

Método de optimización de lentes progresivas basado en inteligencia Artificial

Introducción

Una lente de adición progresiva, PAL, producida con generador free-form consta mayormente de una superficie externa esférica y una superficie interna totalmente asférica, es decir, con potencia y astigmatismo no constante en toda su superficie. Es de práctica común que el proceso de diseño tenga dos etapas bien diferenciadas: la primera de ellas consta en encontrar las propiedades geométricas de la superficie en un conjunto discreto de puntos, mientras que la segunda consta de unir esos puntos mediante interpolación (usualmente utilizando B-Splines). Esto termina de completar la superficie progresiva.

En el año 2010, la compañía Novar desarrolló un método alternativo variacional (conocido comercialmente como *Continuum Design Technology*) que elimina el proceso de interpolación y los problemas derivados de este, ya que las condiciones ópticas de potencia y astigmatismo son impuestas a los infinitos puntos de la superficie progresiva de la lente en forma simultánea.

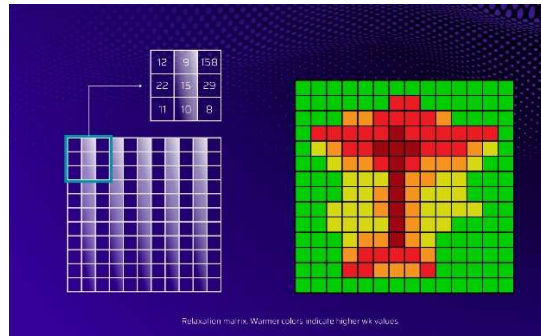
En el caso del diseño mediante puntos discretos, es necesario minimizar una función de mérito del tipo:

$$e^2 = \sum_k \sum_i w_{ki} (A_{ki} - T_{ki})^2$$

donde k corre sobre las propiedades ópticas (potencia, astigmatismo, prisma) e i corre sobre cada punto sobre la lente. Similarmente, para la formulación continua, obtenemos:

$$e^2 = \sum_k \iint w_k(x, y) [A_k(x, y) - T_k(x, y)]^2 dx dy$$

Donde nuevamente k corre sobre las propiedades ópticas de la lente y la integral está calculada sobre la superficie total de la misma. En ambas ecuaciones A_k representa al rendimiento real de la propiedad óptica k en un dado punto, mientras que T_k representa el rendimiento óptico deseado de dicha propiedad en el mismo punto. Adicionalmente, w_k representa la ponderación que se le da al punto i o, en el continuo, al punto x,y. Esto significa que cuanto mayor sea el valor de w_k en un dado punto, mayor será la exigencia que se le hará a la matemática para que cumpla las condiciones ópticas requeridas. Por ejemplo, dentro de los campos de visión de una lente progresiva, ya sea de lejos, intermedia o cerca, los valores de w_k serán más altos que a los lados del corredor donde se concentran la mayoría de las aberraciones. Es entonces el conjunto de los valores de w_k lo que principalmente define un determinado diseño progresivo. Resumiendo, dos lentes diseñadas con distintos pesos tendrán una distribución y magnitud de aberraciones diferentes. Con el propósito de simplificar la explicación del nuevo algoritmo, de aquí en más usaremos la formulación discreta.



Como sabemos, desde el punto de vista matemático, la superficie de la cara progresiva de una PAL es continua y derivable. Esto significa que no puede tener agujeros ni bordes afilados en ningún punto de su superficie. La consecuencia de ello es que al cambiar el valor de w_k en un dado punto, dicho cambio se propaga, aunque en menor medida, a toda la superficie de la lente. Es decir, si aumentamos o disminuimos el valor de w_k en un punto de la zona de visión lejana, esto impactará también en zonas tan alejadas como las de visión intermedia, cercana y las laterales de mayor aberración. Quizás una buena manera de graficarlo es como si la superficie de la lente fuera una cama de agua y el valor w_k represente la magnitud de la presión que se ejerce en un dado punto de la cama. Como sabemos, conforme cambiamos la presión sobre una zona de la cama, la misma cambiará su geometría en toda su extensión. Por tal motivo, el diseño de una lente progresiva no sólo tiene que considerarse una ciencia sino también un arte. El arte de encontrar la mejor combinación de valores w_k para el tipo de lente que se quiere diseñar. Teniendo en cuenta que los pesos toman valores reales, la combinación de todos los valores posibles es casi infinita y, aunque se crea haber obtenido un buen conjunto de w_k que satisfagan las condiciones del diseño que se ha querido lograr, nunca se tendrá certeza de que se trata de la mejor combinación posible y, en consecuencia, del mejor diseño que el modelo matemático pueda dar. Es por este motivo que en 2017 comenzamos a desarrollar un algoritmo de optimización basado en lo que se conoce como Algoritmos Genéticos, AGs, una rama de la inteligencia artificial. El AG desarrollado permite, de manera no supervisada, encontrar la mejor combinación de pesos w_k , para cada punto y propiedad óptica, partiendo de condiciones de alto nivel sobre la potencia y el astigmatismo. Estas condiciones son tan simples como tamaños de las zonas de visión, máximo nivel de aberraciones, etc. Cabe destacar que el modelo de AGs propuesto se aplica tanto a las técnicas de diseño discreto como a la citada técnica variacional desarrollada por Novar.

