Ing. de Mat. y Fabricación, Univ. Politécnica de Cartagena. Horacio.Sanchez@upct.es

³ Dpto. de Ing. Mecánica, Universidad de Navarra. mestrems@tecnum.es

Teléfono: +34 651 056 721

Email: odefrancisco@segula.es

En este estudio se ha desarrollado un sistema de control para micromecanizado basado en la posición cámara-pantalla. La posición de la herramienta de corte con respecto al sistema de coordenadas de la pieza durante el proceso de mecanizado se controla mediante un algoritmo de visión artificial. El sistema de posición se basa en controlar la trayectoria a través de unas posiciones de destino, cada una definida iluminando una serie de LEDs sobre una pantalla de un Smartphone, para que puedan ser capturada por la cámara. Los resultados demuestran que el uso del lazo cerrado proporciona una precisión en el posicionamiento mejorada durante el micromecanizado.

Palabras clave. Máquina Herramienta; Micro-mecanizado; Posicionamiento; Precisión; Visión Artificial.

In this proceeding, a positioning system based on a camera-screen control in micromachining has been developed. The position of the cutting tool with respect to the workpiece coordinate system during a machining operation, has been controlled by an artificial vision algorithm. The positioning system consists of setting a path of target positions, each defined in the form of lighted LEDs on a smartphone, in order to capture them by a camera. The results demonstrate that the use of a screen-camera closed loop control system provides appropriate accuracy in positioning the workpiece in a micro-machine tool.

Keywords. Accuracy; Machine tool; Micro-milling; Precision; Positioning.

1. Introducción

El desarrollo de micro componentes ha crecido cada vez más en las últimas décadas debido a la aplicación de las TIC a los dispositivos mecánicos, eléctricos, ópticos y bioquímicos. Dentro de este marco, los investigadores se han centrado en el estudio de los parámetros de corte, estrategia de fresado, material de la pieza y de la herramienta de corte con el fin de mejorar la calidad de micro-piezas [1,2]. Sin embargo, las tecnologías utilizadas en el control de posicionamiento de una herramienta de una micro-máquina (MMT) se basan generalmente en sistemas de lazo cerrado. Aunque es bien conocido que los dispositivos electrónicos en lazo cerrado proporcionan un control de posición robusto, éstos se consideran caros para aplicaciones de bajo costo. Otros métodos se basan en el desarrollo de algoritmos de posicionamiento que analizan un patrón mostrado en una imagen [3, 4]. Dentro de este enfoque, Montes et al. [5] desarrollan una mejora en el sistema de control, en el que usan una pantalla LCD como sistema de referencia.

El método aquí presentado simplifica el método mencionado anteriormente mediante el uso de un algoritmo de visión artificial (AVA) que detecta los puntos objetivo de la trayectoria de la punta de herramienta mostrados en una pantalla. La trayectoria de la herramienta se muestra en forma de un patrón de LEDs que ha sido programado por una aplicación.

La cámara, que está colocada delante de la imagen de la trayectoria de la herramienta toma una imagen al final de cada desplazamiento producido por los accionamientos de la MMT a lo largo de un eje dado.

Por otra parte, la intensidad de un solo LED iluminado en la imagen se define en una escala de 8 bits. Dado que la resolución de la cámara es mayor que la resolución de la pantalla, el LED iluminado en la pantalla se magnifica en un conjunto de píxeles. A continuación, el AVA filtra los píxeles con el fin de eliminar aquellos que tienen un nivel de intensidad por debajo de un umbral dado.

Además, el AVA calcula el centro de masas de este grupo de píxeles, por lo que las coordenadas de la posición de destino se determinan en unidades de píxel. Como resultado, se pueden determinar el desplazamiento del eje en la MMT y su error.

