

Optimizaciones duales para procesos de gran coste computacional. Ensayo: minimización de spot y ghost en un sistema óptico sencillo

Dual optimization for processes with great computational cost. Test: minimizing the spot and ghost in a simple optical system

Patricia BLANCO ⁽¹⁾, Carles PIZARRO ⁽²⁾, Josep ARASA ⁽²⁾

1. SnellOptics (Simulacions Òptiques S.L.) C/Prat de la Riba 35, local 3 int, E-08222 Terrassa
2. Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6) de la Universidad Politécnica de Cataluña, Rambla Sant Nebridi 10, E-08222 Terrassa

Persona de contacto: Patricia BLANCO (tricia.blanco@snelloptics.com).

RESUMEN:

Algunos de los fenómenos de relevancia en el diseño de sistemas ópticos están relacionados con efectos cooperativos de paquetes energéticos poco relevantes individualmente. Cuando dichos efectos, por ejemplo la inclusión de elementos difusores o difractivos, se desean simular en el entorno de diseño clásico y mediante técnicas de ray-tracing es preciso incluir las contribuciones de una gran cantidad de rayos de muy baja energía. El proceso es muy sólido desde el punto de vista computacional pero conlleva el empleo de tiempos de cómputo muy elevados para obtener resultados con la precisión requerida. Estos inconvenientes han contribuido a que la incorporación de los efectos cooperativos queden relegados al estudio de tolerancias.

En la presente comunicación presentamos un novedoso proceso de optimización dual que permite la inclusión de características superficiales de alto coste computacional en las primeras etapas de optimización del proceso de diseño a partir de una valoración dinámica continua de su relevancia en el diseño final

Palabras clave: ray-tracing, proceso de optimización, optimización dual, diseño óptico, difusor, superficie óptica

ABSTRACT:

Some of the most relevant phenomena in the optical design process are directly linked with cooperative effects of small energetic units, each one of this units has not enough weight to take in account one by one, but all together play a relevant role in the system. You can find this kind of effects when diffuser or diffractive elements are presents an you wish perform its simulation in a classical design solution using ray-tracing techniques. In this configuration you need to include a large number of individual rays to obtain a good agreement between simulation and reality. The classical ray-tracing solution is really stable in the computational field of view but a large computing time is involved.

In the present communication we present a new dual optimization process capable to include the optical superficial properties, linked with a high computational cost, in the firsts design stages looking at its relevance in the final design .

Key words: ray-tracing, optimization process, dual optimization, optical design, diffuser, optical surface.

1.- Introducción

El proceso de diseño clásico consta de diversas etapas[1][2][4] en cada una de ellas la modelización de los elementos que conforman un sistema óptico: superficies, materiales, fuentes luminosas, detectores,... es más complejo y pretende ser más realista. A pesar de este intento de aproximación a la realidad algunos elementos se resisten a ser incluidos en las primeras fases de diseño debido a su alto coste computacional, quedando relegados hasta el estudio de tolerancias como, por ejemplo, el caso del stray-light y otros fenómenos de difusión [6].

Sin embargo su necesidad de inclusión cada vez es mayor ya que debido al proceso de producción de los elementos plásticos presentan en cierto grado de difusión que debe contemplarse, y dichos elementos (monturas, lentes espejos etc..) son cada día de mayor uso.

Tampoco hay que olvidar que hay determinadas aplicaciones de diseño que requieren el uso de elementos difusores, como en algunas de iluminación en las que uno de los objetivos es la uniformidad en la iluminación, y en cambio existen otras aplicaciones donde la presencia de luz difusa ha de ser mínima, como en aquellas en las que el objeto a detectar emite pequeñas cantidades de energía.

2.- Elementos de gran coste computacional

Una de las herramientas clave del diseñador de sistemas ópticos actual son aquellas basadas en las técnicas de ray-tracing. En estos entornos algunas propiedades como las difusivas o difractivas[3] se modelan empleando un gran número de rayos (Fig. 1) de muy baja energía individual [5][7], pero que cooperativamente aportan una cantidad de energía significativa.

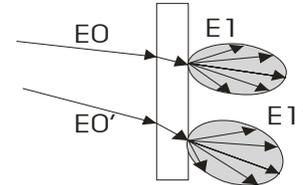


Fig. 1: Modelo de difusor superficial para ray-tracing. Los lóbulos en gris representan la distribución de energía (EI y EI' respectivamente) para las diferentes direcciones.

