

# NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ẢNH CỦA HỆ THỐNG MÃ HÓA MẶT SÓNG VỚI MẶT NẠ PHA ĐỐI XỨNG XUYÊN TÂM

## IMAGE-QUALITY IMPROVEMENT OF WAVEFRONT CODING SYSTEM WITH RADIALLY SYMMETRIC PHASE MASK

<sup>1</sup>Lê Văn Nhu, <sup>2</sup>Trần Trọng Thắng

<sup>1</sup>Học Viện Kỹ thuật Quân Sự

<sup>2</sup>Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 09/06/2022, Ngày chấp nhận đăng: 12/08/2022, Phản biện: PGS. TS Nguyễn Hữu Quỳnh

### Tóm tắt:

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một giải pháp bằng cách thêm mặt nạ biên độ vào hệ thống mã hóa mặt nạ pha đối xứng xuyên tâm cho nâng cao chất lượng ảnh. Một mặt nạ biên độ có khả năng tăng độ tương phản ảnh ở tần số thấp mà tương ứng với vùng tần số của mặt nạ pha đối xứng xuyên tâm được thêm vào hệ thống nhằm nâng cao giá trị hàm truyền điều biến (MTF). Kết quả mô phỏng cho chứng minh hiệu quả của phương pháp đề xuất bằng đánh giá hàm MTF và mô phỏng ảnh đã được đưa đến. Các kết quả đã chỉ ra rằng phương pháp đề xuất có thể cải thiện chất lượng tạo ảnh của hệ thống mã hóa mặt nạ pha đối xứng xuyên tâm.

### Từ khóa:

Mã hóa mặt sóng; Mặt nạ pha, Hàm truyền điều biến.

### Abstract:

In this paper, we introduce additionally an amplitude mask into optical system with radially symmetric phase mask to enhance image-quality. An amplitude mask can improve low frequency region which is suitable with frequency region of optical system with radially symmetric phase mask is added to improve modulation transfer function (MTF). Simulation results show the effectiveness of proposed method by evaluated based on the MTF and simulation images. Results demonstrated that the proposed method can be used to improve image-quality of optical system with radially symmetric phase mask.

### Keywords:

Wavefront Coding; Phase Mask; Modulation Transfer Function.

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Hệ thống quang học là một thiết bị quan trọng dùng để quan sát và thu nhận hình ảnh. Với hệ thống tạo ảnh có khẩu độ số

( $NA$ ) xác định, độ sâu trường và độ phân giải ngang là hai thông số rất quan trọng, phản ánh chất lượng cũng như khả năng quan sát các vật của thiết bị [1].

Trong khi độ sâu trường xác định khoảng không gian dọc trục cho hình ảnh sắc nét thì độ phân giải ngang lại đại diện cho khoảng cách nhỏ nhất giữa hai điểm trên vật mà người quan sát còn phân biệt. Tuy nhiên, các hệ thống quang học truyền thống chịu một sự đánh đổi giữa độ phân giải ngang và độ sâu trường đó là độ phân giải ngang mong muốn càng cao thì độ sâu trường càng hẹp. Với bước sóng ánh sáng  $\lambda$  và khẩu độ số NA, độ sâu trường bằng  $0,5\lambda/NA^2$  và độ phân giải ngang bằng  $0,6\lambda/NA$  [2].

Độ sâu trường càng được mở rộng thì khả năng thu nhận được nhiều thông tin của vật ba chiều ở không gian vật càng tốt. Do vậy, mở rộng độ sâu trường là một trong những bài toán được nhiều nhà khoa học trên thế giới tập trung giải quyết. Công nghệ mã hóa mặt sóng là một công nghệ mạnh được sử dụng cho mở rộng độ sâu trường. Ở công nghệ mã hoá mặt sóng, một mặt nạ pha được giới thiệu vào hệ thống quang học truyền thống đưa đến hàm nhòe điểm (PSF) hoặc MTF bất biến trên một độ sâu trường lớn. Mặt nạ pha có thể được chia làm hai loại bao gồm mặt nạ pha đối xứng xuyên tâm và mặt nạ pha bất đối xứng [3]. Đối với mặt nạ pha đối xứng xuyên tâm, ảnh có thể chấp nhận được mà không cần qua quá trình xử lý ảnh [4]. Hơn nữa, khi quá trình xử lý ảnh được sử dụng để cải thiện chất lượng ảnh tốt hơn thì tạp chất (image artifacts) không xuất hiện trên ảnh [4]. Trong khi mặt nạ pha bất đối xứng yêu cầu một quá trình xử lý ảnh cho khôi phục ảnh sắc nét. Tuy nhiên, tạp chất xuất

