

Estrategias de obtención de condiciones iniciales de diseño para luminarias reflectoras freeform

Núria Tomás Corominas*, Josep Arasa Martí

CD6. Universitat Politècnica de Catalunya Rambla Sant Nebridi 10 08222 Terrassa

tomas@oo.upc.edu

Resumen: Se presenta una estrategia para obtener conjuntos de condiciones iniciales de diseño para superficies reflectoras freeform. Dicha estrategia permite abordar el proceso de optimización del sistema de iluminación a partir de superficies elementales (facetas freeform) definidas por superficies de Bezier. Las distintas facetas freeform se generan empleando un conjunto de elementos geométricos simples, suficientes para calcular la superficie en primera aproximación. Los valores de dichos parámetros se obtienen aplicando un algoritmo de trazado de rayos para curvas de Bezier en 2D en un par de ejes ortogonales predefinidos en el espacio y buscando el conjunto de parámetros que minimizan el diagrama de impactos en cada uno de dichos ejes. Finalmente se obtiene una red de puntos de control que nos permite describir la superficie de Bezier.

1. Objetivo

Todo proceso de diseño óptico requiere, en su fase final, una función de mérito, un criterio de calidad y un algoritmo de optimización que, actuando coordinadamente, son el conjunto de herramientas básicas para conducir el sistema óptico a las condiciones finales requeridas. [1]

Asimismo es bien sabido que si el proceso de optimización no parte de una buena configuración inicial, el tiempo necesario para alcanzar un resultado válido es muy largo y no siempre finaliza con éxito. Disponer de una estrategia que de forma sencilla y rápida pueda proporcionar una colección de condiciones iniciales válidas, puede ser una herramienta de gran valor en los procesos de optimización que precisan de una nutrida población inicial, como por ejemplo, los métodos basados en algoritmos genéticos [2].

En trabajos anteriores [3] se ha descrito una estrategia de diseño de luminarias basado en 7 etapas, a saber, discretización del plano imagen, determinación de la cantidad total de energía, segmentación del target, asignación de pendientes al target, segmentación de la fuente, asignación de pendientes a la fuente y cálculo de parámetros ópticos. El propósito de la presente comunicación es definir herramientas para abordar la última etapa del proceso y poder calcular los parámetros iniciales para el caso de superficies reflectoras. Para desarrollar con éxito el proceso, la superficie del reflector también debe ser segmentada en facetas y cada faceta debe ser asociada a uno a más segmentos de la fuente y de la superficie de destino. [4], [5], [6]

El objetivo de la presente comunicación es proporcionar las condiciones iniciales para obtener un conjunto de parámetros que definen las facetas freeform definidas por curvas de Bezier capaces de ser modificadas por un proceso de optimización global del sistema de iluminación [2]. Esta tarea puede realizarse empleando un conjunto de elementos geométricos simples que son la base para calcular una primera aproximación a la superficie.

Definir las superficies iniciales con parámetros de Bezier en lugar de definir las como cónicas presenta la gran ventaja que pueden ser modificadas posteriormente con las herramientas de cálculo tipo CAD, ya que son fácilmente expresables en términos de B-splines o NURBS [1], [7], [8].

2. Procedimiento

Para calcular los parámetros de la faceta freeform, partimos de una superficie reflectora plana y cuadrangular. El método de cálculo nos permite describir una nueva superficie de Bezier que cumple las características ópticas compatibles con las condiciones iniciales.

Para ello, se parte de las coordenadas de seis puntos en el espacio: la fuente "S", el target "T" y los 4 puntos extremos del espejo plano inicial "R1, R2, R3, R4". Se divide el cuadrángulo en 4 ejes verticales y 4 horizontales, que marcan las direcciones de los ejes sagitales y tangenciales del conjunto del espejo. En cada uno de los ejes se aplica el algoritmo de cálculo en 2D que se presenta en esta comunicación y se obtiene una red de puntos de control que definen unívocamente una superficie de Bezier (Fig.1). Ésta superficie es apta para ser introducida en cualquier software optimización de luminarias y obtener una expresión compatible con las herramientas de CAD.

2.1 Algoritmo de cálculo en 2D

Se define el algoritmo a partir del trazado de rayos para curvas de Bezier de tercer orden. Dados los cuatro puntos de control de la curva (P_0, P_1, P_2, P_3), el punto de incidencia y la pendiente del rayo sobre la curva, se calcula la normal en dicho punto y posteriormente la pendiente del rayo emergente.