El umbral de energía a partir de la cual se detiene el proceso de simulación ha de ser disminuido de forma drástica (unos 6 órdenes de magnitud inferiores al valor de la energía inicial) si se desea obtener simulaciones acordes con el comportamiento final del sistema, este hecho implica un incremento altísimo del tiempo de cómputo de cada rayo trazado, alcanzándose tiempos de simulación de horas e incluso días. Si además tenemos presente que, en un proceso de optimización se realizan varios miles de simulaciones, el proceso es totalmente inoperante.

La solución utilizada hasta el momento es incluir estos fenómenos en la etapa de estudio de tolerancias[6]. Pero hay aplicaciones que son muy sensibles a ellos y un resultado que se aleje del esperado en el estudio de tolerancias, generalmente implica el desarrollo de un nuevo diseño desestimando el obtenido previamente.

En la presente comunicación proponemos un nuevo proceso de optimización dual que permite incluir estos elementos desde las etapas iniciales de diseño.

3.- Metodología: Optimización dual

El proceso de optimización dual desarrollado consta de tres elementos principales: un algoritmo de optimización de dos etapas, un mecanismo de transición, y una función de mérito adaptada .

En la figura 1 presentamos el diagrama de

bloques del proceso de optimización dual. Por simplicidad se ha obviado los controles que permiten la salida del proceso de los bucles infinitos. En caso de no obtener un diseño óptimo mediante el proceso de optimización éste finaliza y, es el diseñador el que ha de proponer un nuevo diseño inicial.

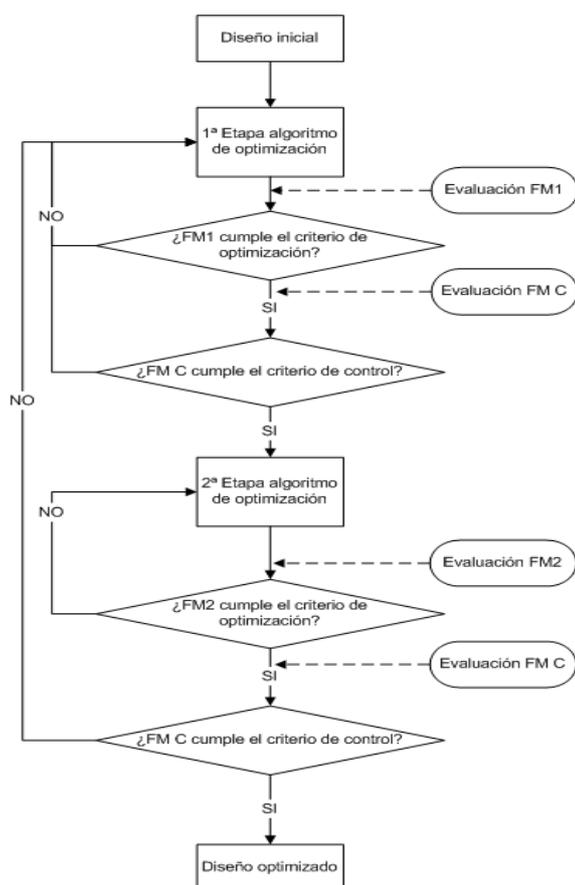


Fig.2: Diagrama de bloques de la optimización dual desarrollada. FM1, FM2 y FMC son la función de mérito adaptada.

3.1.- Algoritmo de optimización de dos etapas

A diferencia de los algoritmos de optimización clásicos[8][9], este presenta dos etapas separadas. La existencia de un estadio de transición permite activar/desactivar diferentes elementos tanto del sistema que se está optimizando, por ejemplo la propiedad de difusión, como de la propia optimización, por ejemplo diferentes partes de la función de mérito o incluso algunas variables sobre las que se optimiza. Esta característica es la que le da el nombre de optimización dual.

Aunque cada una de las etapas funciona de

manera clásica casi-independiente se ha añadido un mecanismo de transición entre ellas que permite que trabajen como un todo.

La primera etapa consiste en una optimización clásica, las propiedades de alto coste computacional están desactivadas y permite la aproximación a una solución del diseño de manera rápida.