hiện trên ảnh khôi phục [4]. Mặt nạ pha bất đối xứng có khả năng mở rộng độ sâu trường tốt hơn mặt nạ pha đối xứng. Mặt nạ pha bất đối xứng như mặt nạ bậc ba [5], mặt nạ sin [6], mặt nạ logarit [7], mặt nạ tan [8].

Nhiều mặt nạ pha đối xứng xuyên tâm đã được giới thiệu cho mở rộng độ sâu trường ở các hệ thống tạo ảnh quang học như mặt nạ pha bình phương [9], mặt nạ pha logarit [9], mặt nạ pha hình khuyên [4], mặt nạ pha tan [14] và vân vân [11-13]. Trong đó, các mặt nạ pha logarit, mặt nạ pha tan, mặt nạ pha hình khuyên là những kiểu mặt nạ pha đối xứng xuyên tâm mới mà đưa đến hàm MTF ổn định tốt cho sự thay đổi độ sâu trường. Ở các mặt nạ pha này, vùng tần số thấp là lớn hơn không (thông thường nhỏ hơn 0.5), trong khi vùng tần số cao gần như bằng không (thường lớn hơn 0.5). Tuy nhiên, giá trị của hàm MTF ở vùng tần số thấp là thấp so với giá trị hàm MTF tại tiêu điểm của hệ thống quang học truyền thống. Do vậy, độ tương phản ảnh không cao. Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu thêm mặt nạ biên độ vào hệ thống mã hóa mặt sóng mặt nạ pha đối xứng xuyên tâm cho nâng cao giá trị hàm MTF ở vùng tần số thấp cho nên độ tương phản của ảnh được cải thiện.

## 2. ĐẶC TÍNH TẠO ẢNH MẶT NẠ BIÊN ĐỘ VÀ MẶT NẠ PHA ĐỐI XỨNG TAN

### 2.1 Đặc tính tạo ảnh của mặt nạ biên độ

Hàm đồng tử có thể biểu diễn theo hàm biên độ,  $Q(x,y)$ , và hàm pha,  $f(x,y)$ , và có thể mô tả bằng:

$$P(x,y) = \begin{cases} Q(x,y)\exp(i \times \{f(x,y) + \psi(x^2 + y^2)\}) & \text{if } x^2 + y^2 \leq 1 \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (1)$$

ở đây,  $x$  và  $y$  là tọa độ quy chuẩn ở mặt phẳng đồng tử. Hàm  $f$  có đơn vị là radian. Độ lệch tiêu tương ứng độ sâu trường được biểu diễn theo công thức sau:

$$\psi = \frac{\pi L^2}{4\lambda} \left( \frac{1}{f} - \frac{1}{d_0} - \frac{1}{d_i} \right) \quad (2)$$

trong đó,  $\lambda$  là bước sóng ánh sáng;  $L$  là đường kính đồng tử;  $d_0$  và  $d_i$  là khoảng cách vật và ảnh.

