



International Multidisciplinary Congress of Engineering CONIMI

Booklets



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - Google Scholar DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID - V|LEX

Title: Fiber optic encoder based on phase shift interferometry

Authors: López-Álvarez, Yadira Fabiola, Peña-Lecona, Francisco Gerardo, Muñoz-Maciel, Jesús and Rodríguez-Franco, Martín Eduardo

Editorial label ECORFAN: 607-8948

BCONIMI Control Number: 2024-01

BCONIMI Classification (2024): 250924-0001

RNA: 03-2010-032610115700-14

Pages: 13

Universidad de Guadalajara T-1555-2018 0000-0002-9041-1908 375952
 Universidad de Guadalajara 0000-0002-9537-8633 122563
 Universidad de Guadalajara 0000-0001-7091-6573 12315
 Universidad de Aguascalientes T-1539-2018 0000-0002-6804-4777 660892

CONAHCYT classification:

Area: Physics-Mathematics and Earth Sciences

Field: Physics

Discipline: Optical

Subdiscipline: Physical optics

ECORFAN-México, S.C.

Park Pedregal Business. 3580,
Anillo Perif., San Jerónimo
Aculco, Álvaro Obregón,
01900 Ciudad de México, CDMX,
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: MARVID-México S.C.
E-mail: contact@marvid.org
Facebook: MARVID-México S. C.
Twitter: MARVID-México S. C.

www.marvid.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Introducción

Los avances tecnológicos propician al desarrollo de nuevos instrumentos de medición que presenten mayores ventajas sobre los instrumentos mecánicos y electromecánicos cotidianos, por lo que proponer un sensor óptico puede dar seguimiento a este propósito.

Dentro de las técnicas para el uso de los encoder ópticos, resaltan la recuperación de fase de dos frentes de onda, difracción, polarización, también, se han construido encoder interferométricos con un rango de medición de 18 grados.

A pesar de los avances que se han tenido hasta el momento, disponer de un sistema robótico capaz de medir 360 grados puede ser una tarea complicada, esto debido al tipo de sensores que se esté empleando, incluso, el mismo diseño mecánico lo que hace necesario agregar eslabones al sistema robótico, así como sensores especializados, implicando un alto costo monetario.

Debido a esto, el uso un encoder capaz de monitorear el giro completo de una articulación robótica funcionando directamente como un transductor, que pueda proporcionar una rápida y confiable localización del sistema, que trabaje en ambientes hostiles, con alta precisión, repetitividad en la medición, con un tamaño reducido y que además ayude a nuevos diseños de instrumentos confiables, son las razones para el estudio del comportamiento de un encoder de fibra óptica basado en interferometría.

Este trabajo radica en mostrar un encoder interferométrico capaz de medir movimientos angulares completos sin restricciones, recuperando su posición inicial, además de comprobar su comportamiento mediante una modelación y simulación.

Metodología

Modelo matemático implementando

Una de las técnicas más utilizadas y que muestran gran aceptabilidad es la *Phase shifting interferometry* (PSI), registra una serie de interferogramas con diferencias de fase, como lo muestra la ecuación (1).

Para realizar el proceso de la reconstrucción de la fase, en general, se aplican algoritmos con combinación de los interferogramas; el análisis se puede hacer con $n = 1, 2, \dots, M$ interferogramas.

$$\tan\varphi = \frac{\sum_{n=1}^M b_n I_n}{\sum_{n=1}^M a_n I_n} \quad (1)$$

Para obtener la fase φ , con la técnica de PSI, se consideró que el cambio de camino óptico está determinado por la ecuación (2) donde θ está dado en intervalos de $\frac{\pi}{2}$.

$$R(\hat{z}, \theta) = \begin{pmatrix} \hat{x} \cos \theta - \hat{y} \sin \theta \\ \hat{x} \sin \theta + \hat{y} \cos \theta \\ \hat{z} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Desarrollo de experimentos

Para el desarrollo del encoder se construyó un interferómetro Mach Zehnder a base de fibra óptica simple modo, Figura 1. Se utilizó una fuente de luz láser Helio- Neón a 632.8 nm y un objetivo de microscopio a 20X.