Mediante el mecanismo de transición se activan aquellos elementos desactivados en la etapa anterior y el primer paso que realiza es la simulación completa del sistema óptimo según la primera etapa. Si el sistema es lo suficientemente bueno el algoritmo acaba, en caso contrario inicia la optimización evaluando en cada paso la función de mérito que rige esta etapa (FM 2 en la figura 2) y la función de mérito de control (FM C en la figura 2). Si este último valor se aleja demasiado del criterio establecido el algoritmo, mediante el mecanismo de transición, vuelve a la primera etapa desactivando los elementos de alto coste computacional y modificando el sistema para explorar una nueva zona del espacio de optimización.

3.2.- Mecanismo de transición

Como consecuencia de utilizar un algoritmo de optimización de dos etapas ha sido necesario la inclusión de un mecanismo de transición que regula el paso entre ambas. Este mecanismo es equivalente a un interruptor que activa/desactiva, según si la transición es de la primera etapa a la segunda o viceversa, aquellos parámetros que el diseñador considere oportunos. Estos parámetros pueden ser partes de la función de mérito, si se ha definido por partes, propiedades superficiales como la difusión, el límite energético, superficies complejas con diferentes grados de resolución.

Para activar el mecanismo de transición es necesario evaluar una parte de la función de mérito (FM C en la figura 2) y definir un criterio sobre este valor.

A su vez el mecanismo se encarga de garantizar que en el cambio sea posible la exploración de nuevas zonas del espacio de optimización. Para ello permite, que hasta un cierto punto definido por el diseñador, la

función de mérito de control empeore.

3.3.- Función de mérito

Es bien conocido que escoger una función de mérito adecuada para las especificaciones del sistema que se desea optimizar es clave[9] para conseguir el objetivo de diseño fijado.

En el caso de las optimizaciones duales que presentamos inicialmente optamos por una tipología dual (FM1 y FM2, en la figura 2, para la primera y la segunda etapa respectivamente).

Sin embargo, al analizar la estructura del algoritmo y del mecanismo de transición, se aprecia que es necesario introducir una función de control global que gobierne todo el proceso (FMC en la figura 2), esta función no controla la evolución de las variables involucradas en cada etapa del algoritmo de optimización pero contiene la información global y por ello también está incluida en la función de mérito.

4.- Definición del ensayo: minimización de spot y ghost en un sistema óptico sencillo

Hemos elegido un sistema sencillo que presenta ghost (autoimagen del detector) para realizar el ensayo ya que esta configuración permite verificar el procedimiento a partir de una consigna elemental; debe minimizarse la influencia del ghost en el diseño final.



Fig. 3: En el interior de los círculos puede apreciarse el ghost producido por reflexiones en las superficies del sistema.

El ghost es un fenómeno que implica

reflexiones múltiples en las diferentes superficies transmisoras del sistema [10][11], y por tanto el límite energético que hay que considerar es muy bajo. Así pues estaremos en condiciones de verificar el ahorro de tiempo computacional cuando aplicamos el proceso dual de optimización al tiempo que, partiendo de la misma condición inicial y realizando la optimización sólo con MF2 seremos capaces de validar si se alcanzan resultados finales similares.

4.1.- Diseño inicial

En la figura 4 se representa un esquema del sistema utilizado en el ensayo. Se han utilizado como fuente de iluminación dos haces de luz puntuales monocromáticas e incoherentes, una en eje y otra a campo. La imagen de las fuentes se recoge sobre un detector (el último elemento de la derecha en la figura 4) después de interactuar con un doblete de EFL=100 mm, finalmente cerca del detector se ha interpuesto una lámina que simula la ventana protectora del mismo.

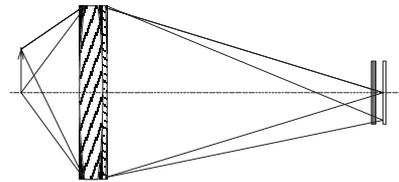


Fig. 4: Esquema del diseño inicial para el ensayo. Ni los elementos ni las distancias están representados a escala.

4.2.- Variables de optimización

En el proceso de optimización, además del algoritmo, la función de mérito y los criterios asociados es necesario definir las variables el valor de las cuales el algoritmo modifica.

En el ensayo se ha utilizado para ambas etapas de optimización como variable libre el primer radio del doblete y como variable ligada el último. La ligadura de esta última variable sirve para mantener la posición del punto focal imagen del doblete fijo a lo largo de todo el proceso.

