

Evaluación de diferentes tipos de iluminación para la clasificación de la rugosidad de piezas metálicas mediante análisis de imagen

Sir Alexci Suarez Castrillon

Dpto. Ing. Eléctrica y de Sistemas y Automática. Univ. de León, sir.suarez@unileon.es

Enrique Alegre Gutiérrez

Dpto. Ing. Eléctrica y de Sistemas y Automática. Univ. de León, enrique.alegre@unileon.es

Patricia Morala Argüello

Dpto. Ing. Eléctrica y de Sistemas y Automática. Univ. de León, patricia.morala@estudiantes.unileon.es

Joaquin Barreiro García

Dpto. Ing. Mecánica, Informática y Aeroespacial. Univ. de León, joaquin.barreiro@unileon.es

Víctor González

Dpto. Ing. Eléctrica y de Sistemas y Automática. Univ. de León, victor.gonzalez@unileon.es

Resumen

En este trabajo se clasifica la rugosidad de piezas metálicas en procesos de torneado mediante análisis de imagen, y se evalúa la incidencia de la iluminación de acuerdo al ángulo utilizado.

Para describir la rugosidad de la superficie, a partir de la imagen obtenida, se ha utilizado un vector compuesto por cuatro descriptores de primer orden (DPO): media, desviación estándar, coeficiente de asimetría y kurtosis. Como clasificador se utilizó Knn. Se obtuvieron 284 imágenes sobre las que se calcularon los anteriores descriptores y la clasificación obtenida se comparó con la rugosidad media de las piezas calculadas por un método tradicional. El porcentaje de error obtenido para cada tipo de iluminación fue coaxial 0.70%, angular 9,68% y rasante 1.03%. Los resultados de la clasificación mediante diferentes tipos de iluminación demuestran la importancia de dicho proceso el cual puede incidir en errores a la hora de obtener la rugosidad y a la vez la efectividad de los descriptores de textura en la obtención del respectivo valor.

Palabras Clave: Rugosidad, descriptores de textura, iluminación, coaxial, angular, rasante, inspección, knn.

1 INTRODUCCIÓN

Al analizar la textura de piezas metálicas nos encontramos con diferentes problemas que pueden

afectar la calidad final de la superficie de dichas piezas. Indudablemente uno de estos factores es la iluminación ya que el cambio puede revelar diferentes aspectos de la textura de acuerdo a la dirección en que incide la luz. Los investigadores han realizado diversos estudios sobre el fenómeno de la iluminación y su incidencia en materiales metálicos, encontrando serios problemas a la hora de realizar una buena clasificación debido a la reflexión de la luz sobre estas superficies.

Dichos aspectos están relacionados directamente con la rugosidad de su superficie que viene determinada por los procesos de fabricación y cuantificada por diversos parámetros de rugosidad. Estos valores son obtenidos como resultado de finas irregularidades encontradas en la superficie.

La elección de la iluminación en sistemas de inspección visual es una tarea compleja. Por eso se han creado diversos métodos para análisis de textura y el desgaste de la herramienta [1]. Cuando se desea calcular el valor de la rugosidad por medio de técnicas visuales la reflexión de la luz juega un papel importante [2][3]. Chantler et al. [4] presentó una teoría formal que demuestra que los cambios en la inclinación de la dirección de iluminación hacen a las características de textura seguir trayectorias elípticas en espacios multidimensionales. Otra técnica es la fotometría estéreo [5][6] que consiste en tomar diferentes imágenes de la escena desde un mismo punto de vista pero con diferentes direcciones de iluminación. Las sombras generadas por las diferentes direcciones de iluminación permiten calcular la geometría 3D del objeto examinado.

