

# Determinación de la secuencia temporal en el cruce de trazos por medio de un microscopio confocal laser

Giuseppe Schirripa Spagnolo, Carla Simonetti, Lorenzo Cozzella  
Departamento de ingeniería electrónica, Universidad degli Studi “Roma Tre”

## ABSTRACT

La determinación de la secuencia temporal en los cruces de trazos es un problema presente en el campo de la documentoscopia. Este estudio presenta el potencial del análisis profilométrico 3D en los siguientes asuntos: para determinar el orden de ejecución de los trazos (si están superpuestos), para detectar la manipulación fraudulenta de firmas (si se superpone a alguna de las partes ya escritas), para analizar la presión del escrito, y para identificar los trazos. El instrumental empleado en este estudio para analizar la microtopografía 3D, es un sistema de medición que no precisa contacto basado en la holografía confocal, permite crear la holografía incluso con luz incoherente, incluso con ‘fringe-periods’ es posible medir con precisión la distancia exacta al punto que se está midiendo. Esta técnica es adecuada para obtener un perfil micro topográfico de alta resolución 3D sobre superficies rugosas (como los soportes sobre los que se escribe). Se trata de una técnica no invasora para obtener un perfil. Por tanto, el trazo original no será modificado ni física ni químicamente, permitiendo que el objetivo se pueda analizar en infinitas ocasiones. En el ámbito forense la cualidad no invasora y de preservar la prueba es esencial. La técnica propuesta ha permitido, en la mayoría de los casos, una positiva identificación en el asunto de la secuenciación de los cruces de trazos con la muestra empleada. En los casos que no se ha concluido positivamente, el resultado fue ‘no concluyente’- que no falsa o incorrecta -. Esta técnica, correctamente usada, no proporcionara falsos positivos o resultados probables, los únicos resultados posibles son: ‘concluyente’ y ‘no concluyente’.

**Keywords:** forensics, questioned documents, 3D laser profilometry, determination of writing sequence.

## 1. INTRODUCCIÓN

La identificación del escribiente es una de las áreas de investigación en el campo de la validación de la firma así como en documentos manuscritos. [1-3]. La identificación de la escritura a mano se basa en la afirmación “Todas las personas son iguales, todas son diferentes”. Las variables de la escritura (velocidad, variaciones en la presión, profundidad, etc.) son únicas para cada individuo. Para ser capaz de identificar Para identificar la escritura de una persona, el experto debe observar las variables propias de cada individuo que lo diferencian del resto. Cuando se intenta falsificar una firma, normalmente el falsificador tiende a imitar la apariencia, el diseño de las letras, tamaño e inclinación, sin embargo, la escritura consta de trazos idiosincrásicos y patrones de presión y profundidad que no son evidentes bajo una vista 2D.

Cuando alguien intenta imitar otra escritura, normalmente tiene que enfrentarse a dos dificultades. Primero, debe modificar su propia manera de escribir y segundo, el falsificador debe adoptar el estilo del falsificado. Algunos falsifican la firma usando una fuente de luz indirecta, pero la mayoría intenta imitar la escritura/firma tras haber practicado y considerar que se parece. La escritura propia es automática, no tenemos que pensar cómo escribir.

[schirrip@uniroma3.it](mailto:schirrip@uniroma3.it); phone +39 0655177046; fax 0039 065579078; Università degli Studi “Roma Tre”, Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Via Della Vasca Navale 84, I-00146, Roma, Italy.

Así, el curso del trazo falsificado se torna vacilante y la presión varía notablemente. Además, la estructura y secuencia del trazado muy a menudo no se asemeja a la escritura original [4]. En conclusión, la reconstrucción del movimiento escritural es considerado como una de las claves en la determinación de la autoría del documento cuestionado o de la autenticidad de las firmas discutidas.

Cuando comparamos con escrituras digitalizadas, como las producidas en tablets, el análisis de la escritura adquiere mayor dificultad ya que solo contamos con información en 2D; las variables del dinamismo, del movimiento, la presión, la velocidad, las variaciones en profundidad, no pueden ser analizadas. La dificultad también reside en el hecho de que es muy complicado segmentar escrituras muy personalizadas. La naturaleza no repetitiva en la variación de las firmas a causa de la edad, enfermedad, la ubicación geográfica y hasta cierto punto el estado emocional de la persona, acentúa el problema.

Sin embargo, se puede observar que, cuando efectuamos una firma sobre un folio común, la punta del útil además de liberar tinta, deforma el papel, en otras palabras, la escritura deja un surco en el papel y la profundidad de este está en función de la presión ejercida a través del útil. Por tanto, un análisis en 3D puede revelar información acerca de la secuencia del trazado y de la presión aplicada en el papel durante la ejecución (profundidad) [5,6]. En este estudio se propone la obtención de un perfil 3D por medio de la holografía conoscópica, se transforma lo que aparentemente es un escrito plano en un paisaje de valles y colinas que revelan la presión y profundidad de cada palabra. La holografía conoscópica es una técnica de medida en 3D que no precisa contacto incluso con luz incoherente se puede determinar con exactitud la distancia al punto medido. Esta técnica es adecuada para obtener un perfil micro topográfico de alta resolución 3D sobre superficies rugosas (como los soportes sobre los que se escribe). Se trata de una técnica no invasora para obtener un perfil, por tanto, el trazo original no será modificado ni física ni químicamente, permitiendo que el objetivo se pueda analizar en infinitas ocasiones. En el ámbito forense la cualidad no invasora y de preservar la prueba es esencial. Para llevar a cabo esta técnica hemos usado un microscopio confocal laser, en concreto el creado por Optimet®.