Asimismo, y con la finalidad de evitar desbordamientos, se ha limitado la máxima variación de la variable libre es el 10% de su valor inicial.

4.3.- Algoritmos de optimización

Cada etapa del algoritmo que se ha ensayado equivale a un algoritmo de optimización clásico[8]. Con objeto de poder explorar zonas amplias del espacio de optimización se ha implementado un algoritmo genético, concretamente un simplex[12] y por simplicidad, se aplicará el mismo de algoritmo a ambas etapas de la optimización.

El límite de iteraciones permitidas para cada una de las etapas se ha fijado en 2500.

4.4.- Función de mérito y criterios

Las funciones de mérito empleadas han sido; la desviación cuadrática media (rms) para la fuente situada en eje para la primera etapa y la rms en campo para la segunda. Siendo la función de mérito de control la media aritmética de ambas (eje + campo).

Los criterios de calidad se han fijado a $rms < 0.005$ para la primera etapa y $rms < 0.0075$ para la segunda. Para la optimización dual la máxima variación de la función de mérito de control permitida ha sido del 5%.

5.- Resultados

En primer lugar se ha estudiado la evolución de la función de calidad del sistema sin tener en cuenta la activación de baja energía. En la figura 5 se representa la evolución del valor de la función de mérito en función del tiempo en el caso de FM1 y FM2.

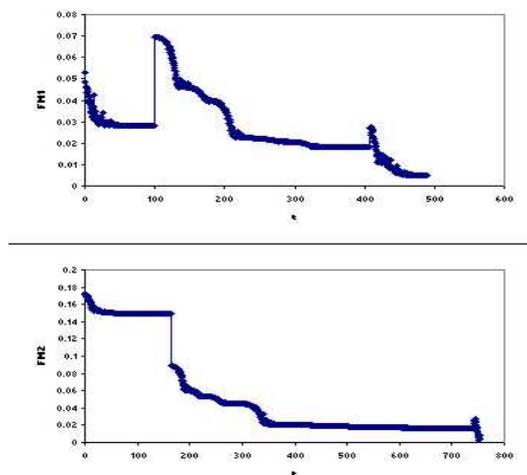


Fig.5: Valor de la función de mérito vs tiempo para FM1 y FM2 sin reflexiones múltiples

Posteriormente se ha incluido el efecto de las reflexiones múltiples, y su consiguiente disminución del umbral energético para el mismo sistema de partida. En la figura 6 puede observarse que el tiempo necesario se ha incrementado 8 veces .

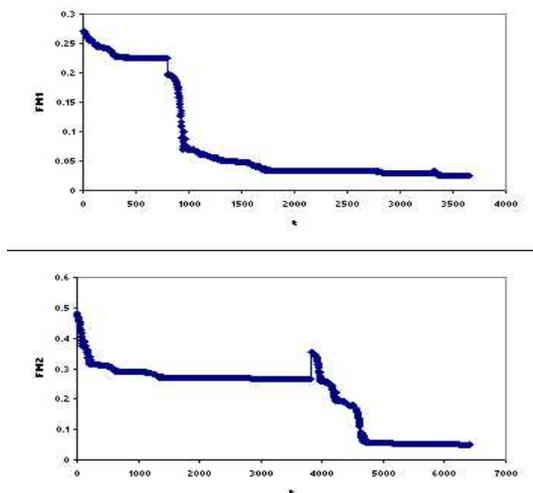


Fig.6: Valor de la función de mérito vs tiempo para FM1 y FM2 con reflexiones múltiples

Finalmente se ha realizado la prueba usando el proceso de optimización dual desarrollado, los resultados de la misma se muestran en la figura 7 donde se ha representado la evolución de la función de mérito FM1, FM2 en función del tiempo.

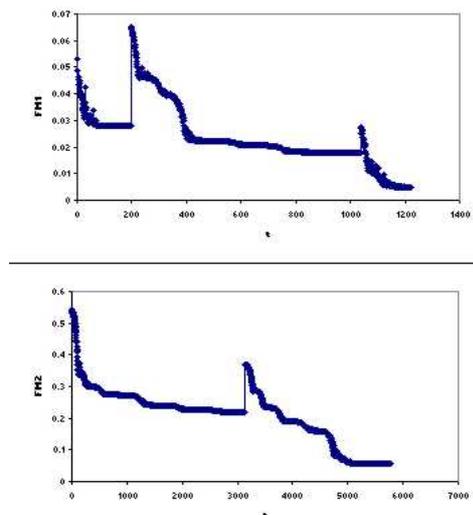


Fig.7: Valor de la función de mérito vs tiempo para FM1 y FM2 obtenida con el proceso de optimización dual.