¿Qué es un algoritmo genético?

Un algoritmo genético es una búsqueda heurística inspirada en la teoría de la evolución natural de Charles Darwin. Este algoritmo refleja el proceso de selección natural en el que se seleccionan los individuos más adecuados para la reproducción con el fin de producir la descendencia de la próxima generación.

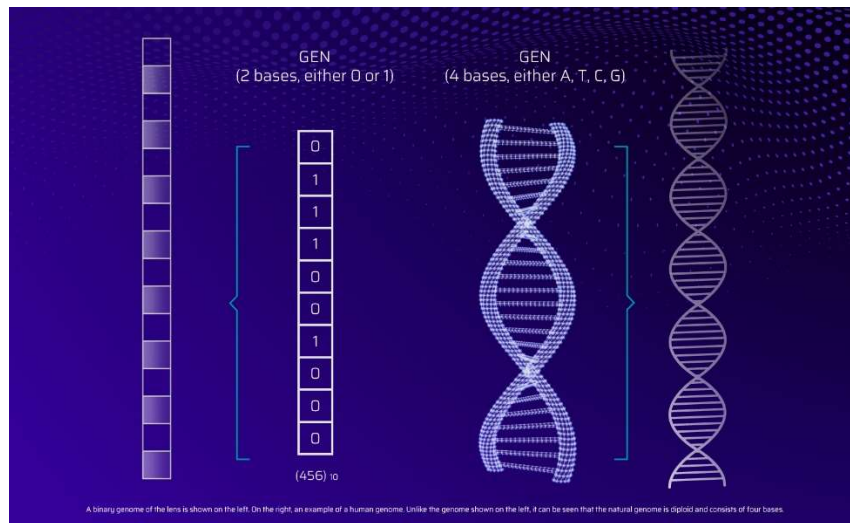
El proceso de selección natural comienza con la selección de los individuos más aptos de una población. Producen descendencia que hereda las características de los padres y se agregará a la próxima generación. Si los padres están mejor adaptados que el resto de la población, su descendencia probablemente herede dichas cualidades y podrá, eventualmente, adquirir nuevas por lo que tendrá mayor probabilidad de sobrevivir. Este proceso sigue iterando y, al final, se encontrará una generación con los individuos más aptos.

Esta noción se puede aplicar a un problema de búsqueda donde cada individuo es una potencial solución y su capacidad de adaptación está representada por cuan eficiente dicha solución es.

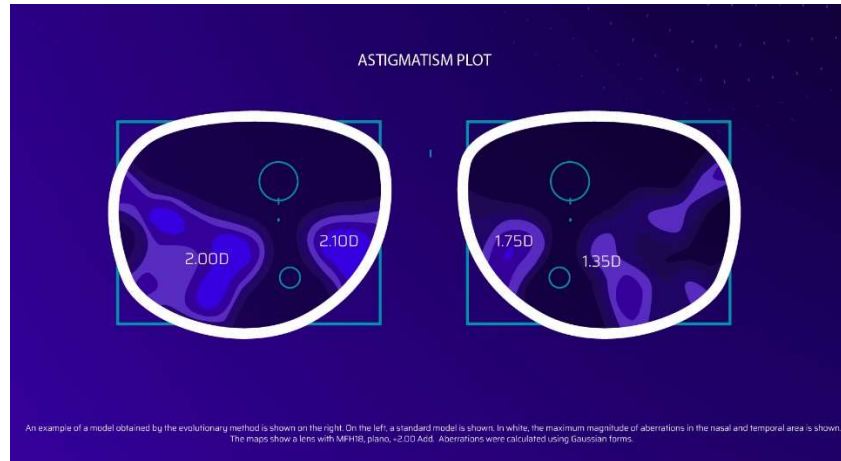
Aplicación al diseño de lentes de adición progresiva

Como vimos, los AGs se caracterizan por resolver problemas de alta complejidad haciendo evolucionar una población inicial mediante la aplicación de operadores que emulan la selección natural. Los operadores necesarios para la evolución son: Adaptación, Entrecruzamiento y Mutación.