Hàm nhòe điểm có thể nhận được bằng biến đổi Fourier của hàm đồng tử và có thể biểu diễn bằng công thức :

$$h = |FFT(p(x,y))|^2 \quad (3)$$

Ảnh nhận được của hệ thống quang học là

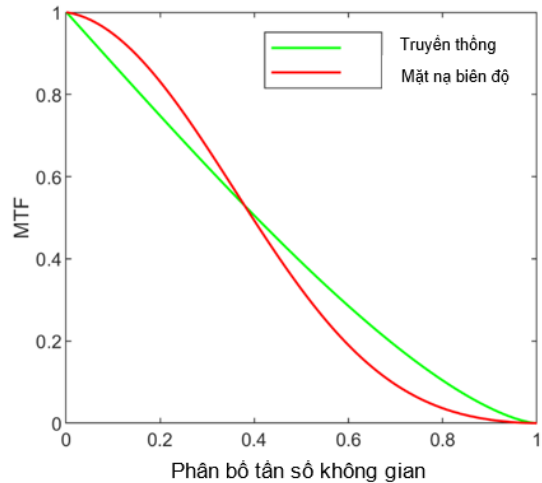
$$g = o \otimes h \quad (4)$$

ở đây  $o$  là vật, toán tử  $\otimes$  là tích chập.

Trong phần này, chúng ta sử dụng hàm biên độ được đề xuất ở bài báo [10] để nghiên cứu. Hàm mặt nạ biên độ có dạng toán học như ở công thức sau:

$$Q(x,y) = \begin{cases} \exp((a - x^2 - y^2)/b^2) & \text{if } x^2 + y^2 \leq 1 \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (5)$$

Cặp tham số  $a$  và  $b$  được sử dụng điều khiển phân bố cường độ trên mặt phẳng đồng tử.



Hình 1. Hàm MTF cho hệ thống quang học truyền thống với mặt nạ biên độ.

Xét cặp số  $a = 0$  và  $b = 0.8$ . Hàm MTF của hệ thống quang học truyền thống và mặt nạ biên độ được chỉ ra ở Hình 1. Từ Hình 1 có thể thấy rằng, giá trị hàm MTF của mặt nạ biên độ ở tần số thấp thì cao hơn giá trị hàm MTF của hệ thống quang học truyền thống, trong khi giá trị hàm MTF của mặt nạ biên độ ở vùng tần số cao thì thấp hơn giá trị hàm MTF của hệ thống quang học truyền thống. Điều này nghĩa rằng, ảnh của mặt nạ biên độ ở vùng tần số thấp có độ tương phản tốt hơn ảnh của hệ thống quang học truyền thống. Trong khi, ảnh của mặt nạ biên độ ở vùng tần số cao thì có độ tương phản thấp hơn ảnh của hệ thống quang học truyền thống.

### 2.2 Đặc tính tạo ảnh của mặt nạ pha đối xứng tan

Ở bài báo [10] đã đề xuất giải pháp mở rộng độ sâu trường bằng cách sử dụng mặt

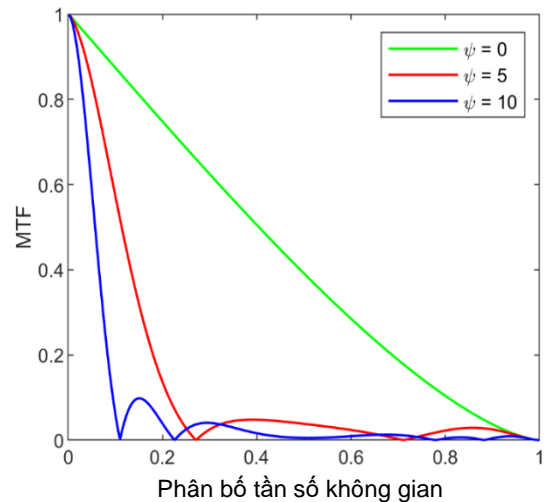
nạ pha đối xứng dạng tan. Ở bài báo này, chúng tôi sử dụng mặt nạ pha tan để nghiên cứu cho đề xuất. Mặt nạ pha này có hàm toán học là:

$$f(x, y, \theta) = \begin{cases} a(x^2 + y^2)^2 \tan(x^2 + y^2) & \text{if } \frac{m\pi}{2n} \leq \theta < \frac{(2m+1)\pi}{4n} \\ -a(x^2 + y^2)^2 \tan(x^2 + y^2) & \text{if } \frac{(2m+1)\pi}{4n} \leq \theta < \frac{(m+1)\pi}{2n} \end{cases} \quad (3)$$