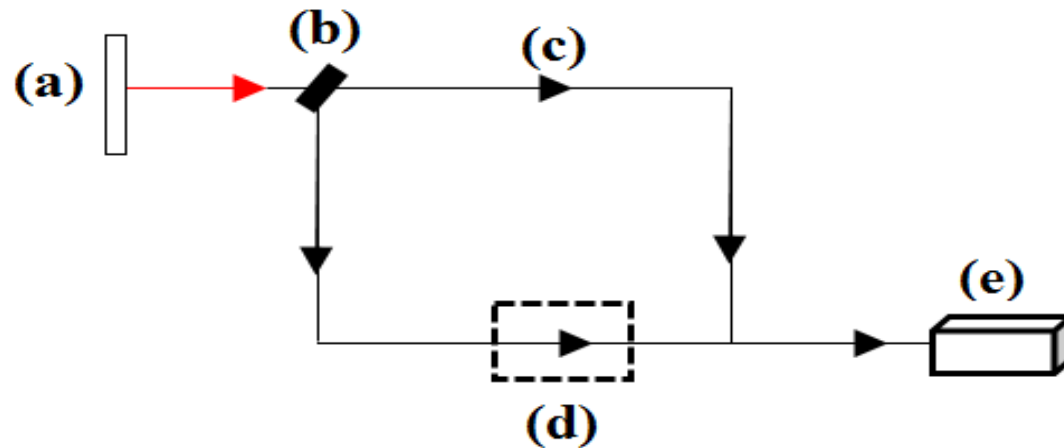


Figura 1 Interferómetro Mach-Zehnder para encoder interferométrico (a) Fuente, (b) Divisor de haz, Fibra optica: (c) Referencia, (d) Perturbación externa y (e) CCD.

Resultados experimentales

Se obtuvieron un conjunto de interferogramas con una diferencia de fase de $\frac{\pi}{2}$, la Figura 2 muestra los interferogramas obtenidos.

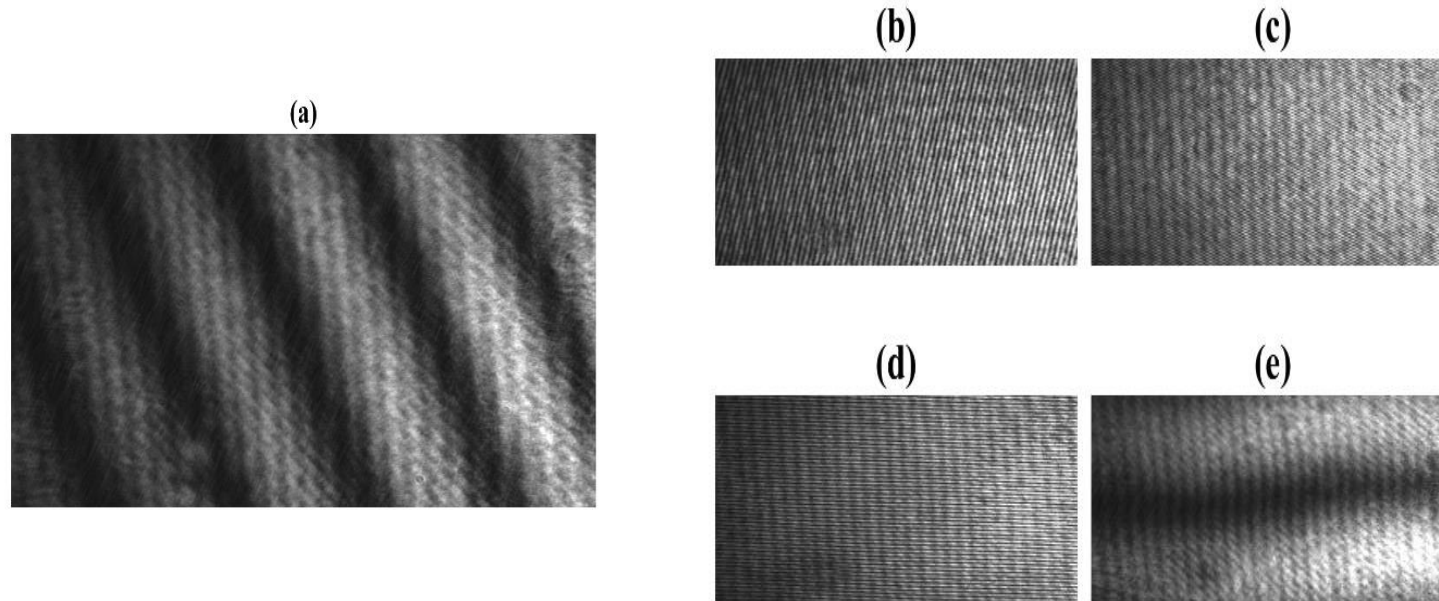


Figura 2 Franjas de interferencia de encoder utilizando Interferómetro Mach-Zehnder, con θ : (a) 0, (b) 90, (c) 180, (d) 270 y (e) 360 grados.