La metodología propuesta es similar a la que se llevaría a cabo en 2D, técnica de comparación. Por lo tanto, para llegar a una conclusión, el examinador debe tener suficientes muestras conocidas de la escritura observada con el fin de que esta sea cotejada.

La calidad y cantidad de las muestras indubitadas (de procedencia cierta, es el estándar de comparación) que están disponibles determinará si se puede concluir alcanzar un resultado concluyente.

Los requisitos básicos para la identificación de escritura son:

- Procesos adecuados de comparación. Debemos contar con el mayor número de muestras posible, contra más haya, mejor análisis. Lo ideal es tener muestras efectuada con anterioridad y posterioridad a la examinada para poder determinar qué grado de variación presenta el sujeto.
- La escritura dubitada e indubitada debe ser del mismo estilo, las letras se comparaban con otras letras y las rúbricas con rúbricas.
- La examinación del documento original es necesario. Las máquinas como el fax o la fotocopidora no poseen la habilidad de producir un patrón 3D.

En el ámbito forense, el análisis del perfil 3D en documentos también se puede obtener utilizando un microscopio electrónico de barrido (MEB o SEM en inglés) [7] o un microscopio de fuerza atómica (AFM en inglés) [8]. SEM y AFM son técnicas comunes en el análisis 3D, pero tienen un rango limitado en la dirección vertical ( $\sim 5$  micras) y en el área de escaneado ( $< 2 \text{ cm}^2$ ). Con el microscopio confocal laser no se tienen estas limitaciones, de hecho con esta técnica se puede analizar el ancho total del documento. El análisis de documentos dubitados por medio de esta técnica no invasora tiene un gran potencial, en particular para resolver la secuencia temporal del orden en la escritura (si está parcialmente superpuesta), también para detectar la manipulación de manuscritos (si lo añadido se superpone a lo anterior), la variación en la presión y para identificar y determinar la profundidad del trazo en la escritura.

Este estudio está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se describen brevemente la holografía conoscópica y la 'conoscopic range-finder' (*¿conoscopia telemétrica?*). En la sección 3 se describe el método propuesto y se presentan los resultados experimentales obtenidos. Las conclusiones se presentan en la Sección 4.

## 2. HOLOGRAFÍA CONOSCÓPICA Y ‘CONOSCOPIC RANGE-FINDER’

La ‘*conoscopic range-finder*’ (basada en la holografía conoscópica) es muy adecuada para proporcionar un perfil 3D preciso de la escritura. En la actualidad, existen sistemas de conoscópicos baratos y bien preparados para este campo. La holografía conoscópica ya se ha descrito en profundidad en muchas ocasiones [9,10], aquí se presenta solo lo necesario para entender el siguiente debate.

La holografía conoscópica es una implementación sencilla de un tipo particular de proceso de interferencia de la luz polarizada que utiliza un cristal birrefringente.

En la holografía clásica se forma un patrón de interferencia entre un haz objeto y un haz de referencia utilizando una fuente de luz coherente. Los haces de objeto y de referencia se propagan con la misma velocidad, pero siguen diferentes trayectorias geométricas. En la holografía conoscópica, los haces de objeto y de referencia de la holografía coherente se sustituyen por el ordinario y los componentes extraordinarios de un solo haz que se propaga en un medio birrefringente. Por lo tanto, los haces de señal y de referencia tienen los mismos caminos geométricos, pero con diferentes longitudes para estos caminos ópticos (que no longitud de onda); los dos haces son una forma natural coherente con el otro y, por tanto, la técnica permite la producción de hologramas, incluso con luz no coherente.

La holografía conoscópica tiene algunas ventajas sobre la holografía clásica si lo que interesa es un punto delimitado e iluminado (un punto singular):

- Mayor estabilidad que la holografía clásica porque los caminos geométricos de ambos frentes de onda son casi las mismas.
- Una distancia ‘*interfringe*’ ajustable para resolución de la cámara CCD común; la interfaz se facilita a través de un programa computarizado.
- La posibilidad de utilizar la luz no coherente espacialmente cuasi monocromática debido a la pequeña diferencia de fase que se introduce.

El principio básico reside en posicionar un cristal intercalado entre dos polarizadores circulares con el fin de proporcionar un patrón de interferencia (véase la figura 1).

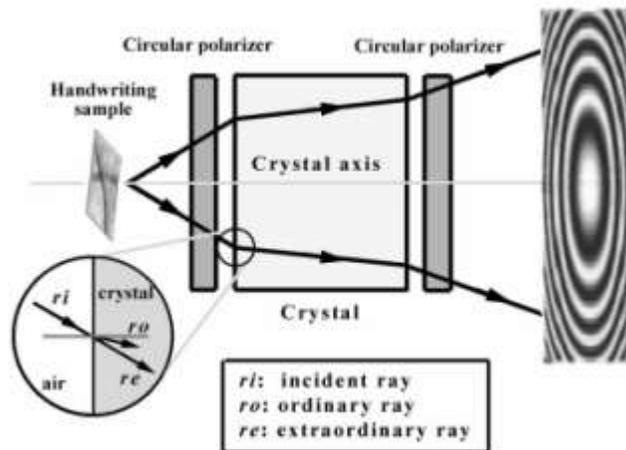


Figura 1: Principio de conoscopia

Cada punto objeto  $P(x, y, z)$  o bien, emite, difunde o refleja la intensidad de luz incoherente - cuasi monocromática, intensidad de luz no polarizada, espacialmente incoherente  $I(P)$ . Un haz de luz, con longitud de onda  $\lambda$ , que forma un ángulo  $\theta$  con el eje óptico del sistema (véase la figura 2) pasa a través del primer polarizador circular, que genera dos rayos ortogonales polarizados a  $90^\circ$  desplazados en. Dentro del cristal uniaxial (birrefringente), los dos rayos se propagan de dos formas, a saber, el ordinario y el modo extraordinario, con diferentes velocidades.