2. Diseño de la Micro-máquina

Este estudio se realiza aplicado a un sistema de control de dos dimensiones (X e Y). La Fig. 1 muestra el modelo 3D del demostrador MMT desarrollado para esta investigación. Éste se compone de dos plataformas móviles (X, Y) accionadas por dos motores paso a paso y una guía de precisión. Por debajo de la plataforma inferior está emplazada una cámara web apuntando al LCD de un Smartphone que se encuentra fijo en la estructura. El sistema de

control consiste en mostrar una imagen de la trayectoria objetivo en el LCD y capturar la posición exacta con la cámara. Así el AVA procesa ésta imagen para calcular y realizar el movimiento necesario en los ejes de la MMT que se mueven conjuntamente con la cámara.

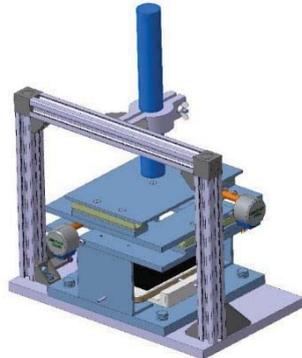


Fig. 1. Diseño 3D Micro Máquina Mecanizado (MMT).

Como se ve en la Fig. 2 los motores paso a paso son controlados por las señales de salida digital proporcionados por una tarjeta de adquisición de datos NI 6001-USB conectados al puerto USB de un ordenador portátil. Las salidas lógicas son tratadas por una etapa de amplificación de potencia compuesta por dos puentes L293 H. Por último, la retroalimentación necesaria para controlar la posición de la pieza se extrae de una Webcam USB conectada al portátil. El programa de control programado en LabVIEW recibe la imagen capturada por la cámara. Una vez procesada ésta mediante el algoritmo de visión artificial desarrollado, proporciona las señales de re-alimentación de posicionamiento necesarios para mover los ejes X e Y.

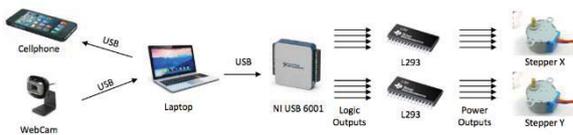


Fig. 2. Arquitectura utilizada para el control de posición los ejes.

3. Visión Artificial

El control de la trayectoria de la herramienta mostrado en la pantalla del teléfono se basa en un patrón de LEDs iluminados en color rojo sobre un fondo negro. La Fig. 3 muestra un ejemplo de patrón de LED iluminado utilizado para posicionar el eje de la plataforma móvil. Cada patrón LED iluminado representa un conjunto de posiciones objetivo posible para una operación de corte (ej. Micromecanizado).

El patrón descrito ha sido creado en otro programa externo programado en VBA, utilizando un formato de mapa de bits BMP sin comprimir.

El algoritmo original de visión artificial fue desarrollado sobre la base de considerar una diferencia de diez LED no iluminados entre dos

LEDs encendidos consecutivos mostrada en una plantilla (foto) en la pantalla del teléfono móvil.

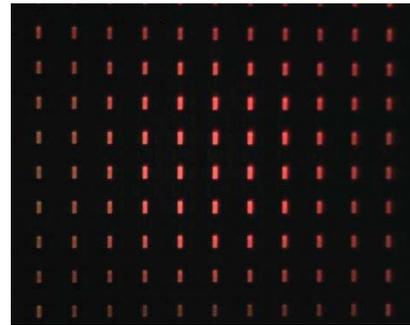


Fig. 3. Ejemplo sin procesar de foto tomada con la cámara sobre la imagen mostrada en el LCD.

