

REVISIÓN DE LIBROS

ALGORITMOS GENÉTICOS

Angel Kuri y José Galaviz

Editorial Instituto Politécnico Nacional, 2000

Revisado por:

Carlos Vizcaino Sahagún

CIC-IPN

Nos encontramos frente a una obra que aborda el tema de la familia de meta-heurísticos conocidos como «Algoritmos Genéticos» (en adelante denotados como «AGs»), los cuales constituyen una rama de la computación evolutiva, de forma integral. El lector es conducido desde los fundamentos biológicos que motivaron la analogía matemática hasta la aplicación de los AGs al problema del aprendizaje de máquinas. A diferencia de otros textos, no se toca aquí al AG como una herramienta de experimentación o simulación del fenómeno genético. Aunque no se dice explícitamente, se considera a los AGs como una rama de la computación y no de las ciencias naturales.

La intención de los autores es proporcionar al lector interesado un vehículo que le permita obtener, de una sola obra, un panorama completo de lo que son los AGs aplicadas a las ciencias. El libro se divide en cinco capítulos.

Cada capítulo termina con ejercicios y bibliografía. Los ejercicios, a su vez, se dividen en ejercicios «matemáticos» y de programación. Como un sello distintivo, los autores ofrecen su versión de las soluciones no en el texto mismo, sino en una dirección de Internet: <http://148.204.45.189/libag>.

En el primer capítulo, se expone la motivación biológica que subyace a los AGs. Allí se definen ciertos términos de uso común en genética que, por la analogía propia de la técnica, se ha extendido hacia los AGs. Términos tales como ADN, alelo, gen, cromosoma, etc. son explicados en el contexto biológico y contextualizados en el ámbito de cómputo. Una vez logrado lo anterior, los autores pasan a una explicación de tipo elemental de lo que es un AG. Esta explicación da pie para que, en los capítulos subsecuentes, se profundice en las variantes y en la complejidad de los algoritmos.

Una vez logrado lo anterior, la atención del lector se enfoca en el hecho de que los AGs son, propiamente, una herramienta de optimización de índole general no sujeta a las restricciones de métodos más tradicionales. Se describen los operadores básicos de un AG: selección, cruzamiento y mutación. A través de un ejemplo sencillo el lector es introducido a la técnica genética.

Una vez logrado lo anterior, se hace una breve revisión de algunos métodos de optimización alternativos. Se mencionan el método de Newton, la búsqueda de Fibonacci, el método de Ascenso de Máxima Pendiente y Simplex, como ejemplos de métodos matemáticos «cerrados»; la Búsqueda Tabú y el Recocido Simulado (Simulated Annealing) como ejemplos de métodos heurísticos. De todos ellos se hace una breve pero ilustrativa descripción que permite al lector ubicarse en el contexto general de las herramientas de optimización al alcance del estudiante. Para terminar el capítulo, se hace un análisis comparativo de los distintos métodos de optimización presentados. La bibliografía al final del capítulo permite profundizar en todos estos temas.

En el capítulo dos el lector es introducido a la teoría matemática que subyace a los AGs. Aunque éstos están en una fase incipiente de desarrollo y el tratamiento matemático puede considerarse aún en una etapa inicial, los autores nos conducen por todo aquello que se considera importante desde el punto de vista del análisis de esquemas. (En un AG un «esquema» es una forma simple de explicar una familia de posibles soluciones implícitas dentro del genoma). Se tocan aquí, pues, temas tales como el Teorema del Esquema (considerado como el más fundamental en la teoría de los AGs), el paralelismo implícito, la hipótesis de los bloques constructores y los problemas cono-