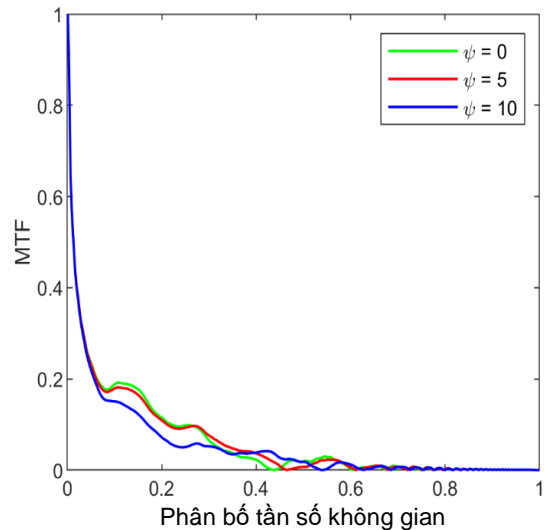
ở đây,  $\theta$  là góc trong khoảng từ 0 đến  $2\pi$ ;  $n$  là số tự nhiên;  $m$  là số tự nhiên trong khoảng từ 0 đến  $2n-1$ . Tham số tối ưu của mặt nạ pha là  $a = 31.85$  như được chỉ ra ở bài báo [10]. Đơn vị của  $a$  là radian.

Hàm MTF cho hệ thống quang học truyền thống và mặt nạ pha dạng tan được chỉ ra ở Hình 2 với các tham số độ lệch tiêu khác nhau, ở đây khoảng độ lệch tiêu được lấy theo bài báo [10]. Như hình 2 (a) chỉ ra hàm MTF của hệ thống quang học truyền thống rất nhạy với sự biến đổi của độ lệch tiêu. Khi giá trị tham số độ lệch tiêu càng lớn thì hàm MTF càng thấp và tần số cắt càng nhỏ (tần số cắt được định nghĩa là giá trị tần số đầu tiên mà giá trị hàm MTF bằng không). Do vậy, chất lượng ảnh sẽ suy giảm nhanh đối với sự thay đổi của độ lệch tiêu. Trong khi, hàm MTF của mặt nạ tan gần như ổn định với độ lệch tiêu. Tuy nhiên, giá trị hàm MTF của hàm pha tan là thấp hơn so với giá trị hàm MTF nhiễu xạ của hệ thống quang học truyền thống (tại giá trị  $\psi = 0$ ). Từ Hình 2b thấy rằng giá trị tần số cắt hàm MTF của mặt nạ pha tan gần như nhỏ hơn 0.5 cho nên chỉ có các vật có

tần số trong vùng này sẽ thu nhận được thông tin rõ nét.



(a)



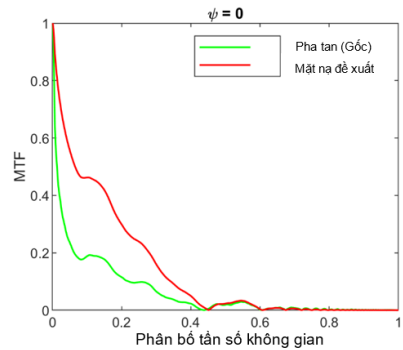
(b)

**Hình 2. Hàm MTF cho hệ thống quang học truyền thống và mặt nạ pha dạng tan cho các giá trị độ lệch tiêu khác nhau ( $\psi=0; 5; 10$ )**

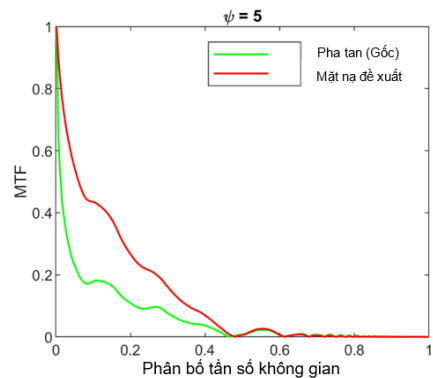
### 3. KẾT HỢP MẶT NẠ PHA TAN VÀ MẶT NẠ BIÊN ĐỘ