Es difícil encontrar un método exacto para medir la rugosidad de una superficie, debido a los cambios de iluminación y tipo de material de cada producto. Por lo tanto cada vez más se están combinando los métodos de contacto con los de no contacto por medio de técnicas visuales, los cuales permitan una mayor exactitud de la cuantificación de la rugosidad. Whitehead et al. [7] realiza una comparación del método de contacto de diamante y el de no contacto por láser para medir tejidos dentales. Dhanasekar y Ramamoorthy [8] correlaciona los parámetros Ga (visión) y Ra (tradicional) encontrando altos resultados de objetos fabricados de acuerdo al proceso industrial como fresado, taladrado y conformado. Otra técnica [9] es combinar el perfilómetro y las imágenes para hallar el perfil de la pieza. Otras investigaciones relacionadas son [10], [11],[12], [13], [14], [15].

La idea de los métodos de análisis de imágenes es capturar una imagen de la superficie, y analizar los píxeles que la conforman con la finalidad de obtener un patrón de la luz dispersa de la imagen, y posteriormente calcular los parámetros de rugosidad por medio de descriptores estadísticos. Uno de los parámetros más utilizados es la desviación estándar sobre el histograma de los niveles de gris.

Al-Kindi et al. [16] presenta un método denominado compatibilidad de intensidad topográfica (ITC) el cual halla el valor de los parámetros de rugosidad combinando medidas estadísticas como la media, desviación estándar, etc., y caracterizándola por tres componentes denominados iluminación, reflectancia y características que componen la superficie. Lee et al. [17] desarrollan un sistema de visión por computador que mide automáticamente el valor de la rugosidad en procesos de torneado introduciendo la teoría de redes polinomiales.

Otra técnica [18] se basa en la iluminación de la superficie cambiando el ángulo de iluminación con la finalidad de correlacionar ambos patrones y utilizarlo como un parámetro de rugosidad.

2 MATERIALES, ILUMINACIÓN Y ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

2.1 MATERIALES

Se han empleado piezas cilíndricas mecanizadas mediante un torno paralelo multi-torreta MUPEM CNC modelo ICIAR/1/42 a partir de una barra de 20 mm de diámetro en las que se han llevado a cabo distintas operaciones de torneado como tronzado, ranurado, taladrado y cilindrado. Aunque se han

realizado todas esas operaciones sobre la pieza la medida de la rugosidad y las imágenes adquiridas pertenecen solo a la parte de la misma que ha sido cilindrada. Para el mecanizado se utilizó una herramienta TCMT-110208-UM GC235 de forma triangular con recubrimiento de carburo con un refrigerante CIMPRIAL C60 al 7-8% de concentración.

Las dimensiones de la plaquita fueron: longitud de la arista de corte 6.35 mm, espesor de plaquita 2.38 mm, radio de punta 0.8 mm. Se utilizaron dos tipos de aceros: 32 piezas de Acero N°1: X6CrNiTi18-10 y 39 piezas de Acero N°2: X3CrNiCu18-9-4. La figura [1] muestra las longitudes de la pieza.

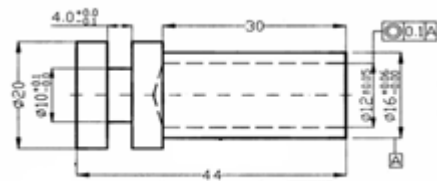


Figura 1: Longitudes de la pieza metálica

Los parámetros de rugosidad se obtuvieron con un rugosímetro HOMMEL TESTER T 4000 clase 1. Se calculó Ra como referencia y se tomaron las siguientes longitudes: longitud básica 0.8 mm, longitud de evaluación 4 mm, longitud de exploración 4.8 mm, longitud de onda de corte o cut-off 0.8. El valor que se toma de los parámetros de acabado superficial de una pieza es la media aritmética con tres cifras significativas de esas tres medidas.

2.2 ILUMINACIÓN Y ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

Se utilizaron 3 tipos de iluminación Coaxial, Angular y Rasante. De cada pieza se capturaron 4 imágenes resultando un total de 128 imágenes para el material número 1 y 156 para el material número 2. Para un total de 384 y 468 imágenes respectivamente, con una resolución de 768x576 píxeles.