El tipo de cámara utilizada en el estudio, la distancia focal y el algoritmo, no nos permitió utilizar una distancia menor entre los LEDs iluminados, porque la imagen no era lo suficientemente nítida. Debido a la limitación de la resolución de la cámara, la imagen capturada del LED iluminado no era lo suficientemente nítido y sólo se obtuvo un conjunto de píxeles como la representación de un LED iluminado. Conociendo la distancia entre dos LEDs de control iluminados en la pantalla del teléfono móvil (0,7791 mm el paso sobre la pantalla entre dos LEDs encendidos consecutivos en una pantalla de 326 ppi), se puede evaluar la relación de aspecto en el algoritmo de visión artificial:

$$\bar{G}_{k+1,k} = \frac{\text{Gap distance}}{\bar{d}_{k+1,k}} \quad (1)$$

donde $\bar{d}_{k+1,k}$ es la diferencia media entre las coordenadas de los centros de masa de dos LEDs iluminados consecutivos dentro de la misma imagen. El AVA nos permite trabajar la distancia medida en píxeles de imagen y convertirla en unidades métricas (μm) podr medio del valor conocido de $\bar{d}_{k+1,k}$.

El AVA sigue el siguiente procedimiento:

- 1) Definición de la distancia (GAP) entre píxeles: Se define la distancia de separación entre los LEDs iluminados con el fin de obtener una unidad mínima para el control de los desplazamientos en el sistema de posicionamiento. Por ejemplo, en un Iphone 5S, con resolución 326 ppi, se tiene una distancia mínima entre LEDs iluminados de 0,07791 mm (1"/326 ppi).
- 2) Ampliación de la imagen: Después se toma una foto con la cámara, todos los LEDs iluminados en la pantalla se magnifican y se convierten en un conjunto de píxeles. El conjunto de píxeles tiene diferentes niveles de intensidad y son trasladados a un formato de mapa de bits. La Fig. 4 muestra los píxeles correspondientes a un LED iluminado procesado y transformado en mapa de bits.

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	15	94	74	93	11	0	0	0
0	51	155	193	161	20	0	0	0
0	44	180	215	210	66	0	0	0
0	63	196	228	239	114	1	0	0
0	27	156	220	189	67	0	0	0
0	0	84	117	82	19	0	0	0
0	0	19	27	28	21	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 4. Valores de intensidad (pesos) para un LED iluminado.

3) Filtro y localización precisa del punto: Después de haber obtenido el archivo de mapa de bits con los pesos de intensidad del color de los píxeles, el siguiente paso consiste en reducir el brillo y realizar un filtro según un grado de intensidad umbral (en una escala de entre 0 a 255). Tras esto, se busca la posición exacta del punto calculando el centro de masa de cada conjunto de píxeles. Las coordenadas x_g e y_g del centro de masa de cada led iluminado puede obtenerse según:

$$x_g = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{i,j} \times B(i,j)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B(i,j)} \quad (2)$$

$$y_g = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{i,j} \times B(i,j)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B(i,j)} \quad (3)$$

donde $B(i, j)$ refleja el grado de intensidad de cada pixel variando i en unidades de píxel a través de una serie horizontal de píxeles, con $i \in [1, n]$. Además, j varía en un conjunto vertical de píxeles, con $j \in [1, m]$.

4) Distancia media entre desplazamientos por eje: tras haber obtenido la posición de centro de masa para cada conjunto de píxeles (LED iluminado en el LCD), el siguiente paso consiste en procesar la imagen y calcular la media de cada desplazamiento del eje. El desplazamiento depende de las diferencias entre el x_g e y_g antes y después del movimiento. Por lo tanto, para dos imágenes consecutivas relacionadas con un desplazamiento del eje dado (k y $k+1$) la distancia dx y dy promedio se puede calcular con las siguiente ecuación:

$$\overline{d_x} = \left| \frac{\sum_{i=1}^n (x_{g, k+1,i} - x_{g, k,i})}{n} \right| \quad (4)$$

5) Mover los motores paso a paso: El siguiente paso consiste en la activación de los motores paso a paso necesarios de manera que las coordenadas de la pieza (x, y) alcancen las coordenadas del punto destino medido sobre la pantalla LED del teléfono, que se mide según el AVA de acuerdo con el procedimiento descrito anteriormente.