Như trình bày ở mục 2, mặt nạ biên độ ( $a = 0$  và  $b = 0.8$ ) đưa đến chất lượng ảnh tốt hơn ở vùng tần số thấp so với hệ thống quang học truyền thống. Trong khi, mặt nạ pha tan chỉ ở vùng tần số thấp mới cho nhận ảnh rõ nét. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất ý tưởng cho sự kết hợp mặt nạ biên độ mà nâng cao độ tương phản ở vùng tần số thấp vào mặt nạ pha hàm tan cho cải thiện độ tương phản của ảnh. Hay nói cách khác là giá trị hàm MTF sẽ được nâng cao lên ở vùng tần số thấp. Khi giá trị MTF được cải thiện cao hơn thì độ tương phản của ảnh nhận được sẽ tốt hơn. Hiệu quả của phương pháp đề xuất sẽ được chứng minh trên đánh giá hàm MTF và ảnh mô phỏng.

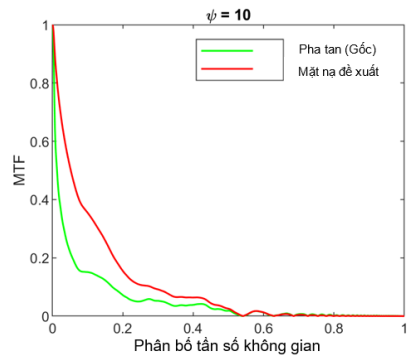
Trên cơ sở các tham số đã nhận được trên, hàm MTF của mặt nạ pha tan và phương pháp đề xuất được chỉ ra ở Hình 3. Hình 3(a) chỉ ra hàm MTF của mặt nạ pha tan và phương pháp đề xuất tại giá trị  $\psi = 0$ . Hình 3(b) chỉ ra hàm MTF của mặt nạ pha tan và phương pháp đề xuất tại giá trị  $\psi = 5$ . Hình 3(c) chỉ ra hàm MTF của mặt nạ pha tan và phương pháp đề xuất tại giá trị  $\psi = 10$ . Từ Hình 3, không khó khăn nhìn thấy rằng giá trị hàm MTF của phương pháp đề xuất là cao hơn giá trị MTF của mặt nạ pha tan. Tuy nhiên, tần số cắt hàm MTF của hai phương pháp gần như là trùng nhau. Điều này nghĩa rằng phương pháp đề xuất có thể được sử dụng cho cải thiện chất lượng ảnh của hệ thống mã hóa đối xứng xuyên tâm.



(a)



(b)

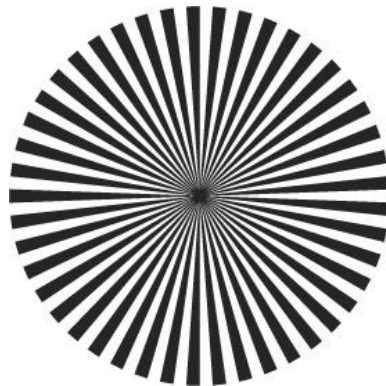


(c)

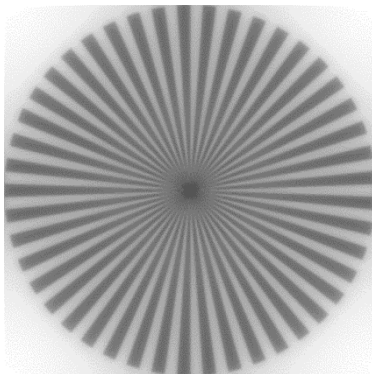
**Hình 3. Hàm MTF cho mặt nạ pha tan (gốc) và phương pháp đề xuất. Giá trị độ lệch tiêu bằng  $\psi = 0; 5; 10$ .**

Một ảnh mẫu dạng cánh quạt được sử dụng cho mô phỏng ảnh chỉ ra ở Hình 4. Ảnh mô phỏng cho mặt nạ tan và phương pháp đề xuất được chỉ ra trên Hình 5. Nhìn một cách rõ ràng rằng ảnh của mặt nạ pha tan và phương pháp đề xuất gần như bất biến

