



Resumen de Tesis:

Redes bayesianas para el ajuste de parámetros de algoritmos genéticos usados en problemas de satisfacción de restricciones geométricas

Reyes Pavón

Departamento de Informática. Escuela Superior de Ingeniería Informática. Universidad de Vigo.
pavon@uvigo.es

Resumen En esta Tesis se desarrolla un sistema para el ajuste de parámetros de un algoritmo que resuelve un problema, teniendo en consideración las características relevantes de cada instancia del problema a resolver. El sistema utiliza redes bayesianas como formalismo para modelar, cualitativa y cuantitativamente, las relaciones de dependencia entre los parámetros de interés y utiliza la metodología de los sistemas de razonamiento basado en casos para adquirir conocimiento del dominio del problema. El sistema desarrollado ha sido validado de manera exhaustiva mediante su aplicación al problema de configuración de los parámetros de un algoritmo genético que resuelve el problema de la selección de la solución deseada en resolución de restricciones geométricas. Los resultados experimentales confirman la eficiencia y eficacia del sistema propuesto.

Palabras clave: Ajuste de parámetros, redes bayesianas, razonamiento basado en casos, algoritmos genéticos, resolución constructiva de problemas geométricos basados en restricciones

1 Introducción

En este trabajo se define un modelo de ajuste de parámetros para el problema de selección de la solución deseada [3], un problema de índole geométrico, consistente en seleccionar una solución de entre todas las posibles proporcionadas por un sistema de satisfacción de restricciones geométricas, y en base a la adecuación de una posible solución a un conjunto de predicados/condiciones adicionales, fijadas por el usuario, y que determinan la solución deseada. Dada la naturaleza combinatoria del espacio de búsqueda, y por tanto su elevada dimensionalidad, se requiere de un esquema de búsqueda y optimización que explore el espacio búsqueda para determinar la solución deseada. En este trabajo, el método de búsqueda y optimización será un algoritmo genético [4]. La utilización del algoritmo genético exigirá el establecimiento de unos parámetros por parte del usuario, cuyos valores determinarán la efectividad y rendimiento del algoritmo, de cara a encontrar la solución deseada. Así pues, además del problema del usuario (en este caso la selección de la solución deseada) y de la herramienta empleada para determinar la solución (en este caso un algoritmo genético), se introduce un meta-modelo, el modelo de ajuste de parámetros, cuyo objetivo es determinar los valores más adecuados para los parámetros de dicho algoritmo, con el fin de obtener eficaz y eficientemente la solución deseada. La definición de un modelo de ajuste constituye el objetivo final de este trabajo de tesis, y su definición está condicionada por los siguientes requisitos:

- *Confinamiento.* El sistema propuesto no requiere un conocimiento experto acerca de la técnica/método de optimización utilizada, en este caso los algoritmos genéticos. Por lo tanto, sólo se asumirá la disponibilidad de una colección de ejecuciones del algoritmo de optimización con sus correspondientes parámetros y alguna medida de su rendimiento. El conocimiento experto acerca del problema se podrá utilizar para caracterizar las instancias concretas del problema, para las que se dispone del histórico de ejecuciones.

- *Genericidad*. El sistema deberá ser lo más genérico posible de modo que sea aplicable al ajuste de los parámetros de cualquier otro método del campo de la Inteligencia Artificial, utilizado para resolver cualquier problema, bien sea de optimización, clasificación, aprendizaje, etc.
- *Autonomía*. Las configuraciones propuestas por el sistema podrían ser utilizadas para llevar a cabo nuevas ejecuciones del algoritmo, y los resultados de éstas deberán incorporarse al sistema propuesto para actualizar su conocimiento. Por lo tanto, el sistema debería incorporar mecanismos de adquisición y actualización continua de la información disponible, dotándole así de capacidad de aprendizaje y adaptación, de forma autónoma.