3.1. Algoritmo Visión Artificial Mejorado

Se ha realizado una mejora del de AVA mejorando la estabilidad del algoritmo y realizando una depuración, paso a paso de todas las fases del cálculo.

Además se ha realizado una modificación de la cámara para poder reducir la distancia entre la cámara y la pantalla permitiendo de esta manera un enfoque mucho más cercano. La reducción de esta distancia manteniendo una imagen nítida ha permitido reducir la distancia entre los LEDs iluminados pasando de 10x10 a un patrón de 3x3 (se ilumina 1 de cada 3 leds de la pantalla LCD).

Cuando el teléfono móvil muestra una matriz de 3x3 y la cámara captura la imagen de la posición, se inicia un proceso de tratamiento de imágenes (ITP) y el cálculo del centro de masa de cada LED iluminado en la matriz.



Fig. 5. Esquema del proceso de tratamiento de imágenes (ITP)

El ITP consiste en los siguientes pasos:

- 1) *Original Image*: Captura de imagen de la pantalla LCD del teléfono a través de la cámara web.
- 2) *Color Plane Extraction 1*: A partir del formato RGB de la imagen original, se realiza una extracción a un formato RGB-Rojo.
- 3) *Image Mask 1*: Se aplica una máscara a la imagen con el fin de analizar sólo una malla de 5x5 píxeles iluminados, que se colocan en el centro de la imagen original obtenida con la cámara. Con esta máscara se evita la visión borrosa de los bordes de la imagen, por lo que todos los LEDs analizados son nítidos.
- 4) *Threshold 1*: Los píxeles en el umbral de la imagen original se rectifican para anular un posible aumento de píxeles frontera debido a un mal ajuste de enfoque en la cámara.
- 5) *Adv. Morphology 1* (Eliminación de pequeños objetos): Mediante un filtro se eliminan pequeños objetos que producen ruido en la imagen.
- 6) *Adv. Morphology 2* (Eliminación de objetos en la frontera): Mediante un filtro se realiza la eliminación de los píxeles que se encuentran situados tocando la frontera.
- 7) *Particle Analysis 1*: Cálculo de los centros de masa global de todos los píxeles para la imagen de la matriz 5x5

Un ejemplo de la imagen filtrada obtenida tras el ITP se muestra en la Fig. 6.

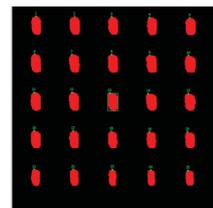


Fig. 6. Imagen matriz 5x5 en un patrón de 3x3 Píxeles iluminados.

4. Estudio Experimental

El estudio experimental ha sido realizado el demostrador MMT mostrado en la Fig. 7 el cual monta una webcam (Trust[®] 1280x1024 pixel) y un iPhone 5S. Dos motores paso a paso (ST28, 12V, 280 mA) mueven cada uno dos guías lineales de precisión (IKO[®] BSR2080 de 50mm de carrera) cada una conectada a un husillo (M3). La pantalla LCD del teléfono tiene una definición de 1136x640 pixeles. Ambos motores paso a paso están controlados por las salidas digitales de una tarjeta de adquisición de datos NI-USB-6001. Las señales de salida de la NI-USB-6001 son tratadas por un circuito de amplificación compuesto por dos puentes L293 H. El sistema es controlado por un software programado en LabVIEW.

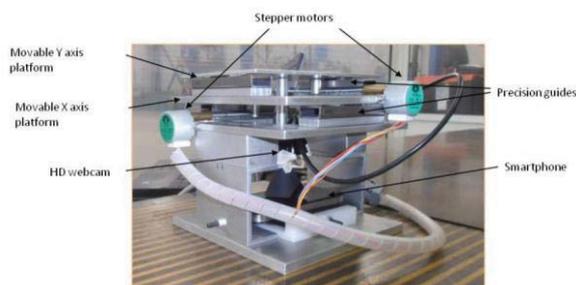


Fig. 7. Demostrador Máquina Micromecanizado.