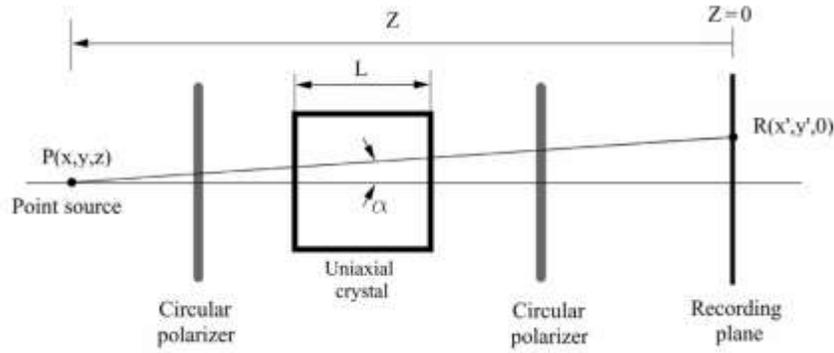


Figura 2: Propagación de la luz en un cristal birrefringente (uniaxial).

La velocidad de la onda de luz en un medio depende del índice de refracción. En los cristales uniaxiales, el índice de refracción ordinario es constante, mientras que el índice extraordinario depende del ángulo entre el rayo y el eje óptico de cristal, y por lo tanto de la ubicación del punto del objeto. Si los índices ordinario y extraordinario de refracción son  $n_o$  y  $n_e$ , respectivamente, y su diferencia es  $\Delta n$  ( $n_o - n_e$ ), a continuación, se propagarán dos ondas polarizadas ortogonales, uno con un índice de refracción  $n_o$  (rayo ordinario), y el segundo, el rayo extraordinario, con un índice de refracción  $n_e$  (D) *aprox* [11]

$$n_e(\alpha) \approx n_o + \Delta n \sin^2 \alpha \quad (1)$$

El ángulo de retraso, o la diferencia de camino óptico entre las ondas extraordinarias y ordinarias, viene dado por

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{L}{\cos \alpha} \Delta n \sin^2 \alpha \quad \text{if } \alpha \text{ is small} \quad \Rightarrow \quad \Delta\phi \approx \frac{2\pi}{\lambda} \cdot L \Delta n \alpha^2 \quad (2)$$

La intensidad en  $R(x', y', 0)$  en el plano de grabación  $z$  (debido a punto de la fuente  $P(x, y, z)$ , véase la figura 2

$$I(R, P) = I(P) T(R, P) = I(P) \left\{ 0.5 + 0.5 \cos \left\{ \frac{2\pi L \Delta n}{z^2 \lambda} \left[ (x-x')^2 + (y-y')^2 \right] \right\} \right\} \quad (3)$$

La ecuación (3) representa una placa de zona de Fresnel (FZP) centrado en  $[x'=x, y'=y]$ , además de una polarización constante. Observamos que la distancia  $z$  (coordenada de la profundidad) actúa como un parámetro, que cambia el espaciado de franja. El número de franjas (NF) en la placa de zona de Fresnel es:

$$\Delta\phi = 2\pi N_F \quad \Rightarrow \quad N_F \approx \frac{L \Delta n \alpha^2}{\lambda} \approx \frac{L \Delta n A^2}{\lambda z_0^2} \quad \Rightarrow \quad z_0 = \sqrt{\frac{N_F \lambda}{L \Delta n A^2}} \quad (4)$$

Donde  $2A$  es el tamaño de la FZP y  $z_0$  es la distancia media de la superficie iluminada del objeto al plano de registro. Por la ecuación (4), la estimación de la profundidad es posible mediante la iluminación de un área muy pequeña (por un rayo láser focalizado) y contando el número de franjas  $N_F$ . Obviamente, para la estimación de profundidad continua, se necesita una curva de calibración  $z_0(N_F)$ . Esta curva halla la distancia  $z_0$  de la superficie del objeto al centro de holograma como una función del número de franja  $N_F$ . La estimación de  $N_F$ , profundidad, se consigue mediante el uso de interpolación polinómica. Una particularidad del 'range finder' utilizado se muestra en la Figura 3.



Figura 3

La resolución vertical y el intervalo dinámico del sistema son 0,2 y 2000 Pm, respectivamente. El sistema utilizado en este trabajo se encuentra en la configuración de corrección del efecto de la sonda. La configuración de corrección del efecto de la sonda consiste en mantener la sonda conoscópica fija y colocar el documento cuestionado para ser analizado en una tabla de registro. El error máximo de la tabla de registro es de 12cm, con una precisión de la posición de 0,5 Pm. Los documentos se colocan sobre un soporte poroso de cobre, debido a la evacuación del aire a través de los orificios microscópicos en este material, la posición del documento permanece inalterada durante toda la medición.