Las imágenes de las piezas fueron capturadas utilizando un emplazamiento fijo y específico que tiene sujeta una cámara y un sistema de luz difusa. La pieza fue posicionada en un bloque con forma de "V", tal como aparece en la Figura 2. El sistema de iluminación consta de una fuente de luz regulada DCR RIII FOSTEC. Para evitar los brillos se utiliza un sistema SCDI de iluminación difuso NER SCDI-25-F0. El sistema proporciona iluminación difusa en eje de la cámara.

Las imágenes fueron obtenidas usando una cámara Pulnix PE2015 B/W con 1/3" CCD.

El montaje está compuesto de un zoom industrial 70XL OPTEM, con un tubo de extensión de 1X y lentes 0.5X/0.75X/1.5X/2.0X OPTEM.

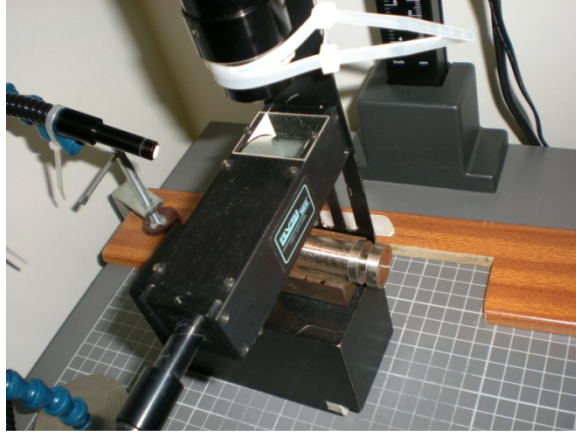


Figura 2: Sistema de iluminación utilizado

2.2.1 Iluminación con luz angular

En la luz angular la iluminación ha sido proporcionada por una fuente luminosa exterior inclinada 45° con respecto a la superficie del objeto. La Figura 3 muestra una imagen de la pieza metálica con luz angular. Las imágenes se vuelven visibles porque los rayos luminosos, reflejados por las superficies con el mismo ángulo de incidencia, toman una intensidad luminosa superior con respecto a todos los rayos reflejados con inclinación diferente.

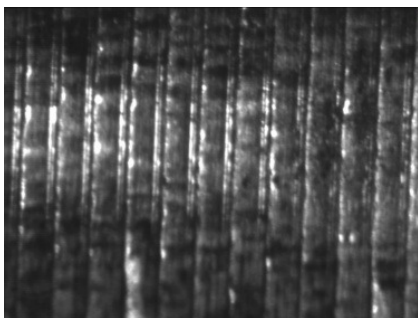


Figura 3: Imagen obtenida con luz angular

2.2.2 Iluminación con luz coaxial

La iluminación pasa por el mismo eje del objetivo. La luz llega de manera perpendicular a la superficie del objeto creando fuertes contrastes; ello es debido al retorno total de los rayos provenientes de superficies lisas y de los rayos que las superficies inclinadas reflejan. La figura 4 muestra la adquisición de una pieza metálica con luz coaxial.

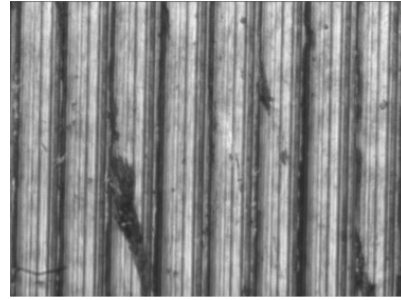


Figura 4: Imagen obtenida con luz coaxial

2.2.3 Iluminación con rasante

En este caso la iluminación se proporciona por una fuente luminosa exterior arreglada de manera rasante con respecto a la superficie principal del objeto. La imagen se crea por las sombras (claroscuros) formadas por los obstáculos con que los rayos se topan a lo largo de su recorrido. La figura 5 muestra un ejemplo al utilizar dicha iluminación.