En la Fig. 8 se muestran los resultados obtenidos en un test realizado con lazo cerrado moviendo pasos teóricos de 0,1558mm (distancia entre dos LEDs iluminados en la pantalla LCD). El software LabVIEW usado en este ensayo controla los motores y la cámara de visión. El error de posición es la distancia que tenemos que compensar. el paso a paso y de la cámara de visión USB. También sabemos que el error de posición, que es la distancia que necesitamos para compensar. Cada uno de los recorridos se ha repetido tres veces en ambas direcciones hacia delante y hacia atrás, de acuerdo con la VDI / DGQ 3441 estándar. La posición del eje X se ha medido por una máquina de medición por coordenadas (CMM), modelo DEA Pionner 06.10.06 (con una precisión de 0,003 mm).

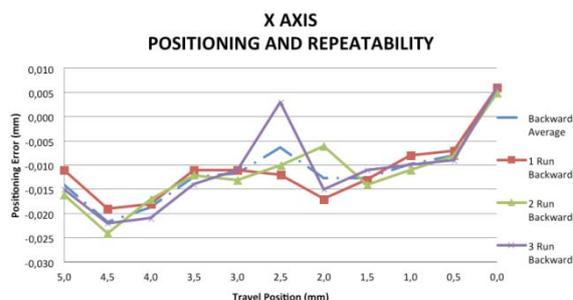


Fig. 8. Errores de posicionamiento y repetitividad en el eje X.

El error máximo obtenido en el posicionamiento es de 0,011mm mientras que el error medio es de 0,006mm.

3. Conclusiones

En este estudio se ha desarrollado un método alternativo de alta precisión de posicionamiento mediante el tratamiento de imágenes utilizando una cámara web y una pantalla LCD. El sistema de posicionamiento de la MMT ha sido implementado con un bucle de lazo cerrado para poder realizar un control preciso de la posición. Los resultados obtenidos han mostrado un grado de precisión satisfactorio pero aún lejos de la precisión teórica alcanzable por el sistema (0,011mm vs 0,00026mm). Este posicionador de dos dimensiones es un dispositivo experimental preliminar que será mejorado en el futuro con la implementación de mejoras mecánicas y electrónicas implementadas en el MMT. En paralelo se implementará un láser como actuador final para poder verificar la precisión de posicionado real mediante un microscopio electrónico.

Agradecimientos

Este trabajo de investigación no recibió ninguna subvención específica procedente de organismo público, comercial o sin fines de lucro. Es parte de la investigación del autor para su doctorado en la Universidad Politécnica de Cartagena y la Universidad de Navarra. Los autores desean agradecer al estudiante Francisco Vidal por el apoyo AVM con la programación y pruebas.

Referencias

- [1] Aurich, J. C., Reichenbach, I. G., Shüler, G. M. (2012) "Manufacture and application of ultra-small micro end mills", CIRP Annals - Manufacturing Technology, 61, pp. 83-86.
- [2] Özel T., Thepsonthi T., Ulutan D., Kaftanoglu B. (2011) "Experiments and finite element simulations on micro-milling of Ti-6Al-4V alloy with uncoated and CBN coated micro-tools. CIRP Annals" - Manufacturing Technology, 60, pp. 85-88
- [3] Leviton D. (2002) "Method and Apparatus for Two-dimensional Absolute Optical Encoding". U.S. Patent 6,765,195 B1.
- [3] Chu D., Trujillo H., Whitney E., Young J. (2006) "Rapid High Resolution Absolute 2-D Encoding by Low Resolution Digital Imaging of a Mathematically Generated 3-Tone Target". ASPE Proceedings. Santa Clara, CA, USA
- [5] Aurich J. C., Reichenbach I. G., Schüler G. M. (2012) "Manufacture and application of ultra-small micro end mills", CIRP Annals - Manufacturing Technology, pp.83-86.