cidos como «engañosos». Como un enfoque novedoso, hay que resaltar el tratamiento matemático del operador de cruzamiento. En el teorema del esquema tradicional, solamente se considera el cruzamiento en un punto. Aquí los autores discuten tres variantes: el ya mencionado cruzamiento en un punto, el cruzamiento en dos puntos y el cruzamiento uniforme. La expresión derivada para el teorema del esquema se hace de manera que se puede aplicar cualquiera de los tres tipos de cruzamiento ya mencionados. Por otra parte, la discusión de la hipótesis de los bloques constructores y el análisis de exploración y explotación de un AG se establecen de una manera muy clara. Esto contrasta con otros textos en los cuales estos temas (de importancia central en este tipo de tratamientos) se hacen de manera superficial y poco didáctica. Por último, se discute al AG como una técnica óptima para buscar soluciones en sistemas dinámicos, es decir, cuyas características cambian en el tiempo. En este sentido los autores discuten los problemas engañosos que se reconocen como una fuente importante de ineficiencia en los AGs. Se discute, asimismo, una familia de funciones llamadas “Caminos Regios”. Esta familia de funciones tiene importancia en el sentido de que ciertos resultados anómalos están referidos a la forma en que las mismas dificultan la obtención de un óptimo a pesar de que fueron diseñadas para, precisamente, hacer que un AG lograra alta eficiencia en su solución (de allí el nombre: son caminos ideales o regios para que el AG los transite). Para terminar, los autores hacen una exposición de otro tipo de heurísticos de búsqueda que denominan «escaladores» (*hill climbers*), con lo cual nos preparan para planteamientos que se presentan posteriormente en el texto. Los escaladores tienen interés, en este contexto, porque se ha demostrado que son más eficientes que los AGs para resolver los caminos regios.

Una vez que el lector ha sido expuesto a lo que son los AGs y su teoría, en el capítulo tres se le introduce a la solución de problemas usando AGs. Es decir, a la forma en que los conceptos desarrollados en los dos primeros capítulos se aplican de manera directa a resolver problemas de optimización. Para lograr lo anterior, los autores confrontan al lector con dos casos de estudio: dos problemas de índole esencialmente distinta. Primeramente, atacando el conocido problema del vendedor viajero: de qué manera se ha de recorrer un conjunto de ciudades de manera que la longitud del recorrido sea mínima. Es claro que, para n ciudades, existen $n!$ posibles rutas y que una solución enumerativa solo es posible para n pequeña. Así que un AG se aplica para resolver el problema. De manera natural, en atacar la solución de dicho problema el lector es enfrentado con distintas formas de codificación, manejo de restricciones, etc. Particularmente interesante es la forma en que se plantean codificaciones no binarias y operadores diseñados *ad hoc* para este problema. Estos temas son fundamentales al aplicar los AGs y aquí somos expuestos a ellos de ma-

nera sencilla y natural. En segundo lugar, los autores nos llevan a resolver problemas de optimización numérica: ¿Cómo encontrar los valores que maximicen/minimicen una expresión matemática en el caso de que el conjunto de posibles valores para la solución esté limitado, a su vez, por un conjunto de expresiones matemáticas? En este segundo caso se discuten problemas de representación del dominio numérico, el manejo de restricciones y posibles variantes de AGs. Como en el primer problema, el lector es introducido a temas de interés y complejidad de manera natural, a través de la solución de problemas concretos. Particularmente, se presenta al lector la aplicación de dos AGs nuevos: el AG elitista y el AG ecléctico que serán abordados a profundidad más adelante en el texto.

El cuarto capítulo está dedicado a lo que los autores denominan AGs «no convencionales». Allí el lector encontrará un tratamiento más profundo de temas referentes a posibles variaciones que hacen que el AG sea más eficiente en problemas de tipo estático: aquellos en los que las condiciones del problema permanecen constantes a través de todo el proceso. Se describe el modelado de un AG a través de las cadenas de Markov y se demuestra que un AG en el cual se conserva al mejor individuo del proceso converge a la mejor solución. Interesantemente, también se demuestra que un AG que no incorpora a dicho «mejor» individuo no converge a la mejor solución, aún en tiempo infinito. Se discute, además, el algoritmo genético idealizado, que pretende plasmar aquellos elementos que un AG debería de incluir para evitar problemas de convergencia y/o eficiencia. Se tratan aquí asuntos como el elitismo, la autoadaptación, la aplicación de escaladores en AGs para lograr algoritmos híbridos. Uno de ellos (el ya mencionado AG «ecléctico») se discute a profundidad y se argumenta que éste se aproxima al AG idealizado descrito anteriormente. En este algoritmo, además de que se abandona la selección proporcional para ser reemplazada por un tipo de solución determinística que los autores denominan “estrategia de Vasconcelos”, se reemplaza el operador de cruzamiento en un punto a favor de un cruzamiento anular y se incluye un escalador de mutación aleatoria cuya actividad queda determinada por el algoritmo mismo.

