

DETECCIÓN DE PLAQUITAS EN UN CABEZAL DE FRESADO USANDO CORRESPONDENCIA DE PLANTILLAS

Nadia Aller-Álvarez

Escuela de Ingenierías Industrial e Informática, Universidad de León, Campus de Vegazana s/n, 24071
León, España, nallea00@estudiantes.unileon.es

Laura Fernández-Robles,

Escuela de Ingenierías Industrial e Informática, Universidad de León, Campus de Vegazana s/n, 24071
León, España, lferr@unileon.es

Víctor González-Castro

Centre for Clinical Brain Sciences (CCBS), 49 Little France Crescent, Edinburgh EH16 4SB,
victor.gonzalez@ed.ac.uk

Enrique Alegre-Gutiérrez

Escuela de Ingenierías Industrial e Informática, Universidad de León, Campus de Vegazana s/n, 24071
León, España, ealeg@unileon.es

Resumen

El objetivo de este trabajo ha sido determinar si el método de correspondencia de plantillas (template matching), usando como métrica de correspondencias la correlación cruzada normalizada, proporciona buenos resultados detectando una serie de plaquitas de corte que forman los cabezales de una máquina de fresado. El conjunto de imágenes de prueba (dataset) empleado está formado por 144 imágenes procedentes de cabezales de fresado utilizados en las máquinas de corte TRF de la empresa TECOI. Cada imagen del cabezal contiene unas 9 plaquitas de corte por lo que el dataset está compuesto de unas 1300 plaquitas. Utilizando 10 imágenes del cabezal, 96 plaquitas, como conjunto de entrenamiento se ha obtenido un F-Score del 86%.

Palabras Clave: Correspondencia de plantillas, Template matching, Correlación cruzada normalizada, detección de objetos.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, en la industria cada vez hay un mayor número de sistemas de inspección visual automática, cuya función es determinar si el producto cumple una serie de especificaciones.

El objetivo de este trabajo es detectar automáticamente las plaquitas de corte contenidas en el cabezal de una máquina de fresado, como paso previo a la monitorización del desgaste.

Es necesario estimar cuando se deben cambiar las plaquitas porque el desgaste afecta a las dimensiones finales de la pieza y al acabado superficial. En la actualidad aún no hay una solución satisfactoria para la monitorización debido a las dificultades que conlleva la medición del desgaste. La visión artificial es muy útil ya que reduce los costes de manufactura, además se puede emplear en tiempo real de manera rápida, obteniendo una alta precisión.

La monitorización del desgaste mediante técnicas de visión es un problema en el que se lleva trabajando durante muchos años. Algunos trabajos se han centrado en el diseño de sistemas de visión para estimar el desgaste de la herramienta [1] y otros han propuesto diversos métodos para monitorizar su desgaste, algunos basados en descripción de la forma, ya sea utilizando momentos [3] o descriptores geométricos [8]. Pero, para poder medir el desgaste es necesario previamente localizar con precisión la plaquita en el cabezal, siendo este el problema que nos ocupa en este trabajo

El mismo objetivo de este proyecto lo comparte el trabajo descrito en [2], en el cual se propone la detección de las plaquitas de corte mediante el uso de transformada Hough estándar y circular y la detección de bordes. Sin embargo, el método de correspondencia de plantillas (template matching) seguido en este trabajo es una propuesta más tradicional para solventar problemas relacionados con la identificación de objetos en la industria.

En esta última línea, [5, 6, 7] presentan un sistema adaptable de inspección visual automática, a través

del cual se determina si una pieza está correctamente ensamblada. Para efectuar la localización de las piezas se basan en el método correspondencia de plantillas basado en bordes, invariante a rotación, escala y traslación.

El uso de la correlación cruzada normalizada en conjunto con la correspondencia de plantillas ha sido empleada en [10]. El uso de esta métrica supone una detección rápida y de alta precisión, lo cual permite analizar los productos de fabricación industrial en tiempo real. Por eso hemos optado por su empleo para este trabajo.