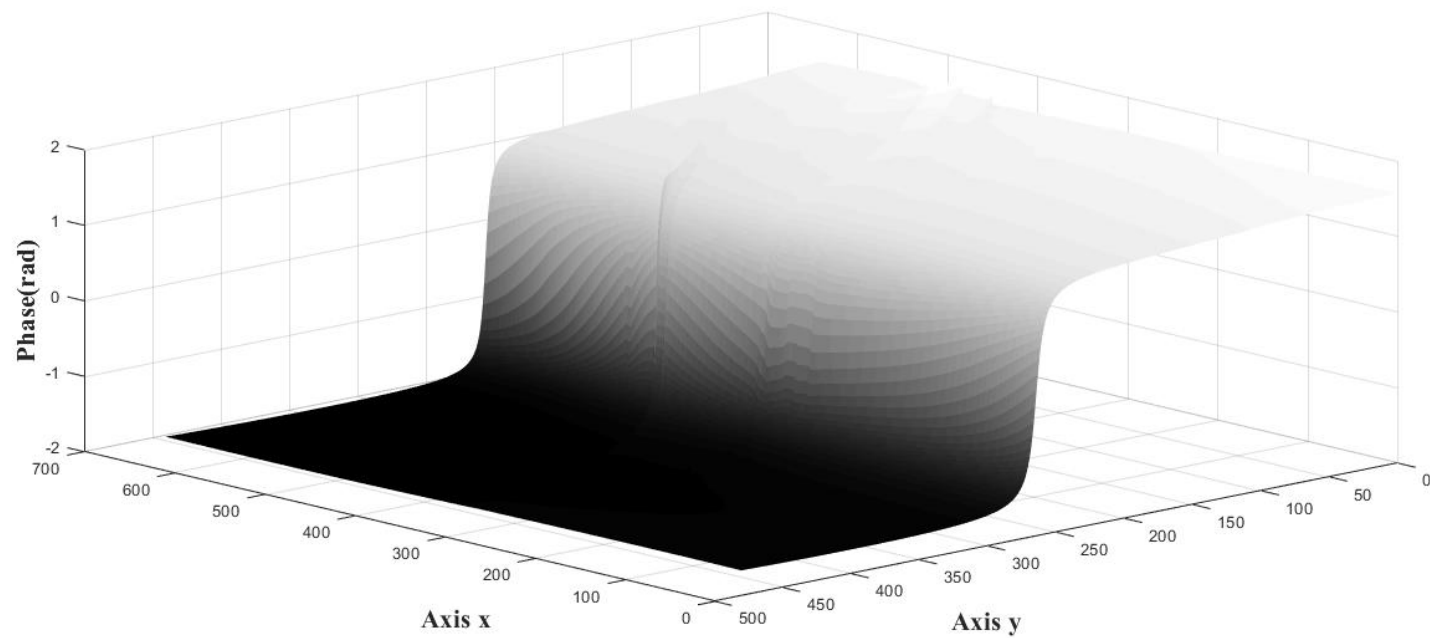


Figura 3 Mapa de fase experimental del encoder, utilizando interferómetro Mach Zehnder, $I_n, n = 5$