De esta manera, dado un punto emisor, se define una colección de pendientes de tal forma que cubran toda la curva de Bezier que se va a modificar, se calculan los puntos de impacto en la curva de Bezier y las correspondientes direcciones reflejadas. Así se puede obtener la colección de puntos de impacto de los rayos emergentes sobre la superficie de destino definida.

Con esta base de cálculo de trazado de rayos se define la estrategia de diseño de condiciones iniciales basado en pendientes, que arranca solamente con 4 puntos en el plano. Los puntos de partida son el punto emisor (S), el punto receptor (T) y los puntos extremos del segmento que contiene el espejo plano inicial que son los puntos de control P_0, P_3 de la curva de Bezier. Dicha curva se construirá a partir de criterios geométricos que definirán las posiciones de los puntos de control P_1 y P_2 .

Se define el **eje principal** como la bisectriz de las rectas que forman SC y TC, siendo C el punto central del segmento $\overline{P_0 P_3}$.

Se define el **parámetro de forma**, que determina el factor de curvatura local de la superficie de Bezier. Un valor de parámetro de forma elevado conducirá a curvaturas más planas mientras que un parámetro de forma de valor reducido conducirá a curvaturas más cerradas.

Se define un **factor de avance K** como la variable en el proceso local de optimización.

Se define un segmento de recta perpendicular al eje principal con centro en C, cuya longitud viene dada por el parámetro de forma. Se desplaza discretamente dicho segmento a lo largo del eje principal según el factor de avance. En cada paso de avance, se definen los puntos de control P_1 y P_2 como los puntos extremos de dichos segmentos, obteniendo así todos los puntos de control necesarios para definir una curva de Bezier. (Fig. 1)

A partir del punto emisor, se calculan los puntos de impacto en cada una de las curvas de Bezier obtenidas y las correspondientes direcciones reflejadas. Así, para cada curva de Bezier, se obtiene la colección de diagramas de impacto en la recta que pasa por la superficie de destino. Mediante una función de mérito que premia la proximidad de los impactos a T, se escoge la pareja de puntos de control P_1 y P_2 que minimizan la función de mérito.

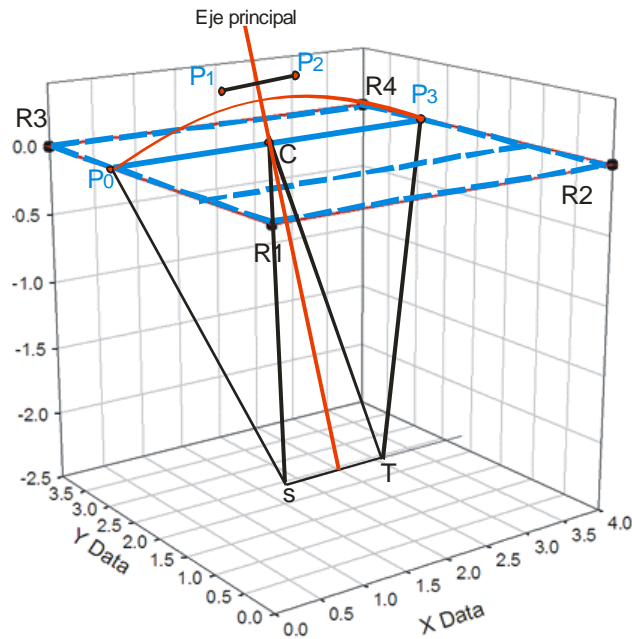


Figura 1: Disposición de la fuente S, target T y el segmento plano inicial delimitado por los 4 puntos R1, R2, R3 y R4. Se han marcado los ejes sagitales y tangenciales en líneas azules. La línea azul continua corresponde al eje sobre el que se aplica el ejemplo del algoritmo en un plano delimitado por ST y el correspondiente eje tangencial. P₀ y P₃ son los puntos extremos de la curva de Bezier, mientras que P₁ y P₂ son los dos puntos de control hallado para que el diagrama de impactos de los rayos reflejados se minimice alrededor de T

3. Ejemplos

Se han escogido dos ejemplos con distintas posiciones relativas entre la fuente y el reflector de fuente (Fig. 2). En ambos casos se ve que el tamaño de la mancha se minimiza al aplicar el algoritmo de cálculo en 2D. El resultado es más satisfactorio cuando las pendientes de los rayos emergentes son menores (Fig. 2a). La curva de Bezier obtenida es un buen punto de partida para iniciar un proceso de optimización de todo el reflector.