### 3. ANÁLISIS DE DOCUMENTOS EN TRES DIMENSIONES

La conoscopía '*range-finder*' determina la microtopografía de la superficie examinada. El perfil resultante en 3D muestra los trazos ejecutados por la punta del útil como una impresión/marca en el papel [6].

La superficie de un documento manuscrito suele contar con una textura rugosa propia del soporte, con trazos naturales de la punta del útil (ondulación) y la forma (en muchos casos la hoja de papel puede contener también formas significativas, como deformaciones) [12]. Es importante tener en cuenta que la rugosidad del papel generalmente es de 2-5 pm (dependiendo del tipo de papel utilizado); el rango de profundidad en los surcos dejados por el paso del útil sobre el papel es de 2-15 pm (depende de la presión y el soporte); las deformaciones de las hojas de papel pueden ser también 100 veces mayor que la impresión de trazo de lápiz de punta.

La conoscopía '*range finder*' obtiene una vista microtopográfica de la superficie examinada. El perfil 3D muestra la variación de la profundidad y del trazado sobre el papel [6]

Un soporte de escritura común consta una superficie rugosa, el trazado escritural, la forma (en muchos casos el propio folio cuenta con deformaciones) [12]. Es importante tener en cuenta que el rango de rugosidad del papel es de 2-5 Pm (depende del papel); la profundidad varía entre 2-15 Pm (depende de la presión, del soporte y del útil); las deformaciones del papel pueden ser hasta 100 veces mayores que la profundidad.

La figura 4(a) muestra los datos sin procesar del análisis de la letra "a".

Por lo tanto, es necesario el procesamiento de los datos, imágenes 3D y filtrado para conseguir un modelo de superficie que se pueda utilizar para identificar las líneas que describen la escritura [13].

El primer paso que se lleva a cabo es la individualización y la eliminación de las deformaciones del papel usando el filtro 3D adecuado. La letra de una palabra o símbolo genera un 'surco' en la hoja, además de provocar una deformación global sobre la hoja. La Figura 4(b) muestra la deformación global por medio de técnicas de eliminación de "forma" 3D. El perfil de la superficie del símbolo "a", después de la operación de "desenconfado", se muestra en la figura 4(c). Estos datos ya tratados se hacen pasar a continuación a través de una nueva elaboración para separar los componentes de rugosidad y ondulación de la superficie. La Figura 4(d) muestra el componente de la rugosidad presente en la hoja de papel. El trazado se muestra en la Figura 4(e). Por último la vista 3D en espejo a lo largo del eje z se ilustra en la Figura 4(f).

