

UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UTEC

Carrera de Ciencia de la Computación



**Evaluación de Técnicas Modernas de Optimización en
Dos Dispositivos Nanofotónicos: *bend-90°* y *2-splitter***

Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Ciencia de la Computación

José Leonidas García Gonzales

Código 201720102

Asesor

Jorge Luis Gonzalez Reaño

Lima - Perú

27 de septiembre de 2021

Índice general

	Pág.
CAPÍTULO 1 Introducción	1
1.1 Motivación y Contexto	1
1.2 Descripción del Problema	2
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos	3
1.5 Aportes	3
CAPÍTULO 2 Trabajos relacionados	4
CAPÍTULO 3 Marco Teórico	5
CAPÍTULO 4 Propuesta	6
CAPÍTULO 5 Resultados Preliminares	7

Capítulo 1

Introducción

1.1 Motivación y Contexto

La fotónica está atrayendo el interés de la industria debido a su potencial en términos de escalabilidad y los beneficios de costo-eficiencia. Este potencial se evidencia, por ejemplo, con los siguientes tres puntos. Primero, mantener la tendencia que cada 10 años se mejore en un factor de 1000 el *performance* de los sistemas electrónicos parece ser posible solo con la convergencia de estos con sistemas fotónicos [1]. Segundo, existe una inversión billonaria en la fabricación de transistores cuyos procesos se están comenzando a lograr adaptar para fabricar circuitos fotónicos [2]. Tercero, el elevado ancho de banda que ofrece en comunicaciones digitales y el éxito de los cables ópticos [1, 2]. De esta manera, es prometedor el futuro de los dispositivos fotónicos.

Los dispositivos fotónicos se utilizan en grandes cantidades en los circuitos fotónicos integrados [2]. Estos dispositivos trabajan en la escala de nanómetros y son diseñados para funcionar bajo ciertos requerimientos. Así, para que estos dispositivos cumplan los requerimientos deseados existen dos estrategias comunes: diseño tradicional y diseño inverso [3].

En el diseño tradicional se define el dispositivo con geometrías simples que permiten obtener funciones analíticas de sus propiedades físicas. Esto se realiza para poder optimizar la función obtenida a partir de los parámetros que la definan. Dicha optimización se suele realizar haciendo un barrido de los parámetros, con algoritmos genéticos o usando *particle swarm optimization*. Es un enfoque simple, pero que ha obtenido buenos resultados. Sin embargo, existen dos grandes inconvenientes con este planteamiento. Primero, solo estamos explorando una pequeña fracción de todos los posibles diseños. Segundo, por lo general no es conocido el límite del *performance* del dispositivo [3, 4].

En el diseño inverso se busca hacer una mayor exploración de todos los posibles diseños. Para ello, ya no nos limitamos a solo usar diseños intuitivos. Ahora, definimos geometrías arbitrarias y usamos simulaciones computacionales para determinar las propiedades físicas del dispositivo [3, 4]. Este enfoque ha logrado conseguir mejores resultados que los obtenidos por el diseño tradicional en una variedad de dispositivos [3, 5]. Sin embargo, este planteamiento viene acompañado de nuevos desafíos.

1.2 Descripción del Problema

Una estrategia común a la hora de hacer diseño inverso es seleccionar una región rectangular de diseño y dividirla en $n \times m$ rectángulos de igual tamaño distribuidos como una matrix. Luego, seleccionamos dos materiales y decimos que cada rectángulo puede ser de alguno de ellos. De esta forma tenemos $2^{n \times m}$ posibles dispositivos [4]. Definiendo un dispositivo de esta manera podemos llegar a tener, por ejemplo, $2^{10 \times 10}$ posibles diseños [6]. Pero, surgen algunas dificultades con esta estrategia:

1. Es imposible evaluar todas los posibles diseños.
2. Las simulaciones computacionales son muy costosas [7].
3. El espacio de búsqueda es altamente no convexo [5].
4. No todos los diseños son fabricables [4].
5. Cada dispositivo es un problema distinto [3]

Así, existe una demanda crítica de un *framework* capaz de optimizar dispositivos con un elevado número de parámetros dentro de un espacio de búsqueda no convexo [7]. Este es un problema muy grande, por ello en el presente estudio nos centraremos en estudiar dos dispositivos: *bend-90°* y *2-splitter*.

1.3 Justificación

El *bend-90°* y *2-splitter* se han escogido debido a que han sido estudiados usando diseño inverso desde el 2004, pero aún no han encontrado aplicación industrial [3]. Así, con este estudio se espera contribuir dando una evaluación de las técnicas de optimización modernas aplicadas en estos dispositivos para poder guiar a futuras investigaciones.

Por otro lado, desde el punto de vista computacional este problema es interesante porque ya hay estrategias computacionales conocidas para resolverlo, desde algoritmos evolutivos [8] hasta redes neuronales [9] y *depth learning* [10]. Además, debido al alto costo computacional de las simulaciones [11] el trabajo requerirá de computación de alto desempeño. Así, es probable que se pueda obtener buenos resultados en la investigación aplicando el conocimiento ya existente en Computación.

1.4 Objetivos

El objetivo general de esta tesis es evaluar y comparar el *performance* y la convergencia de las técnicas modernas de optimización usadas para optimizar un *bend-90°* y *2-splitter*.

El siguiente objetivo es implementar un modelo de *deep learning* que pueda predecir el *performance* de un *bend-90°* y de un *2-splitter* con un error cuadrático medio menor a [INVESTIGANDO CUANTO DEBERÍA SER].