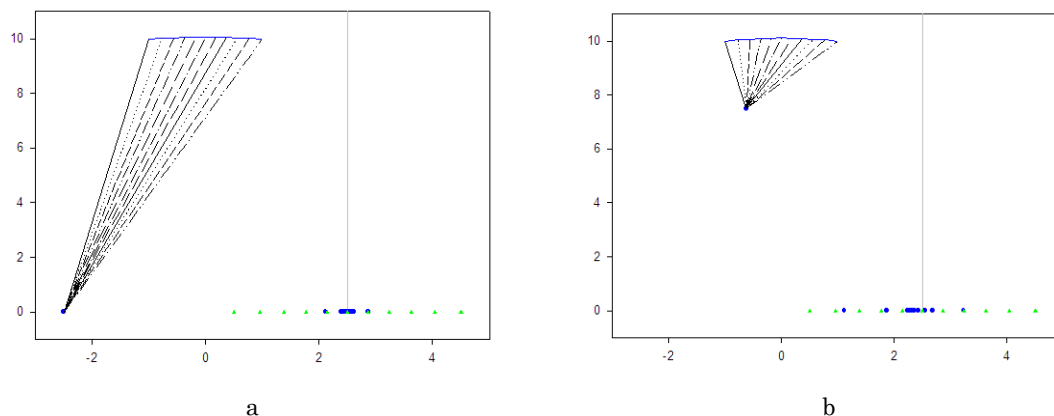


Figura 2 a) Fuente situada en (-2.5, 0), target situado en (2.5, 0) y reflector situado a (0, 10) unidades, parámetro de forma 1, factor de avance $K=0.01$. Se representan en negro los once rayos que se han utilizado para la optimización. Los puntos de impacto representados con triángulos verdes representan la distribución inicial (espejo plano), los impactos representados con puntos azules representan la mejor curva de Bezier b) Fuente situada en (-0.625, 7.5), target situado en (2.5, 0) y reflector situado a (0, 10) unidades, parámetro de forma 1, factor de avance $K=0.01$. Se representan en negro los once rayos que se han utilizado para la optimización. Los puntos de impacto representados con triángulos verdes representan la distribución inicial (espejo plano), los impactos representados con puntos azules representan la mejor curva de Bezier

4. Conclusiones

Se ha propuesto una estrategia geométrica simple que proporciona diseños iniciales válidos para abordar el proceso de optimización de sistemas de iluminación con superficies reflectoras.

El método se basa en el trazado de rayos y utiliza una función de mérito para hallar los parámetros que definen la curva de Bezier que mejor cumple las especificaciones.

Aplicando dicho método 2D a los ejes tangenciales y sagitales se obtiene una red de puntos de control que nos permitirán describir una superficie de Bezier compatible con cualquier sistema de optimización y apta para ser visualizada con herramientas de CAD

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la ayuda en este trabajo del Ministerio de Ciencia y Tecnología a través de la financiación del proyecto FIS2008-05071.

Bibliografía

- [1] Turner, M.G. and Garcia, K.J., 2008. *Optimization using rational Bezier control points and weighting factors. Novel Optical Systems Design and Optimization XI*, **7061**, 70610H
- [2] Doyle, S., Corcoran, D. and Connell, J., 1999. *Automated mirror design using an evolution strategy. Optical Engineering*, **38**(2), 323-333
- [3] Tomás, N., Arasa, J. and Blanco, P., 2009. "Estrategia de diseño para luminarias a partir de curvas isolux" Actas del congreso. IX Reunión Nacional de Óptica. Ourense 14-17 septiembre 2009.
- [4] Fournier, F.R., Cassarly, W.J. and Rolland, J.P., 2010. *Fast freeform reflector generation using source-target maps. Optics Express*, **18**(5), 5295-5304
- [5] Fournier, F.R., Cassarly, W.J. and Rolland, J.P., 2010. *Freeform reflector design using integrable maps. International Optical Design Conference 2010*, **7652**, 765221
- [6] Magarill, S., 2011. *Skew-faceted elliptical reflector. Optics Letters*, **36**(4), 532-533
- [7] Yang, B., Wang, Y., Liu, Y., Sasian, J. and Koshel, J., 2009. *Efficient ray-tracing for free-form reflectors. Optik*, **120**(1), 40-44
- [8] Michaelis, D., Schreiber, P. and Brauer, A., 2011. *Cartesian oval representation of freeform optics in illumination systems. Optics Letters*, **36**(6), 918-920