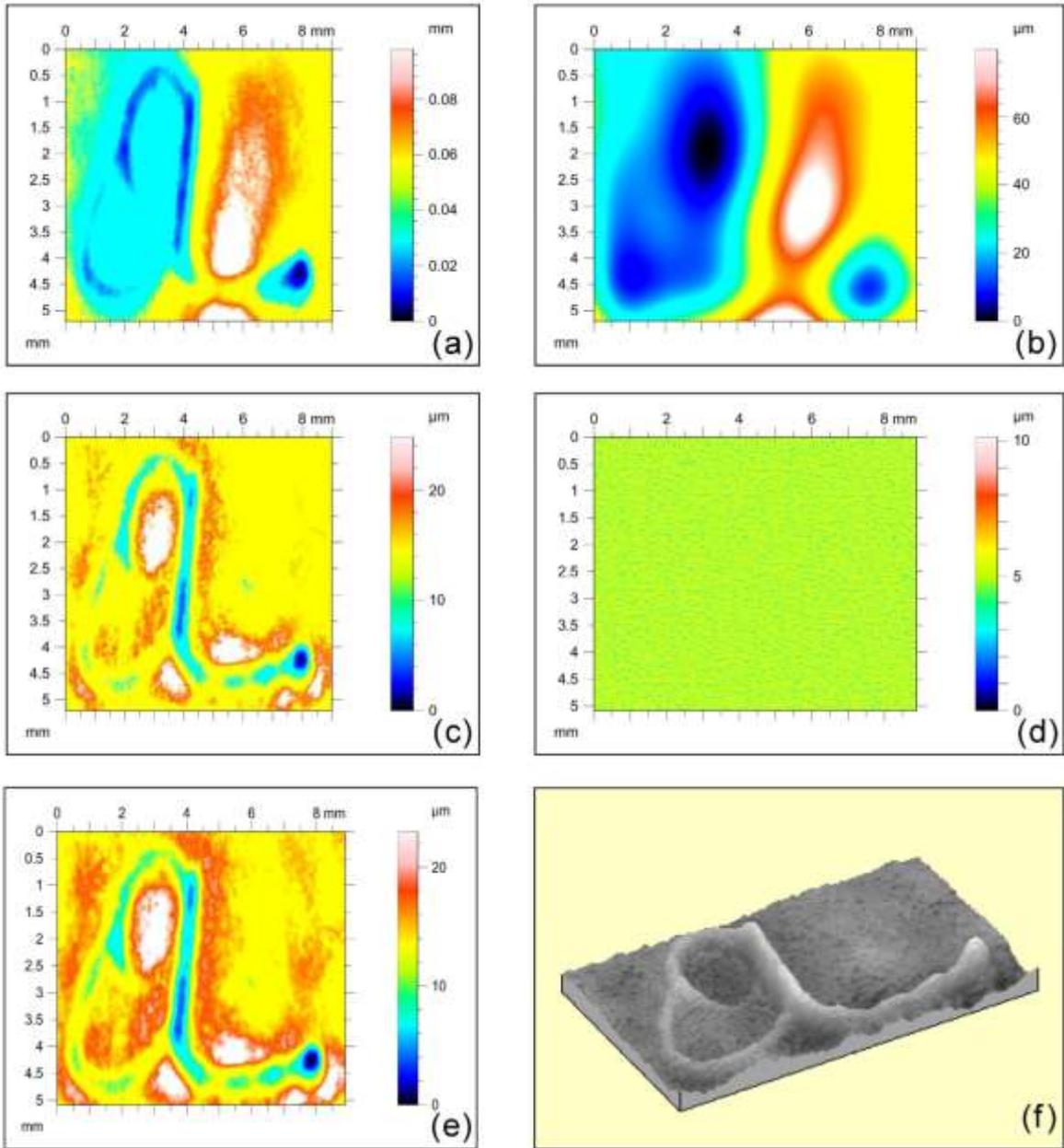


Figura 4: Procesamiento de imágenes 3D para el aislamiento de la rugosidad, ondulación y forma en un trazado escritural. (a) Datos originales; (b) Forma-deformación del papel; (c) Perfil del símbolo en una moneda de euro después del filtro ‘eliminación de la forma; (d) Rugosidad del papel; (e) Profundidad; (f) vista en espejo del perfil 3D

Al observar la imagen 3D reconstruida, los trazos aparecen como surcos, para el reconocimiento de la dinámica de cruce de trazos el observador tiene que prestar atención a algunas características particulares. Un primer paso, consiste en verificar la presencia de 'bultos' (otras palabras que ayudan a entenderlo, pared/muro lateral 'bump' en la imagen), irregularidades en los surcos producidos en el papel por la punta del útil empleado en la escritura. Estas protuberancias se encuentran en los laterales del segundo trazo que cruza al primero. La presencia de estos 'muros laterales' se localiza en la zona de cruce de trazos a lo largo del primer trazo ejecutado, y deben destacar sobre la depresión del papel producida por el doble paso del útil. La identificación de estos elementos dependen del tipo de papel y del tipo de útil que hayamos utilizado.

La figura 5 muestra un ejemplo típico de análisis. Esta muestra ha sido realizada usando un bolígrafo negro con punta de bola (Bic® E25) en un folio de papel blanco de densidad 80 g/m<sup>2</sup> el clásicamente utilizado para imprimir y escribir. La figura 5(a) y 5(b) muestran la zona de cruce desde dos ángulos distintos para resaltar la presencia de los mencionados 'muros laterales' a lo largo del primer trazo (F). La Figura 5(c) muestra el reverso del perfil de profundidad, en esta se puede observar con claridad como el segundo (S) ha sido realizado posteriormente al (F), esto es así porque su continuidad de forma no se ve interrumpida, al contrario que el (F) que si se ve interrumpido. Como se puede ver, una característica del Segundo (S) es que 'corta' al primero (F).

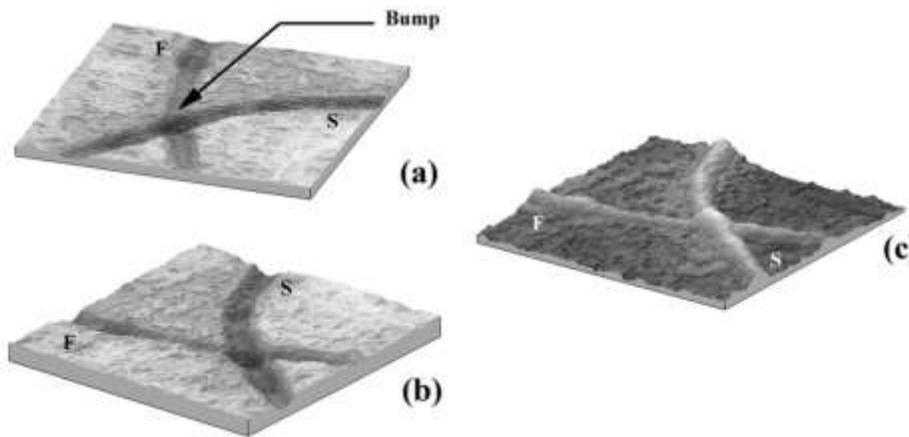
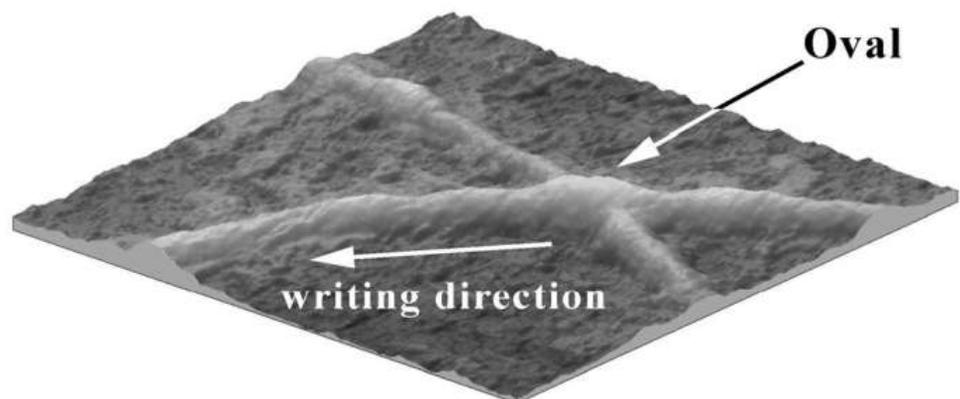


Figura 5: Profilometría usando la holografía confocal laser. El área investigada es aproximadamente 5x5mm (a) y (b) vistas 3D de los trazos. Se puede observar la continuidad en el trazo (S), así como la evidente presencia de los 'muros laterales' o 'bumps'. (c) Vista 3D en espejo en el eje z.