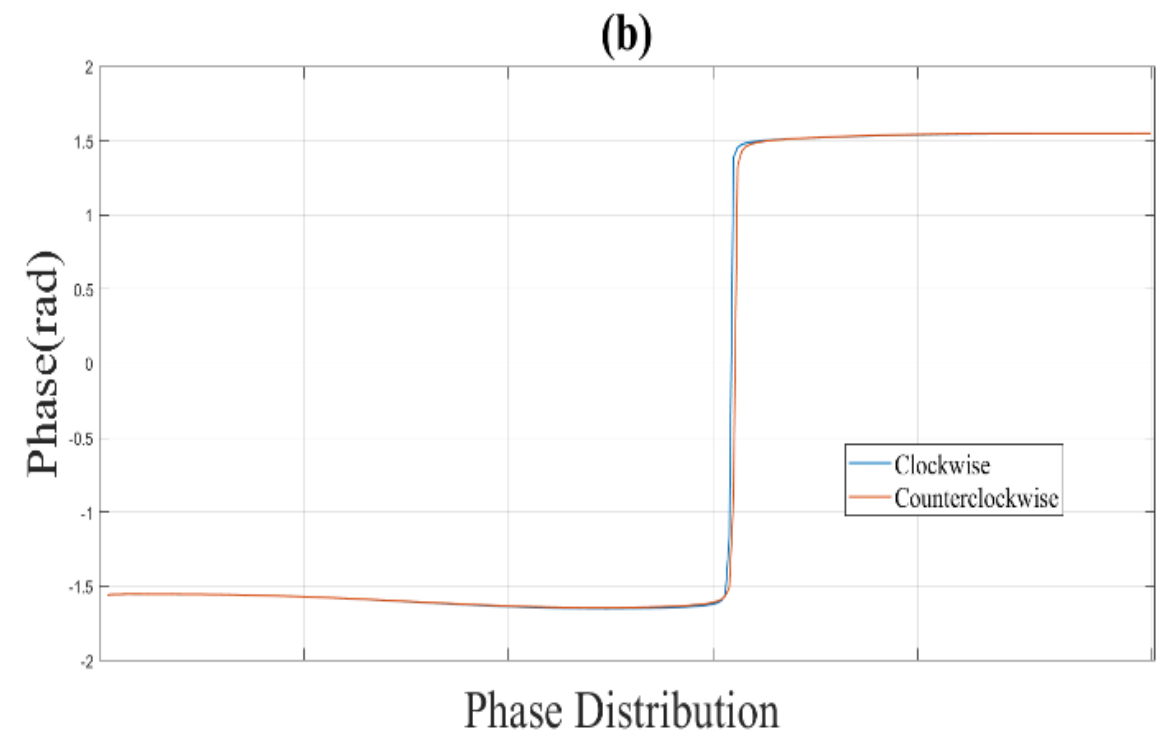
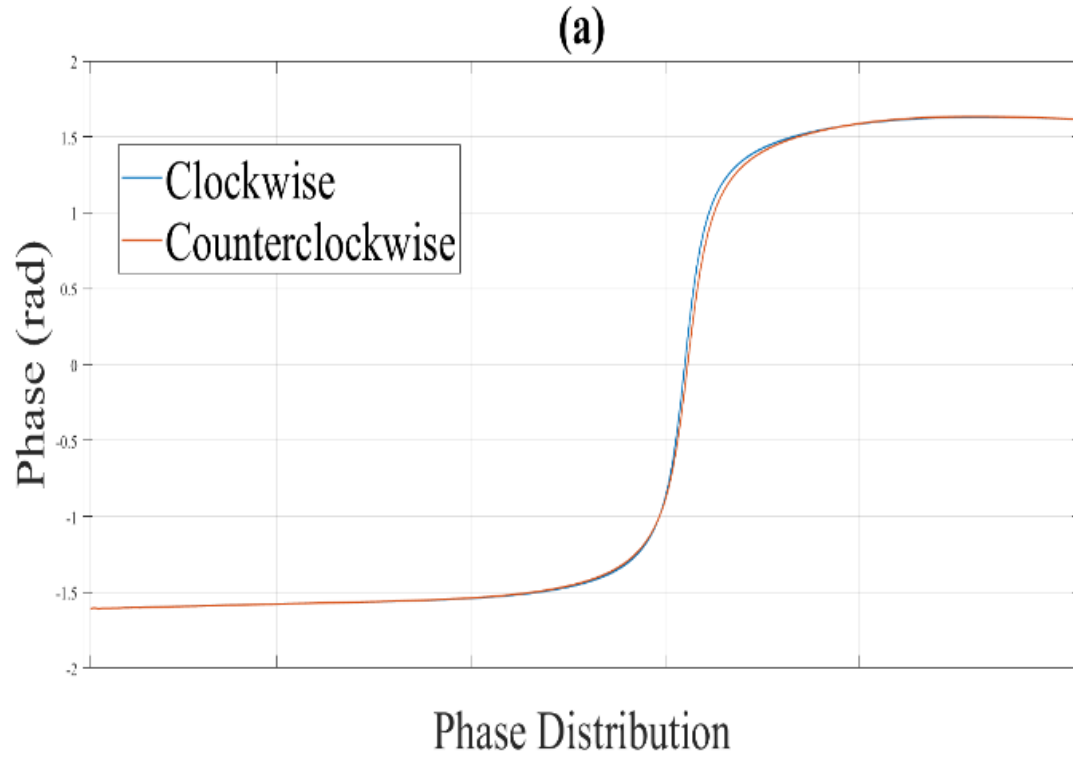