Por último, se espera lograr la fabricación del mejor diseño que se obtenga del *bend-90°* y del *2-splitter* para poder comparar las simulacionales computacionales con las mediciones físicas.

1.5 Aportes

Con este estudio se espera contribuir brindando una comparativa de las distintas técnicas que se aplican para optimizar un *bend-90°* y un *2-splitter*. Se estima que la contribución será bien recibida por la falta de trabajos de este tipo en el área [11, 12]. Además, la creación de un modelo para predecir el *performance* de estos dispositivos podría ayudar a hacer más eficientes los tutoriales relacionados a optimización de dispositivos fotónicos, pues estos suelen usar un *bend-90°* como ejemplo introductorio.

Capítulo 2

Trabajos relacionados

Usted deberá buscar, revisar, seleccionar y estudiar un conjunto de artículos pertenecientes al estado del arte y que además, sean relevantes en su área de investigación. (Entre 2 a 3 páginas)

La sección de trabajo relacionados, deberá contener un resumen, claro y conciso, de aquellos trabajos de investigación que están directamente relacionados con vuestro trabajo. Esto con el objetivo que el lector pueda darse cuenta de las diferencias entre su propuesta y las del estado del arte, además, permitirá saber como otros autores han intentado resolver un problema similar al suyo.

Capítulo 3

Marco Teórico

El marco teórico deberá contener sólo la teoría necesaria para que el lector pueda comprender su propuesta. No sea muy detallista ni específico, intente resumir y colocar los conceptos más importantes.
(Entre 2 a 3 páginas)

Capítulo 4

Propuesta

En la propuesta deberá colocar la o las ideas principales de lo que pretende realizar. Se sugiere utilizar una figura a modo de *pipeline* donde se muestre, gráficamente, cada uno de los pasos que intervienen en su propuesta. (4 a 5 páginas)

Capítulo 5

Resultados Preliminares

Es sumamente importante, para esta etapa del proyecto de tesis, tener algunos avances iniciales en cuanto a la experimentación; esto con el fin de evaluar la factibilidad del trabajo para posteriormente continuar, en el siguiente semestre, con la tesis final.

En el caso que su tesis requiera experimentos, es importante que utilice gráficos y tablas para explicar de manera mas sencilla sus resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Glick, L. C. Kimmerling, and R. C. Pfahl, “A Roadmap for Integrated Photonics,” *Optics and Photonics News*, vol. 29, no. 3, p. 36, mar 2018. [Online]. Available: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=opn-29-3-36>
- [2] Lukas Chrostowski, *Silicon Photonics Design: From Device to System*, 2010.
- [3] S. Molesky, Z. Lin, A. Y. Piggott, W. Jin, J. Vucković, and A. W. Rodriguez, “Inverse design in nanophotonics,” *Nature Photonics*, vol. 12, no. 11, pp. 659–670, nov 2018. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1038/s41566-018-0246-9><http://www.nature.com/articles/s41566-018-0246-9>
- [4] L. Su, D. Vercruysse, J. Skarda, N. V. Sapra, J. A. Petykiewicz, and J. Vučković, “Nanophotonic inverse design with SPINS: Software architecture and practical considerations,” *Applied Physics Reviews*, vol. 7, no. 1, 2020.
- [5] L. Su, A. Y. Piggott, N. V. Sapra, J. Petykiewicz, and J. Vučković, “Inverse Design and Demonstration of a Compact on-Chip Narrowband Three-Channel Wavelength Demultiplexer,” *ACS Photonics*, vol. 5, no. 2, pp. 301–305, feb 2018. [Online]. Available: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsphotonics.7b00987>
- [6] G. N. Malheiros-Silveira and F. G. Delalibera, “Inverse design of photonic structures using an artificial bee colony algorithm,” *Applied Optics*, vol. 59, no. 13, p. 4171, may 2020. [Online]. Available: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=ao-59-13-4171>
- [7] Z. A. Kudyshev, A. V. Kildishev, V. M. Shalaev, and A. Boltasseva, “Machine learning-assisted global optimization of photonic devices,” *Nanophotonics*, vol. 10, no. 1, pp. 371–383, 2020.
- [8] N. Hansen, “The CMA Evolution Strategy: A Tutorial,” 2016. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1604.00772>
- [9] I. J. Goodfellow, O. Vinyals, and A. M. Saxe, “Qualitatively characterizing neural network optimization problems,” *3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings*, 2015.

- [10] I. Malkiel, M. Mrejen, A. Nagler, U. Arieli, L. Wolf, and H. Suchowski, “Plasmonic nanostructure design and characterization via Deep Learning,” *Light: Science and Applications*, vol. 7, no. 1, 2018. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1038/s41377-018-0060-7>
- [11] P. I. Schneider, X. Garcia Santiago, V. Soltwisch, M. Hammerschmidt, S. Burger, and C. Rockstuhl, “Benchmarking Five Global Optimization Approaches for Nano-optical Shape Optimization and Parameter Reconstruction,” *ACS Photonics*, vol. 6, no. 11, pp. 2726–2733, 2019.
- [12] M. M. Elsayy, S. Lanteri, R. Duvigneau, J. A. Fan, and P. Genevet, “Numerical Optimization Methods for Metasurfaces,” *Laser and Photonics Reviews*, vol. 14, no. 10, pp. 1–17, 2020.