En la figura 5 (c) observamos la presencia de un "óvalo", exactamente donde ambos trazos se cruzan. Este óvalo es producido por la "caída" de la punta del útil en el surco producido por el primer trazo. Analizando este óvalo es posible concluir que se alarga en la dirección del trazo (es decir, el eje longitudinal del óvalo, indica la dirección de ejecución) [5]. Por lo tanto, a partir del análisis de este tipo de "óvalo", cuando está presente, es posible identificar la dirección del trazo (ver Figura 6).

Figura 6: Vista 3D de figura 5(c) muestra la zona de análisis desde otro punto de vista. En esta imagen es posible percibir la dirección de escritura en función del alargamiento del óvalo.



La determinación de la dirección de escritura puede ser llevada a cabo con mayor efectividad por medio del análisis profilométrico sobre los trazos. Figura 7 muestra este tipo de análisis sobre la letra “j”.

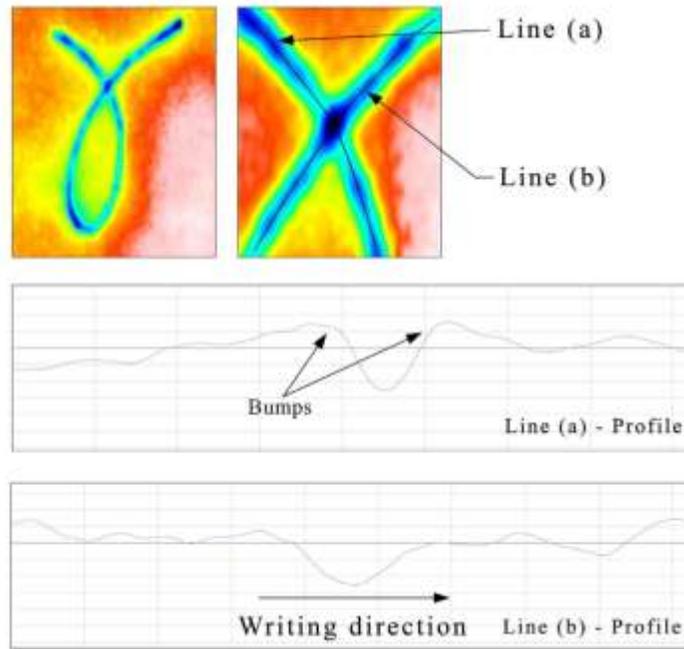


Figura 7: Profilometría de los trazos.

Observando la figura 7 es posible observar que a lo largo del primer trazo suceden dos evidentes ‘bumps o muros laterales’. La presencia de estos ‘muros’ en el análisis del trazo (a) confirma que este es el que ha sido trazado en primer lugar. El perfil obtenido en el trazo (b) muestra algunas características interesantes.

Cuando la punta del útil llega al borde del punto del cruce -donde se encuentra el primer trazo-, esta cae en el surco, inmediatamente después vuelve a subir allanando el segundo ‘muro’ o ‘bump’. De esta secuencia de hechos surge el ‘óvalo’ y su dirección marca la dirección de ejecución. Por tanto, analizando la presencia de los ‘muros’ o ‘bumps’ podremos determinar el orden de ejecución del trazado.

En la Figura 8 se ilustra el símbolo ‘&’ realizado de distintas formas en cuanto al orden del trazado.

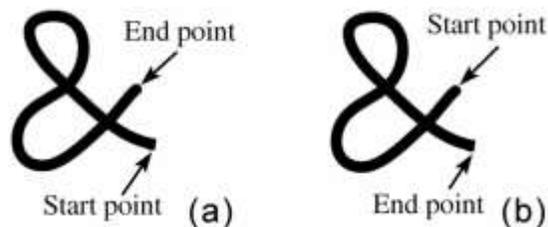


Figura 8: Trazados diferentes

La vista 3D del análisis del símbolo “&” de la Figura 8 se muestra en la Figura 9.