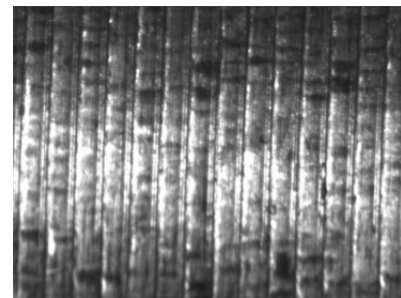


Figura 5: Imagen obtenida con luz rasante

2.3 PROCESAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

La rugosidad de las imágenes estaban comprendidas entre los valores de $2.7 \mu\text{m}$ y $4.03 \mu\text{m}$. Y se dividieron en 2 clases de acuerdo a la media aritmética de dichos valores. Para efectos de considerar cual método de iluminación podría causar dudas se determinó la diferencia entre el valor mínimo y máximo de las 2 clases por cada descriptor y variable en la frontera de dichas clases. A todas las imágenes se les aplicó un filtro Prewitt vertical.

Los descriptores utilizados fueron obtenidos del histograma de la imagen de primer orden: media, desviación estándar, tercer momento o coeficiente de asimetría, cuarto momento o kurtosis. Con estos valores se diseñó un vector de características por cada clase.

2.2.1 Estadísticos de primer orden

Los estadísticos de primer orden son medidas calculadas a partir del histograma de niveles de gris y proporcionan información acerca de la forma del mismo.

$$media = \frac{\sum_{i=0}^{255} \sum_{j=0}^{255} M[i][j]}{256^2} \quad (1)$$

Desviación estándar

$$DS = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^{255} Fi(x_i - x)^2} \quad (2)$$

donde: n=píxeles en la imagen, xi=nivel de grises, Fi=frecuencia de píxeles para un nivel de grises xi.

$$Skewness = \frac{\sum_{i=0}^L (Z_i - m)^3 p(Z_i)}{(L-1)\sigma^3} \quad (3)$$

donde:

Sea z una variable aleatoria de niveles de gris, y sea p(zi), con i=0,2,,L-1, el valor correspondiente del histograma, donde L es el número distinto de niveles de gris.

$$Kurtosis = \frac{\sum_{i=0}^L (Z_i - m)^4 p(Z_i)}{(L-1)\sigma^4} - 3 \quad (4)$$

2.4 RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN

La clasificación se realizó, para cada tipo de iluminación, sobre las 2 clases divididas en 128 imágenes para la clase 1 con rugosidad alta y 156 imágenes para la clase 2 con rugosidad baja. Usando como clasificador el knn. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 1: Porcentajes de Error iluminación Coaxial.

Clase	DPO
Clase 1 Rugosidad Alta	0
Clase 2 Rugosidad Baja	1,28
Tasa de error	0,70

Tabla 2: Porcentajes de Error iluminación angular.

Clase	DPO
Clase 1 Rugosidad Alta	14,84
Clase 2 Rugosidad Baja	5,59
Tasa de error	9,68

Tabla 3: Porcentajes de Error iluminación rasante.

Clase	DPO
Clase 1 Rugosidad Alta	0,78
Clase 2 Rugosidad Baja	1,24
Tasa de error	1,03

Tabla 4: Comparación de los resultados

Tipo de iluminación	Error
Coaxial	0,70
Angular	9,68
Rasante	1,03

De acuerdo a los resultados obtenidos con los tipos de iluminación se puede concluir que los mejores métodos son el coaxial y rasante con mínimo error de 0,70% y 1,03%, mientras que la iluminación angular ofrece unos resultados muy bajos con respecto a los 2 tipos anteriores. Esto se debe a que la luz coaxial crea fuertes contrastes y la luz rasante nos permite ver la morfología de la superficie. A pesar de que la luz angular se aplica por encima de la coaxial ya que las superficies iluminadas se vuelven parcialmente visibles, en este caso los resultados no han sido satisfactorios.