El artículo contiene la siguiente estructura: la sección 2 muestra el conjunto de imágenes de prueba (dataset) empleado. La sección 3 explica el método empleado en nuestra aplicación. La sección 4 contiene los experimentos realizados y en la sección 5 se muestran los resultados obtenidos. Por último, en la sección 6 se indican las conclusiones del trabajo.

2 CONJUNTO DE IMÁGENES DE PRUEBA

El conjunto de imágenes de prueba empleado está compuesto por 144 imágenes tomadas de una máquina de fresado, más concretamente de la cabeza de corte. Dicho cabezal contiene 30 plaquitas de corte, divididas en 6 diagonales con dirección radial, conteniendo cada diagonal 5 plaquitas en dirección axial. Un ejemplo de una imagen del conjunto de imágenes de prueba se puede observar en la Fig. 1.



Figura 1: Imagen del conjunto de imágenes de prueba.

Para capturar las imágenes se empleó una cámara monocroma Genie M1280 1/3". La resolución de las imágenes es de 1280 * 960 píxeles.

Empleamos una lente fija AZUL-2514, cuya distancia focal es de 25 mm y su resolución de 2 megapíxeles. También se usaron dos barras led para una mejor iluminación del cabezal de corte.

Las diferentes imágenes se han obtenido girando el cabezal de corte 15° y manteniendo la cámara fija. Después de tomar las 24 imágenes que completan los 360° del cabezal, se han cambiado las plaquitas de corte y se ha repetido el proceso hasta 6 veces, obteniendo las 144 imágenes.

Para conocer más detalles sobre el conjunto de imágenes de prueba, referimos al lector al trabajo en [2].

3 MÉTODO

En este apartado veremos cómo se ha empleado el método correspondencia de plantillas para la localización de todas las plaquitas que forman el cabezal. Se ha empleado este método ya que su función principal es la detección de plantillas (región que queremos detectar de una imagen) en una imagen de mayor tamaño (detección de objetos). El método correspondencia de plantillas tiene como argumentos de entrada una imagen y una plantilla (template).

El algoritmo [9] se basa en deslizar la plantilla sobre la imagen, píxel a píxel, y calcular para cada punto el valor de correspondencia, el cual nos indica cómo de cercana es la correspondencia de ambas imágenes en dicha localización.

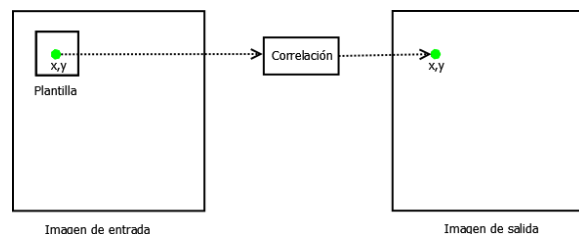


Figura 2: Esquema del algoritmo correspondencia de plantillas.

Entre las medidas de correspondencia existentes, hemos elegido la correlación cruzada normalizada [4], ya que proporciona una detección rápida, lo cual nos permite analizar los productos industriales en tiempo real.

El resultado del algoritmo es una matriz con los valores de correspondencia, en el intervalo [-1,1], siendo 1 la correspondencia más fuerte y -1 la más débil.

En la Figura 3.a vemos una de las 144 imágenes que forman el conjunto de imágenes de prueba. En cada una de estas imágenes hemos buscado las dos

mejores correspondencias respecto de las plaquitas mediante correspondencia de plantillas. En azul marcamos una de las plaquitas de interés, la cual se ha empleada como plantilla y se muestra ampliada en la Figura 3.b. Las plantillas empleadas han sido obtenidas manualmente.