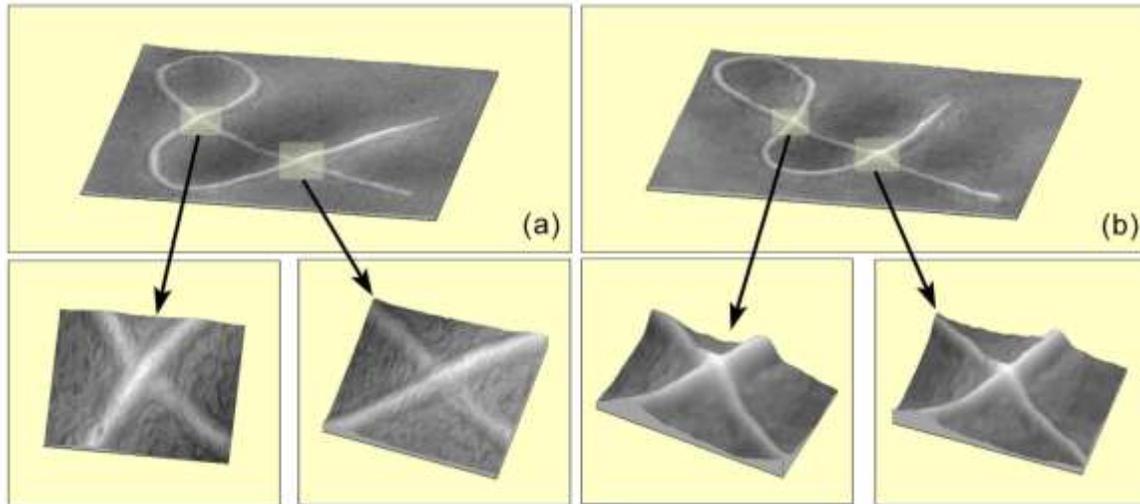


Figura 9: Distintas secuencias de ejecución- vista 3D de los trazos.

El análisis de la reconstrucción 3D de los surcos dejados por la punta del útil (en la figura 9 se muestran con un espejo a lo largo del eje z) es posible reconocer los diferentes ordenes de ejecución en la Figura 9. Con este método también es posible resolver un cruce de trazos complejo. La figura 10 muestra un guión escrito a mano con más de dos líneas de intersección. La vista 3D, en relación con esta secuencia de trazos se muestra en la Figura 11. Es posible ver que, incluso en este caso, se obtiene la secuencia correcta de orden de ejecución.

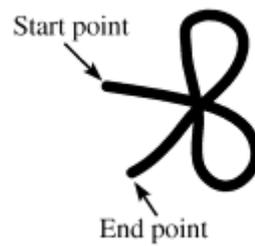


Figura 10: Grafismo con más de dos líneas de cruce.

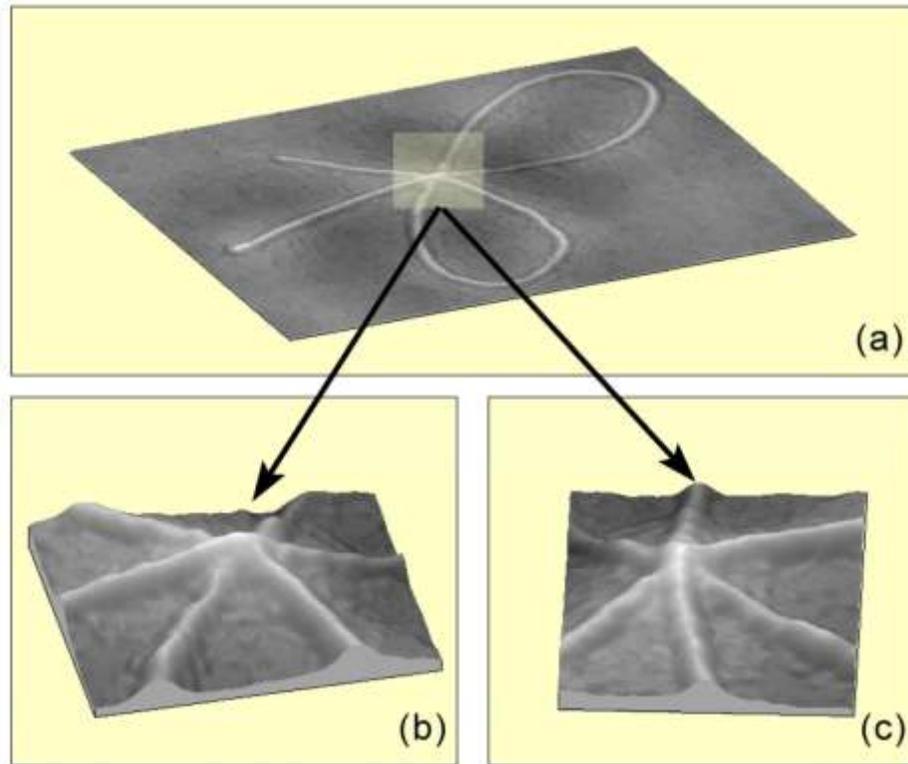


Figura 11: Vista 3D del grafismo con más de dos líneas de intersección. (a) muestra el perfil y (c) perfil 3D desde otro ángulo.

Por último, este método es capaz de reconstruir la secuencia de ejecución de una escritura a mano. Figura 12 muestra la escritura “campo” con el orden de realización del trazado.



Figure 12: Escritura secuenciada.

La vista 3D de la escritura permite la correcta reconstrucción del orden de ejecución. La vista de la palabra “campo” se ilustra en la Figura 13. Analizando las características de las imágenes 3D es posible reconstruir la secuencia.