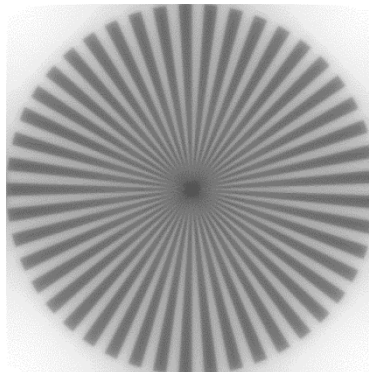
với độ sâu trường. Tuy nhiên, độ tương phản ảnh của phương pháp đề xuất là tốt hơn mặt nạ pha tan góc. Điều này có nghĩa rằng phương pháp đề xuất có thể được sử dụng để nâng cao chất lượng ảnh.



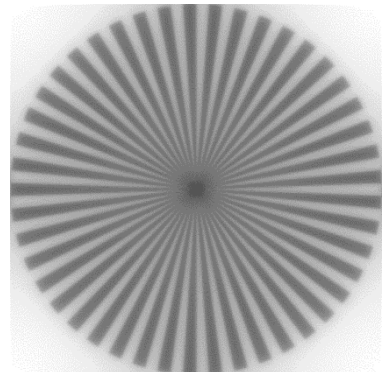
Hình 4. Ảnh gốc dạng cánh quạt.



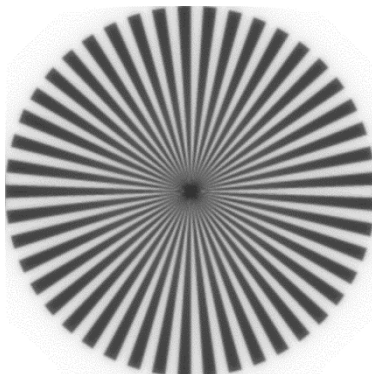
(a)  $\psi = 0$



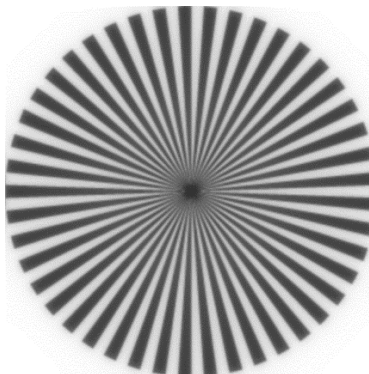
(b)  $\psi = 5$



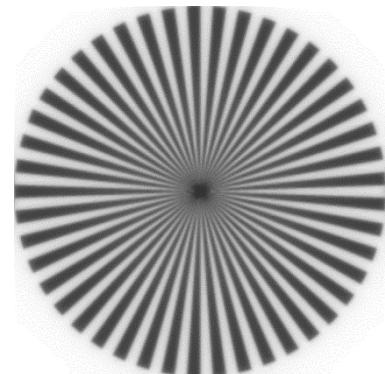
(c)  $\psi = 10$



(a1)



(b1)



(c1)

Hình 5. Ảnh mô phỏng cho mặt nạ pha tan (bên trên) và phương pháp đề xuất (bên dưới).  
Giá trị độ lệch tiêu bằng  $\psi = 0; 5; 10$ .

#### 4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một phương pháp thêm mặt nạ biên độ vào hệ thống quang học mã hóa mặt nạ pha đối xứng xuyên tâm cho cải thiện chất lượng ảnh. Một mặt nạ biên độ đã được nghiên cứu với mặt nạ pha đối xứng xuyên tâm dạng tan cho nâng cao độ tương phản ảnh.