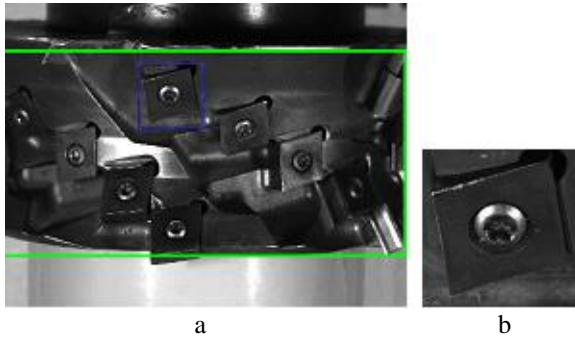


Figura 3: (a) Cabezal de fresado. En verde, área de interés del cabezal. (b) Plantilla.

Preprocesamiento. Lo primero que hemos realizado ha sido un preprocesado de las imágenes, aplicando el filtro de detección de bordes Canny. El parámetro empleado para configurar el filtro fue threshold (umbral de sensibilidad, los bordes que no son más fuertes que dicho umbral se ignoran), vector de dos elementos correspondientes a un umbral alto de baja sensibilidad y un bajo umbral para la sensibilidad alta, cuyos valores son 0 y 0.15. A continuación, se ha realizado una dilatación, para resaltar los bordes. El elemento estructurante elegido tiene una forma de rombo con un vecindario de 1 unidad, es decir, el elemento tiene forma de rombo plano, donde el vecindario especifica la distancia desde el origen del elemento a los puntos del rombo. La Fig. 4 muestra el resultado de aplicar el procesamiento a una imagen y una plantilla del conjunto de imágenes de prueba.

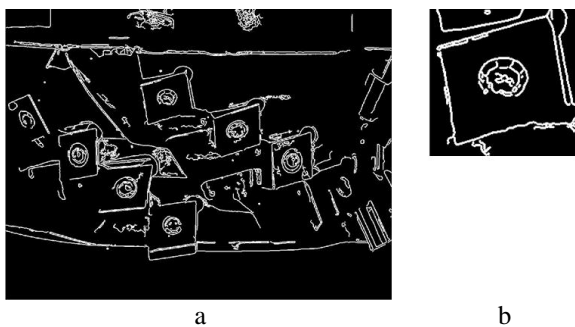


Figura 4: Resultado del preprocesamiento de la imagen (a) y la plantilla (b) de la Fig. 3.

Correspondencia de plantillas. Como ya se ha mencionado anteriormente, la función empleada para la obtención de los valores de correspondencia ha sido la correlación cruzada normalizada [4]:

$$\gamma(u,v) = \frac{\sum_{x,y} [f(x,y) - \bar{f}_{u,v}] [t(x-u,y-v) - \bar{t}]}{\left\{ \sum_{x,y} [f(x,y) - \bar{f}_{u,v}]^2 \sum_{x,y} [t(x-u,y-v) - \bar{t}]^2 \right\}^{0.5}} \quad (1)$$

donde:

f es la imagen.

\bar{t} es la media de la plantilla.

$\bar{f}_{u,v}$ es la media de $f(x,y)$ en la región bajo la plantilla.

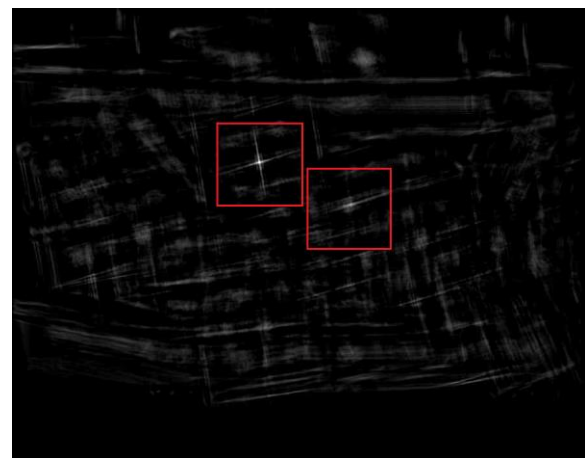


Figura 5: Matriz de correspondencias resultante.