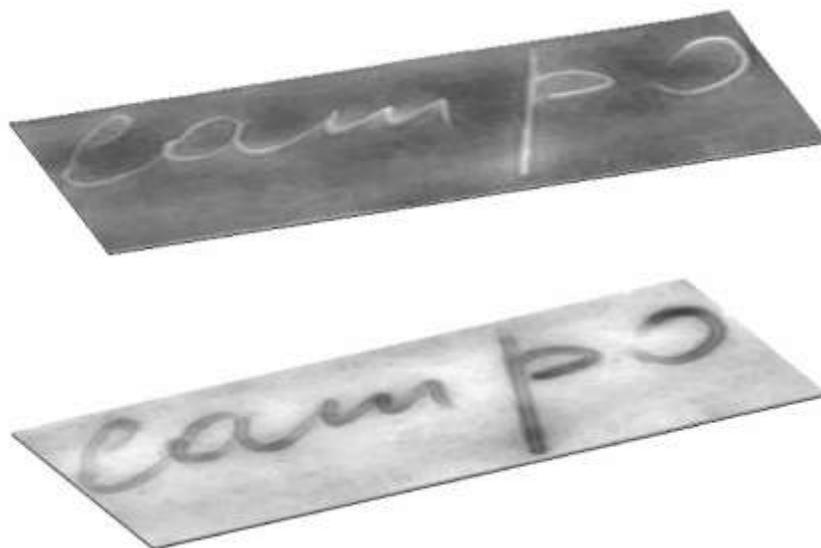


Figura 13: Vista 3D de la escritura permite la correcta reconstrucción del orden de ejecución.

Para afianzar la capacidad del método propuesto para determinar el orden en los cruces de trazos hemos realizado numerosas pruebas. Hemos utilizado diferentes bolígrafos en diferentes papeles. La siguiente tabla sintetiza los resultados.

<b>Tabla de resultados para cada tipo de bolígrafo</b>		
<b>Tipo de bolígrafo</b>	<b>Identificación positiva</b>	<b>No concluyente</b>
BIC pen	98	2
Ballpoint pen with fine point	49	1
Fountain pen	42	18
Liquid ink pen	32	8
Felt pen	48	12
Felt pen with fine point	31	9

Los resultados mostrados en la tabla confirman que los bolígrafos de punta de bola son los más recomendados para firmar documentos legales.

## 4. CONCLUSIÓN

En el presente texto, hemos presentado un nuevo método que reconstruye la secuencia de trazos de una muestra grafoescritural a partir de un análisis en 3D. Este método se basa en la detección de la dinámica de los trazos, así como, en particular, del orden de superposición. El sistema utiliza la holografía conoscópica y un análisis en 3D de los datos. Hasta donde conocemos, esta es la primera vez que los hologramas se han utilizado para analizar la escritura. Es muy difícil comparar el método propuesto con otros métodos que utilizan el análisis 2D; por lo tanto, consultar otros estudios es necesario para comparar el método holográfico con las técnicas de puño y letra de análisis actuales para ver en qué grado este método destaca. En particular, es esencial para desarrollar un protocolo de medida y de interpretación de los resultados, y que el científico forense apruebe este protocolo. Sin embargo, el método propuesto funciona bien y permite, en la mayoría de los casos, determinar en qué orden se realizaron trazos superpuestos. Además, el método es capaz de analizar las variaciones de presión utilizadas durante la escritura. El estudio en este tema se orientará en la determinación "automática" de las características 3D de la escritura a mano. El límite principal de la técnica propuesta es el tiempo consumido para la digitalización 3D de la muestra. Por esta razón, es esencial para llevar a cabo estudios para la mejora del hardware utilizado. La instrumentación comercialmente disponible es inadecuada para una amplia utilización de la técnica.

## REFERENCIAS

1. G. Poulin, "Establishing the sequence of strokes: the state of the art", *Int. J. Forensic Doc. Examiners*, **2**, pp.16-32, 1996.
2. R. Sabourin, G. Genest and F. Prêteux, "Off-line Signature Verification by Local Granulometric Size Distributions", *IEEE Trans. on PAMI*, **19**(9), pp. 976-988, 1997.
3. Y. Kato, and M. Yasuhara, "Recovery of Drawing Order from Single-Stroke Handwriting Images", *IEEE Trans. on PAMI*, **22**(8), 938-949, 2000.
4. R. J. Jalbert, "Detecting Forgeries Requires Analysis of Strokes and Pressures", *New York State Bar Journal*, November/December, pp.24-25, 2000.
5. V. Berx and J. De Kinder, "A 3D view on the 'crossing lines' problem in document investigation", *Proc. SPIE* vol. **4709**, pp.102-110, 2002.
6. Schirripa Spagnolo G., Simonetti C., Cozzella L., "Superposed strokes analysis by conoscopic holography as an aid for a handwriting expert", *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, **6**, 869-874, 2004.
- 7.
8. S. Tollkamp, H.G. Fackler, "Use of low voltage SEM in the detection of forgeries", *Int. J. Forensic Doc. Examiners*, **2**, pp. 333-341, 1996.
9. S. Kasas, A. Khanmy-Vital, G. Dietler, "Examination of line crossings by atomic force microscopy", *Forensic Science International*, **119**, pp. 290-298, 2001.
10. Y. Malet, and G.Y. Sirat, "Conoscopic Holography application: multipurpose rangefinders", *J. Opt.*, **29**, pp. 183-187, 1998.
11. G.Y. Sirat, "Conoscopic holography: I. Basic principles and physical basis; II. Rigorous derivation", *J. Opt. Soc. A*, **9**, pp. 70-90, 1992.
12. M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics* (New York: Pergamon), 1975.
13. ANSI B46.1, "Surface Texture (Surface Roughness Waviness and Lay)", *published by the American Society of Mechanical Engineer*, 2002.
14. J. Raja, B. Muralikrishnan, Shengyu Fu. Recent advances in separation of roughness, waviness and form, *Precision Engineering Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology*, **26**, pp. 222-235, 2002.