Figura 4 Perfil del mapa de fase, simulación del encoder interferométrico con las ecuaciones: (a) $\alpha_{f1} = \hat{x} \cos \theta - \hat{y} \sin \theta$ y (b) $\alpha_{f2} = \hat{x} \sin \theta + \hat{y} \cos \theta$, con $\pm \theta$

Agradecimiento

Esta investigación fue realizada con apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología, (CONAHCYT, CVU:375952).

A la Universidad de Guadalajara, CULAGOS

Conclusiones

En este trabajo se muestran los resultados obtenidos en el estudio del comportamiento de un encoder interferométrico, se realizó una comparativa entre el desarrollo experimental y el simulado utilizando los conceptos de matriz de rotación que rigen su comportamiento de un sistema robótico de rotación

El encoder interferométrico mostrado es capaz de acondicionarse a mediciones de grados muy reducidos, ya que es capaz de ajustarse al sistema giratorio que se esté utilizando, estos resultados dan pauta para analizar su uso en la navegación y localización de los sistemas robóticos.

Bibliografía

1. Huggins, R. W., Abbas, G. L., Hong, C. S., Miller, G. E., Porter, C. R., & Van Deventer, B. Fiber-coupled position sensors for aerospace applications. *Optics and Lasers in Engineering*, 16(2–3), 79–103, (1992).
2. Missie Aguado Rojas, ¬ William Pasillas Lépine ,¬¬ Antonio Loría, ¬¬ Alexandre De Bernardinis, ¬¬¬ Angular velocity estimation from incremental encoder measurements incremental encoder measurements in the presence of sensor imperfections ¬, (2017), 5979-5984.
3. Armenise, M. N., Ciminelli, C., Dell’Olio, F., & Passaro, V. M. N. (2010). Advances in gyroscope technologies. *Advances in Gyroscope Technologies* (Vol. 9783642154935, pp. 1–117). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
4. Giallorenzi, T. G., Bucaro, J. A., Dandridge, A., Sigel, G. H., Cole, J. H., Rashleigh, S. C., & Priest, R. G. Optical Fiber Sensor Technology. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 18(4), 626–665 (1982).
5. M.V. Shishovaa*, S.B. Odinokova, D.S. Lushnikova, A.Y. Zherdeva, O.A. Guryleva, Mathematical modeling of signal transfer process into optical system of a linear displacement encoder, *Procedia Engineering* 201 (2017) 623–629.
6. R. J. Tansey and S. Holly "Development of an Interferometric Encoder for High Resolution Angular Measurements", *Proc. SPIE 0887, Acquisition, Tracking, and Pointing II*, (1988).
7. Ji-hua Zhang and Lilong Cai, utofocus laser rotary encoder, Vol. 37, No. 13, *APPLIED OPTICS*, (1998).
8. Haoxiang Lang, Ying Wang and C. W. de Silva, "Mobile robot localization and object pose estimation using optical encoder, vision and laser sensors," 2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics, Qingdao, 617-622(2008).
9. Lafolla, L., Filipozzi, M., Freund, S., Zam, A., Rauter, G., & Cattin, P. C. Proof of concept of a novel absolute rotary encoder. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 312 (2020).
10. Percival F. Almoró, Giancarlo Pedrini, Arun Anand, Wolfgang Osten, and Steen G. Hanson, Angular displacement and deformation analyses using a speckle-based wavefront sensor, *APPLIED OPTICS / Vol. 48, No. 5*, (2009).