La Fig. 5 es el resultado de realizar la correspondencia de plantillas con una plantilla y una imagen de un cabezal. La imagen resultante presenta diferentes niveles de grises, cuanto más claro es el píxel significa mejor es la correspondencia entre la zona a su alrededor y la plantilla.

Elección de correspondencias. En la Fig. 5 podemos observar que hay dos regiones que tienen valores más altos que el resto. Después de realizar varios análisis de las matrices de correspondencias obtenidas, se llegó a la conclusión de que por cada plantilla empleada, se pueden obtener dos localizaciones diferentes de plaquitas de corte, es decir, dos verdaderos positivos en cada imagen del cabezal. Hay que tener en cuenta que no hay solamente un punto con valor máximo, sino que es una región cuyos valores se asemejan bastante. Esto es importante ya que cuando hablamos de dos valores máximos, nos referimos a dos máximos locales que están separados una cierta distancia. Los centros de dos plaquitas diferentes siempre están separadas al menos $200\sqrt{2}$ píxeles. Para ello, una vez identificada la localización del máximo absoluto, se procede a la

eliminación de un área de 200 x 200 píxeles (tamaño de cada plantilla), con centro en el punto con valor máximo.

Como requisito específico para este problema, para determinar si un píxel es una correspondencia, lo primero que se hizo fue delimitar un área dentro de la imagen, como vemos en la Figura 3.a marcado de color verde. Si uno de los máximos obtenidos se encontraba fuera del área verde, era descartado y se buscaba un nuevo máximo en su lugar. Este requisito fue establecido ya que en esas regiones eliminadas, debido a brillos en las imágenes del conjunto de imágenes de prueba, se encontraron diversos falsos positivos. Este proceso se realiza de manera automática, comprobando si el píxel de mayor correspondencia está dentro del área que nos interesa, mediante sus coordenadas.

5 EXPERIMENTOS

El conjunto de imágenes de prueba fue dividido en dos conjuntos, uno de entrenamiento y otro de test. El conjunto de entrenamiento está formado por 10 imágenes (96 plaquitas). Las 134 imágenes restantes forman el conjunto de test.

El proceso iterativo comienza con la selección de una plaquita de una de las imágenes del conjunto de entrenamiento. Dicha plaquita se emplea como plantilla con todas las imágenes del conjunto de entrenamiento, obteniendo en cada imagen dos correspondencias. En esta primera iteración se han detectado 16 plaquitas, lo que significa que se ha detectado un 17% del total.

En la segunda iteración se elige una de las plaquitas que no han sido detectadas en la iteración anterior. El número de nuevas detecciones ha sido 10. En esta iteración hemos logrado una detección del 27% de las plaquitas.

Sucesivamente se realiza el mismo proceso hasta la obtención de las 96 plaquitas del conjunto de entrenamiento. Han sido necesarias 15 plantillas para la detección de todas las plaquitas del conjunto de entrenamiento.

Una vez se han detectado todas las plaquitas, para comprobar el funcionamiento de la correspondencia de plantillas, aplicamos el método en el conjunto de test. Para cada plantilla mediante correspondencia de plantillas, se calculan las dos correspondencias con cada imagen del conjunto de test, siendo las plantillas las mismas que usamos con el conjunto de entrenamiento. Los resultados obtenidos se muestran en la sección siguiente.

6 RESULTADOS

Para evaluar los resultados obtenidos en la detección de plaquitas mediante el método correspondencia de plantillas, hemos empleado las métricas precisión (3), recall (2) y F-Score (4).

Recall es el porcentaje de muestras verdaderas que se detectan con éxito.

$$Recall = \left(\frac{TP}{TP + FN} \right) \quad (2)$$

Precisión es el porcentaje de muestras verdaderas detectadas respecto del total de muestras positivas.

$$Precision = \left(\frac{TP}{TP + FP} \right) \quad (3)$$

F-Score para medir la precisión.

$$F - Score = 2 * \left(\frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \right) \quad (4)$$

Para calcular las métricas anteriores necesitamos calcular primero la matriz de confusión.