El capítulo cinco es la conclusión lógica de todo texto que pretenda hacer un tratamiento completo de los AGs. Aquí se discuten estas técnicas en el entorno del aprendizaje automático a través de la computadora. Es en este punto en donde los AGs encuentran, verdaderamente, la razón de su inclusión dentro de las técnicas de inteligencia artificial. Los autores proponen varias formas de alcanzar el aprendizaje vía los algoritmos genéticos:

- a) A través de la coevolución,
- b) Usando autómatas genéticos,
- c) En los denominados “Sistemas Clasificadores Evolutivos” y
- d) El ajuste de parámetros.

Para ejemplificar los procesos de aprendizaje usando coevolución los autores discuten (y resuelven) el conocido problema del dilema del prisionero iterado. Este problema ha sido atacado antes usando AGs, pero aquí los autores nos ofrecen un algoritmo generalizado que puede ser aplicado a cualquier sistema en el cual es posible confrontar distintos tipos de estrategias.

En el caso de los autómatas genéticos, los autores nos presentan un método a través del cual se ofrece la posibilidad de aprender (de manera supervisada) funciones arbitrarias simulando la evolución de Máquinas de Turing. Se presenta al lector el planteamiento teórico que indica la generalidad de tales máquinas y una descripción de cómo codificarlas de manera que sean susceptibles de evolucionar con los algoritmos planeados con anterioridad en el texto.

El tratamiento de los sistemas clasificadores evolutivos se aviene, como los propios autores indican, a las descripciones de Goldberg y la llamada “Escuela de Michigan”. En este apartado, se discuten los mecanismos globales que subyacen a tales sistemas. Asimismo se discuten temas tales como el mecanismo de asignación de crédito (vía el algoritmo comúnmente conocido como *bucket brigade*, que los autores denominan “de cascada”) y el algoritmo de descubrimiento de nuevos clasificadores que es, propiamente, un algoritmo genético. Se ejemplifican los varios parámetros que intervienen en este modelo de aprendizaje y se termina con una discusión de las llamadas “jerarquías por omisión”.

La última forma de aprendizaje discutida en el libro es la única que puede considerarse como no supervisada. Consiste, básicamente, de un método de aproximación multivariada en el cual se resuelve el problema del crecimiento exponencial de coeficientes del aproximante usando un algoritmo genético de orden. En este tipo de algoritmos lo que se evoluciona no es la solución al problema sino la forma misma de la solución. Los autores desarrollan de manera extensa los fundamentos matemáticos en los que se apoya el método. Es bien conocido que, en general, los métodos de aproximación multivariada adole-

cen del problema de requerir una forma preestablecida en los datos para lograr ajustes adecuados. Los autores presentan un método que permite generalizar el algoritmo a través de un sistema de preconditionamiento de la información y establecen cotas a los errores inducidos por dicho preconditionamiento. Una vez hecho lo anterior, presentan una forma a través de la cual es posible establecer un mapa de los elementos de un genoma a las potencias de un polinomio. De esta manera, un AG es capaz de encontrar la combinación de términos de un polinomio que ajusta de manera adecuada los valores de los datos dado que se establece, de manera arbitraria, el número de términos deseados. Como consecuencia de la estrategia seguida, se hace necesario inducir un mecanismo de reparación para aquellos casos en los que los genomas resultantes de la evolución del AG resultan en genomas inválidos. Este es un caso más de operadores especiales que se trataron en el texto al discutir la solución al problema de vendedor viajero.

El lector de esta obra, pues, es llevado desde los orígenes conceptuales de los AGs hasta un conjunto de técnicas avanzadas de aprendizaje automático. La variedad de enfoques tanto de optimización como de aprendizaje desarrollados a lo largo del texto nos permiten apreciar la riqueza del método evolutivo. En nuestra opinión, este texto es recomendable como una obra de referencia general. Los autores, aparentemente, han tratado de lograr que esta obra abarque un espectro amplio de lectores: desde aquellos que, por primera vez se enfrentan a problemas generales de optimización, hasta aquellos que tienen interés en una de las formas más recientes y de mayor generalidad para atacar los problemas de la inteligencia artificial no simbólica. Los ejercicios al final de los capítulos reflejan esa intención. Los hay desde básicos hasta algunos de cierta complejidad matemática. La bibliografía contenida al final de cada capítulo es amplia y está enfocada a cada uno de los temas abordados, de manera que el lector interesado en profundizar en la temática lo puede hacer. Por ello, la obra puede ser leída en varios niveles. Desde un nivel introductorio hasta uno de aplicaciones a profundidad y de cierta complejidad.