La población inicial estará compuesta por individuos. Cada individuo se corresponde con un dado diseño progresivo y deberá ser representado mediante su genoma. Su genoma no es sino una cadena de 3000 genes donde cada gen es el valor w_k en un dado punto. Por razones operativas el valor de cada gen es representado en términos de números binarios. Esto hace más natural las operaciones de Entrecruzamiento y Mutación. De este modo, el genoma de una lente PAL queda expresado por dos bases, los números: 0 y 1, mientras que en el mundo natural las bases con las que se construye nuestro genoma son cuatro: Adenina, Timina, Citosina y Guanina.



Una vez establecida la población inicial, se la ha hecho evolucionar mediante la definición de una técnica de entrecruzamiento, donde los individuos mejor adaptados, según una función de adaptación previamente definida, tuvieron mayor probabilidad de propagar sus genes a generaciones futuras. Con el fin de que la similitud con el proceso de selección natural fuera aún más fiel se incorporó un factor de mutación dinámico. Así, los individuos más aptos (es decir, los diseños de mejor calidad óptica de una población) fueron aquellos que pasaron su información genética a las generaciones siguientes, creando nuevos descendientes quienes eventualmente superaron la calidad de sus padres. El algoritmo es de tipo iterativo donde la regla de finalización puede definirse ya sea por un número limitado de iteraciones o por homogeneidad de la población. Es decir, cuando un cambio generacional no produce descendencia que sea significativamente diferente de la generación anterior.



Resultados & Conclusiones

Como es bien sabido, la lente de adición progresiva ideal es aquella que carece de aberraciones, pero el hecho es que no es matemáticamente posible de lograr. Sin embargo, este proceso de diseño innovador es clave para encontrar lentes lo más cerca posible del ideal que pueden hacer las matemáticas. Es decir, lentes con campos de visión más amplios e incluso aberraciones periféricas menores. Por lo tanto, este nuevo desarrollo marca el primer diseño de lentes progresivas optimizado en un enfoque de Inteligencia Artificial.

Como es sabido, la lente de adición progresiva ideal es aquella que carece de aberraciones e igualmente es sabido que esto no es matemáticamente posible de lograr. Sin embargo, este novedoso proceso de diseño es clave para encontrar lentes lo más cerca posible de aquel ideal. Esto es, amplios campos de visión y baja aberración periférica. Así, este nuevo desarrollo marca un hito en la historia del diseño de lentes progresivas, siendo el primero en aplicar algoritmos de inteligencia artificial para el diseño de lentes de adición progresiva.

Agradecimientos: Lic. Gabriel Martin



Gervasio Perez, Ph.D

Ph.D. in Computer Science. University of Buenos Aires (UBA), Argentina. Gervasio Perez has extensive research and industry experience in the design and evaluation of optical systems for human vision.

Financial Disclosure/ Conflict of Interest Statement: G. P. is a member of Novar R&D

Referencias

- 1 Guilino, G.H. Design philosophy for progressive addition lenses. *Appl. Opt.* (1993), 32, 111 – 117.
- 2 Meister D. Fundamentals of Progressive Lens Design. *Vision Care Product News.* (2006). 6(9), 5-9.
- 3 Bennett A. *Variable and Progressive power lenses* (1973).
- 4 Sheedy J., Campbell C., King-Smith E., and Hayes J. Progressive Powered Lenses: the Minkwitz Theorem. *Optom. Vis. Sci.* (2005). 82(10), 1-9.
- 5 Sheedy J., Buri M., Bailey I., Azus J., and Borish I. The optics of progressive lenses. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* (1987) . 64, 90-99.
- 6 Ophthalmic Optics Files. Progressive Addition Lens. Essilor. https://www.essiloracademy.eu/sites/default/files/7.Progressive_addition.pdf
- 7 Meister D. and Fisher S. Progress in the spectacle correction of presbyopia. *Clinical Exp Optom.* (2008); Vol 91, Number 3, 240-250.
- 8 Gaudet S. A Method for Designing a Customized Progressive Addition Lens. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 3 (3). (2008). 266-270.
- 9 J.R. Koza, *Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection*, MIT Press, Cambridge, Mass, 1992. [29] N. Chakraborti, Genetic algorithms in materials design and processing, *International Materials Reviews.* 49 (2004) 246–260. <https://doi.org/10.1179/095066004225021909>
- 10 C.A. Coello Coello, Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: a survey of the state of the art, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering.* 191 (2002) 1245–1287. [https://doi.org/10.1016/S0045-7825\(01\)00323-1](https://doi.org/10.1016/S0045-7825(01)00323-1).
- 11 F.-A. Fortin, F.-M.D. Rainville, M.-A. Gardner, M. Parizeau, C. Gagné, DEAP: Evolutionary Algorithms Made Easy, *Journal of Machine Learning Research.* 13 (2012) 2171–2175.
- 12 Lingaraj, Haldurai. A Study on Genetic Algorithm and its Applications. *International Journal of Computer Sciences and Engineering.* (2016).. 4. 139-143.