		Clase Real d	
		P	N
Clase Asignada (Predicho) \hat{d}	P	TP	FP
	N	FN	TN

Figura 7: Matriz de confusión.

Una detección ha sido considerada como verdadera positiva si al menos se observa la mitad del tornillo central. Cuando no se observa al menos la mitad del tornillo central en una detección, se considera falso positivo. Y por último, consideramos un falso negativo cuando no se ha detectado una placa con los requisitos de un verdadero positivo.

El conjunto de test está formado por las 134 imágenes de los cabezales restantes.

Tabla 1: Matriz de confusión - Test.

	P	N
P	1162	252
N	140	0

Tabla 2: Resultados de la evaluación del método en el conjunto de test.

	Correspondencia de plantillas
Precisión (%)	82%
Recall (%)	89%
F-Score (%)	86%

El resultado del método aplicado al conjunto de test ha sido un F-Score del 86%.

7 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estudiado el uso de correspondencia de plantillas para detectar cada una de las plaquitas montadas en un cabezal de fresado utilizado por las máquinas de corte TRF de la empresa TECOI.

Los resultados presentados corresponden al método de correspondencia de plantillas de correlación cruzada normalizada al observarse previamente que éste obtenía más aciertos que otros métodos como la suma de diferencias absolutas, la suma de diferencias al cuadrado o la diferencia absoluta máxima.

Una vez obtenida la matriz de correspondencias, se ha observado que por cada plantilla pueden obtenerse hasta dos correspondencias que serán verdaderos positivos, para cada imagen del cabezal.

Los resultados obtenidos, un 86% de FScore, no han sido muy satisfactorios, debido probablemente a la variación en la pose de las plaquitas y a la iluminación de la herramienta.

Por los motivos anteriores, se considera que para mejorar los resultados se podrían utilizar más plantillas y también mejorar la iluminación de la pieza.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación recibida por el Proyecto DPI2012-36166 del Gobierno de España.

Referencias

- [1] E. Alegre, J. Barreiro, R.A. Fernández, M. Castejón, (2006) Design of a Computer Vision System to Estimate Tool Wearing, Materials Science Forum, 526, pp. 61–66
- [2] Fernández-Robles, Laura; Azzopardi, George; Alegre, Enrique and Petkov, Nicolai; (2015) Cutting edge localisation in an edge profile

milling head. To appear in CAIP'15, 16th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns, 2-4 September, Malta

- [3] J. Barreiro, M. Castejón, E. Alegre, L.K. Hernández, (2008) Use of Descriptors Based on Moments From Digital Images for Tool Wear Monitoring, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 48, pp. 1005–1013.
- [4] J. P. Lewis, (1995) Fast Normalized Cross-Correlation, Industrial Light and Magic.
- [5] Jun Sun, Qiao Sun and Brian W. Surgenor, (2011) An adaptable automated visual inspection scheme through online learning, Springer-Verlag London Limited.
- [6] Jun Sun, Qiao Sun, (2011) Further Development of Adaptable Automated Visual Inspection - Part I: Concept and Scheme.
- [7] Jun Sun, Qiao Sun, (2011) Further Development of Adaptable Automated Visual Inspection - Part II: Implementation and Evaluation
- [8] M. Castejón, E. Alegre, J. Barreiro, L.K. Hernández, (2007) On-line Tool Wear Monitoring Using Geometric Descriptors From Digital Images, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 47, pp. 1847–1853
- [9] Roberto Brunelli, (2009) Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice. ISBN: 978-0-470-51706-2
- [10] Sandhya P., Omkar Naidu V., (2013) "Real Time Object Visual Inspection Based On Template Matching Using FPGA", International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), V4(8):3521-3526.