3 CONCLUSIONES

Este artículo propone un sistema para comparar la eficiencia de diferentes tipos de iluminación (coaxial, rasante, angular) con la finalidad de lograr una clasificación de piezas metálicas por medio de la rugosidad en imágenes digitales. Dicha comparación se realiza primero con los valores de rugosidad obtenidos mediante un rugosímetro y se comparan con la extracción de características obtenidas de las imágenes de dichas piezas. Después de clasificadas se comparan los mejores resultados obtenidos mediante cada tipo de iluminación. Inicialmente a cada imagen se le aplicó un filtro Prewitt vertical y se extrajeron 4 características por cada una de ellas. La clasificación final se obtuvo mediante knn. El porcentaje de error obtenido fue coaxial 0.70%, angular 9,68% y rasante 1.03%. Los resultados demuestran la importancia de los efectos de la iluminación en los procesos de control de calidad de superficies metálicas, a la vez que nos permite conocer el valor aproximado de la rugosidad mediante técnicas de no contacto.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado mediante el proyecto de investigación LE018B06 de la Junta de Castilla y León y el proyecto de investigación ULE2005-01 de la Universidad de León.

Referencias

- [1] Kassim, A.A., Mannan, M.A., Zhu Mian. (2007), Image and Vision Computing 25, 1080–1090
- [2] Dana, K.J., Van Ginneken B., Nayar, S.K., Koenderink, J.J., (1999) *Reflectance and texture of real world surfaces*. ACM Transactions on Graphics, Vol. 18, No.1, pp.1-34.
- [3] Suen, P.-h., Healey, G., (2000) *The Analysis and Recognition of Real-World Textures in Three Dimensions*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.22 No.5 pp.491-503.
- [4] Chantler, M.J., Schmidt, M., Petrou, M., and McGunnigle, G., (2002) The effect of illuminant rotation on texture filters: Lissajous's ellipses. In *7th European Conference on Computer Vision*, volume 3, pages 289–304, Copenhagen, Denmark.
- [5] McGunnigle, G., Chantler, M.J., (2000) *Rough surface classification using point statistics from photometric stereo*, Pattern Recognition Letters 21 593-604.
- [6] Lladó, X., Petrou, M., and Martín J., (2003) Texture recognition under varying imaging geometries. *IEEE Transactions on Image Processing*, in second revision.
- [7] Whitehead, S.A., Shearer A.C., Watts D.C., and Wilson N.H.F. (1999) Comparison of two stylus methods for measuring surface texture. *Dental Materials*, 15:79– 86.
- [8] Dhanasekar B. and Ramamoorthy B. (2006) Evaluation of surface roughness using an image processing and machine vision system. *Journal de Metrology Society of India*, 21(1):9–15.
- [9] Galante, G., and Piacentini, V. F., and Ruisi. (1991) Surface roughness detection by tool image processing. *Wear*, 148:211–220.
- [10] Melo Hinojosa, M., and Reyes Martín, A., (2001) La rugosidad de las superficies: Topometría. *Revista Ingenierías*, pages 27–33.
- [11] Kiran M.B., Ramamoorthy B., and Radhakrishnan V. (1998). Evaluation of surface roughness by vision system. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38:685–690(6).
- [12] Sodhi, M.S. and Tiliouine, (1996) K. Surface roughness monitoring using computer vision. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 36:817– 828(12).
- [13] Priya, P. and Ramamoorthy, B. (2007) The influence of component inclination on surface finish evaluation using digital image processing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47:570–579.
- [14] Rolleri, A., and Roffael, E., (2006) Roughness of medium density fiberboards (mdf) by the contact and non-contact method. *Bosque (Valdivia)*, 27(1):72–77.
- [15] Rolleri, A. E., (2003) *Characterization of wood-based panels surfaces by contact and non-contact methods*. PhD thesis, The Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology of Georg-August-University Göttingen, Göttingen.
- [16] Ghassan, A. Al-Kindi and Bijan Shirinzadeh. (2007) An evaluation of surface roughness parameters measurement using vision-based data. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47:697–708.
- [17] H. Juan Lee, B.Y. and Yu, S.F. (2002) A study of computer vision for measuring surface roughness in the turning process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 19(4):295–301.
- [18] Ulf Persson. (2006) Surface roughness measurement on machined surfaces using angular speckle correlation. *Journal of Materials Processing Technology*, 180:233–238.