11. Yamaguchi, I., & Fujita, T. Laser speckle rotary encoder. *Applied Optics*, 28(20), 4401(1989).
12. Yamaguchi, I. Encoder and strain gauge using laser speckle. *Optics and Lasers in Engineering*, 11(4), 223–232(1989).
13. Perez Quintián, F., Lutenberg, A., & Rebollo, M. A. (2006). Study of an incremental optical encoder using speckle. In *Speckle06: Speckles, From Grains to Flowers* (Vol. 6341, p. 634121). SPIE.
14. Angelika Taubner, Hans-Jürgen von Martens. Measurement of angular accelerations, angular velocities and rotation angles by grating interferometry, *Measurement* 24 21–32(1998).
15. Nathalie Mancier, Ayoub Chakari, Patrick Meyrueis, and Michel Clément, Angular displacement fiber-optic sensor: theoretical and experimental study, Vol. 34, No. 28, *APPLIED OPTICS*(1995).
16. Mertz, L. N. (1991). Interferometric angle encoder. *Review of Scientific Instruments*, 62(5), 1356–1360. Lawrence N. Mertz, Interferometric angle encoder, *Rev. Sci. Instrum.* 62 (6), (1991).
17. D. Felekis and E. Papadopoulos, "Design and development of a low-cost interferometric device for nanoscale position and velocity feedback," 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Montreal, 611-616 (2010).
18. Drabarek, P., & Kennel, R. MAre interferometric encoders a reasonable alternative in servo drive applications? In *IET Conference Publications* (149–153), (2008).
19. Gardner, D. L., Hofler, T., Baker, S. R., Yarber, R. K., & Garrett, S. L. A Fiber-Optic Interferometric Seismometer. *Journal of Lightwave Technology*, 5(7), 953–960 (1987).
20. Kurzych, A., Kowalski, J. K., Sakowicz, B., Krajewski, Z., & Jaroszewicz, L. R. The laboratory investigation of the innovative sensor for torsional effects in engineering structures' monitoring. *Opto-Electronics Review* (2016).
21. Lutang Wang and Nian Fang, *Applications of Fiber-Optic Interferometry Technology in Sensor Fields*, InTechOpen, (2017).
22. S. M. Bennett, R. Dyott, D. Allen, J. Brunner, R. Kidwell, Molinero de R., "Fibra el gyros de la proporción óptico como reemplazos para el gyros mecánico", Instituto americano de Aeronáutica y Astronáuticas, AIAA-98-4401, (1998).

26. Anna T. Kurzych, Leszek R. Jaroszewicz, Zbigniew Krajewski, Michał Dudek, and Jerzy K. Kowalski "Interferometric optical fiber sensor set for angular velocity recording: Allan variance analysis in practice", Proc. SPIE 11199, Seventh European Workshop on Optical Fibre Sensors, 1119907 (2019).
27. Elvira-Ortiz, D. A., De Romero-Troncoso, R. J., Jaen-Cuellar, A. Y., Morales-Velazquez, L., & Osornio-Rios, R. A. Vibration Suppression for Improving the Estimation of Kinematic Parameters on Industrial Robots. Shock and Vibration, (2016).
28. Muñoz-Barron, B., Rivera-Guillen, J. R., Osornio-Rios, R. A., & Romero-Troncoso, R. J. Sensor Fusion for Joint Kinematic Estimation in Serial Robots Using Encoder, Accelerometer and Gyroscope. Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications, 78(3–4), 529–540 (2015).
29. A. Luis-Ramos, E. Maní-Panameño, Cálculo de los modos electromagnéticos en una fibra óptica mediante soporte computacional analítico, REVISTA MEXICANA DE FÍSICA 47 (4) 386-391 (2001).
30. Joseph W. Goodman, Speckle Phenomena in Optics: Theory and Applications, ISBN: 0-9747077-9-1, (2010).
31. Kjell J. Gåsvik, Optical Metrology, John Wiley & Sons Ltd, 3ed, 316 (2002).
32. J. Schwider, R. Burow, K.-E. Elssner, J. Grzanna, R. Spolaczyk, and K. Merkel, "Digital wave-front measuring interferometry: some systematic error sources," Appl. Opt. 22, 3421-3432 (1983).
33. Slabaugh, G. G. (1999). Computing Euler angles from a rotation matrix. Denoted as TRTA Implementation 6, 1–6 (2000).
34. Bajd, T., Mihelj, M., & Munih, M. Rotation and orientation. In SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology (pp. 9–36). Springer Verlag. (2013).
35. P. Hariharan, B. F. Oreb, and T. Eiju, "Digital phase-shifting interferometry: a simple error-compensating phase calculation algorithm," Appl. Opt. 26, 2504-2506 (1987).



MARVID®

© MARVID-Mexico

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162, 163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169, 209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCONIMI is part of the media of MARVID-Mexico., E: 94-443.F: 008- (www.marvid.org/booklets)