Como puede observarse, la convergencia del valor de la función de mérito en la primera prueba ha sido la más rápida, pero al no contemplar las reflexiones múltiples no se ha minimizado el efecto de ghost. En la segunda prueba, se ha optimizado manteniendo las reflexiones múltiples en las dos optimizaciones, esto ha hecho que, aunque el ghost se ha visto minimizado pero el tiempo empleado se ha multiplicado por 8. Sin embargo el uso de la optimización dual, al tener una primera etapa de convergencia rápida sin reflexiones múltiples, reduce el tiempo respecto a la prueba con reflexiones múltiples en ambas etapas, siendo un buen compromiso entre ambas situaciones.

6.- Conclusión

Se ha desarrollado un proceso de optimización dual que permite la inclusión de propiedades de alto coste computacional en el proceso de diseño óptico.

Para este proceso se ha implementado un algoritmo de optimización de dos etapas y se ha incluido un mecanismo de transición entre ellas.

Se ha propuesto una función de mérito en tres miembros: una para la primera etapa del algoritmo de optimización, otra para la segunda y una tercera de control global que rige todo el proceso.

Finalmente se ha ensayado una implementación del proceso desarrollado de un sistema para minimizar el ghost.

Los resultados obtenidos se han comparado con procesos clásicos de optimización sin y con reflexiones múltiples concluyendo que el proceso de optimización dual para el ensayo realizado permite un buen compromiso entre tiempo de cómputo y calidad de los resultados.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado gracias a la ayuda FIS2008-05071 concedida por el Ministerio de Ciencia e Innovación

Referencias

- [1] Warren J. SMITH, “*Modern Lens Design*”, Second Edition, (McGraw-Hill, 1992).
- [2] J. MACDONALD, P. MOUROULIS, “*Geometrical Optics and Optical Design*”, (Oxford University Pressm 1997)
- [3] Max BORN, Emil WOLF, “*Principles of Optics*”, (Cambridge University Press, 1999)
- [4] Robert R. SHANNON, “*The Art and Science of optical design*”, (Cambridge University Press, 1997)
- [5] Carles PIZARRO, Patricia BLANCO, Josep ARASA, Andrés F. CIFUENTES, “*Evaluation of contrast loss introduced by scattering effects at optical mounts: Field dependence in the IR region*”, en Proceedings SPIE. Optical Design and Engineering II, 2005, p. 22U01-22U11.
- [6] Base de Conocimiento del software de diseño óptico “Zemax”, <http://www.zemax.com/kb/articles/34/1/How-To-Perform-Stray-Light-Analysis/Page1.html>
- [7] Luo BIN, He SAILING, “*An improved Monte Carlo diffusion hybrid model for light reflectance by turbid media*”, Optics Express, vol 15 issue10, pp 5905-5918, 2007
- [8] Carles PIZARRO, “*Desarrollo de un proceso de optimización adaptado a sistemas ópticos con detectores acoplados*”, Tesis Doctoral (UPC, 2002).
- [9] Carles PIZARRO, Núria TOMÀS, Josep ARASA, “*New optimization process based on the contrast function to triplet systems design*”, en Proceedings de SPIE Proceedings of Optical Design, 2003.
- [10] Josep ARASA, Carles PIZARRO, Nuria TOMAS, José A. DIAZ, “*Contribution of ghost and narcissus effects in MTF calculation*”, en Proceedings de SPIE Design and Engineering of Optical Systems II, 1999, p. 118-124.
- [11] Jeremy D. ROGERS, Tomasz S TKACZYK, Michael R DESCOUR, Ari H KÄRKKÄINEN, Rebecca RICHARDS-KORTUM, “*Removal of ghost images by using tilted element optical systems with polynomial surfaces for aberration compensation.*”, Optics Letters, vol 31 issue 4, pp504-506, 2006.
- [12] W.H PRESS, S. A. TEUKOLSKY, W.T. VETTERLING, B.P. FLANNERY, “*Numerical Recipes in C*”, Second Edition, (Cambirdge University Press, 1992)