Bằng cách kết hợp mặt nạ biên độ với mặt nạ pha tan thì hàm MTF ở tần số thấp được nâng lên gần hơn với hàm MTF nhiễu xạ của hệ thống quang học truyền thống. Các kết quả mô phỏng đã được chỉ ra với hàm MTF và ảnh mô phỏng. Kết quả chỉ ra rằng phương pháp đề xuất cho phép nâng cao độ tương phản của ảnh.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Yongzhuang Zhou, Michael Handley, Guillem Carles, and Andrew R. Harvey, "Advances in 3D single particle localization microscopy", *APL Photonics*, 4, 060901, 2019.
- [2] José-Angel Conchell & Jeff W Lichtman, "Optical sectioning microscopy", *NATURE METHODS*, VOL.2 NO.12, pp. 920, 2005.
- [3] Shouqian Chen, Van Nhu Le, Zhigang Fan, and Hong Cam Tran, "Extended depth-of-field imaging through radially symmetrical conjugate phase masks", *Optical Engineering* 54(11), 115103, 2015.
- [4] Xutao Mo, "Optimized annular phase masks to extend depth of field", *OPTICS LETTERS*, 37(11), 2012.
- [5] E. R. Dowski, Jr. and W. T. Cathey, "Extended depth of field through wave-front coding," *Appl. Opt.* 34, 1859–1866 (1995).
- [6] H. Zhao and Y. Li, "Optimized sinusoidal phase mask to extend the depth of field of an incoherent imaging system," *Opt. Lett.* 35, 267–669 (2010).
- [7] H. Zhao and Y. Li, "Optimized logarithmic phase masks used to generate defocus invariant modulation transfer function for wavefront coding system," *Opt. Lett.* 35, 2630–2632 (2010).
- [8] V. Le, S. Chen, and Z. Fan, "Optimized asymmetrical tangent phase mask to obtain defocus invariant modulation transfer function in incoherent imaging system," *Opt. Lett.* 39, 2171–2174 (2014).
- [9] S. Mezouari and A. R. Harvey, "Phase pupil functions for reduction of defocus and spherical aberrations", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *Opt. Lett.* 28, 771, 2003.
- [10] Huucong Thieu, Vannhu Le, Dinhbao Bui, Minhnggia Pham, Vanbang Le, Vanduan Pham, "Radially Symmetric-Tangent Phase Mask to Obtain Invariant Imaging System to Defocus", *International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, 2019.
- [11] J. Sochacki et al, "Phase retardation of uniform-intensity axilens", *Opt. Lett.* 17, 7–9, 1992.
- [12] D. Zalvidea and E. E. Sicre, "Phase pupil functions for focal depth enhancement derived from a Wigner distribution function", *Appl. Opt.* 37, 3623–3627, 1998.
- [13] W. Chi and N. George, "Electric imaging using a logarithmic asphere", *Opt. Lett.* 26, 875–877, 2001.
- [14] Irene Estévez, Juan C. Escalera, Quimey Pears Stefano, Claudio Iemmi, Silvia Ledesma, María J. Yzuel, Juan Campos, "Image enhancement by spatial frequency post-processing of images obtained with pupil filter", *Optics Communications*, 380, 21–27, 2016.



**Giới thiệu tác giả:**



Tác giả Lê Văn Nhu tốt nghiệp đại học tại Học viện Kỹ thuật Quân sự vào năm 2007. Năm 2012 và 2016 nhận bằng thạc sĩ và Tiến sĩ tại Đại học Công nghiệp Cáp Nhĩ Tân, Trung Quốc. Năm 2016 đến năm 2018 nghiên cứu sau Tiến sĩ tại Đại học Chiết Giang, Trung Quốc. Hiện tại tác giả đang công tác tại Học viện Kỹ thuật Quân sự. Hướng nghiên cứu chính: Kỹ thuật mã hóa mặt sóng, thiết kế hệ thống quang học, xử lý ảnh y tế, nâng cao chất lượng ảnh.



Tác giả Trần Trọng Thăng tốt nghiệp đại học Bách khoa Hà Nội năm 2006. Năm 2009 nhận bằng thạc sĩ tại Học Viện Kỹ thuật Quân sự. Hiện đang công tác tại Khoa Điện tử - Viễn thông, Trường Đại học Điện Lực. Hướng nghiên cứu chính : Xử lý ảnh y tế, nâng cao chất lượng ảnh, hệ thống giám sát từ xa, ứng dụng của IOT.