El modelo propuesto se ha desarrollado en dos etapas bien diferenciadas:

- *Etapas básica de ajuste*. Esta primera etapa utiliza una red Bayesiana [5] como modelo para representar el conocimiento acerca del dominio del problema (parámetros de usuario a ajustar y medidas de rendimiento del algoritmo) y como formalismo para realizar tareas de inferencia bajo condiciones de incertidumbre y proporcionar las configuraciones de parámetros más probables, de cara a obtener un rendimiento especificado *a priori* por parte del algoritmo genético. La red Bayesiana utilizada para proporcionar estas configuraciones se induce a partir de datos de ejecuciones previas del algoritmo sobre instancias del problema base (selección de la solución deseada) con iguales características, es decir, para figuras geométricas equivalentes en cuanto a su caracterización.
- *Sistema CBR de ajuste*. En esta segunda fase, para adecuar el sentido de la recomendación de parámetros a las características intrínsecas de la figura geométrica a resolver, se utiliza un sistema CBR [1] (*Case-Based Reasoning*), como marco integrador de las diferentes clases de instancias. Así pues, el sistema CBR propuesto permite indexar los datos disponibles según la caracterización de las figuras, proporcionando dos niveles diferentes de memoria, una a corto plazo, con los datos originales de las ejecuciones y otra a largo plazo, con el conocimiento inducido a partir de los datos y representada por una red bayesiana para cada caso o problema tipo. La metodología CBR permite integrar las tareas de inferencia para, a partir de una red bayesiana, proporcionar configuraciones de parámetros probables y capacidad de aprendizaje, en el sentido de adaptar el conocimiento soportado por cada una de las redes bayesianas.

En cuanto a la validación del modelo propuesto, por un lado se ha desarrollado un marco metodológico adecuado para comparar los resultados obtenidos por el sistema propuesto para el problema de la selección de la solución deseada, con los resultados previos proporcionados por el estudio estadístico realizado con anterioridad por Barreiro en su trabajo de tesis [2]. Esta comparación se ha realizado tanto para la etapa básica como para el sistema CBR de ajuste, y en distintos escenarios encaminados a evaluar su comportamiento tanto estática como dinámicamente.

Por último y a la vista de los resultados obtenidos tras la experimentación realizada, se concluye que el sistema propuesto mejora cualitativa y cuantitativamente las soluciones aportadas en otros estudios, siendo capaz de producir recomendaciones de parámetros más acertadas con un elevado nivel de precisión. Aunque la precisión de la recomendación realizada depende, en gran medida, de la calidad de los datos disponibles, el sistema desarrollado hace que se vayan descartando las configuraciones menos eficientes, lo cual simplifica y optimiza la tarea de aprendizaje y razonamiento, mejorando los tiempos de procesamiento.

2 Contribuciones

La principal aportación del trabajo desarrollado ha sido la combinación de diferentes técnicas de Inteligencia Artificial para la creación de un sistema genérico y autónomo de ayuda al ajuste de parámetros de un algoritmo que resuelve un problema y su aplicación al problema de ajuste de parámetros de un algoritmo genético que resuelve el problema de la selección de la solución deseada, con la particularidad de que dicho sistema tiene en consideración las características relevantes de cada problema geométrico a resolver y la experiencia pasada con problemas similares. Es decir, con este trabajo se ha producido una doble aportación, general y específica. *General* en el sentido de haber diseñado un sistema aplicable a otros problemas y modelos de cálculo para los cuales es necesario que el usuario final tenga que determinar un conjunto de parámetros que gobiernen su funcionamiento. El sistema desarrollado evita la configuración manual del algoritmo, lo cual requeriría ser un experto en el método de resolución. La contribución es también *específica* en el sentido de haber sido aplicado con éxito para ajustar los parámetros del algoritmo genético que resuelve el problema de la selección de la solución deseada, produciéndose así una contribución notable a los fundamentos *teóricos* de los algoritmos genéticos. Por otra parte, la definición de estrategias automáticas o semiautomáticas tales que, para un determinado problema de restricciones geométricas, permite que se fijen las condiciones de operación del algoritmo evolutivo, ha supuesto una notable contribución *práctica* al diseño asistido por computador.

La originalidad del sistema propuesto radica en la utilización de un mecanismo de representación e inferencia basado en redes bayesianas y la utilización del sistema CBR como marco formal para integrar esta etapa básica, especializada en un problema tipo, y dotar al sistema global de la capacidad de gestión e indexación de los diferentes casos según sus características, así como, de capacidad de adaptación y aprendizaje conforme el sistema recolecta datos de más ejecuciones.

Además son relevantes otras aportaciones adicionales derivadas del propio desarrollo del modelo. Por un lado, el sistema desarrollado define un sistema de razonamiento basado en casos cuya principal novedad radica en la utilización de un modelo, en forma de red bayesiana, para representar la parte solución de un caso. Por otro lado, con este sistema queda demostrada la aplicabilidad de las redes bayesianas al campo del ajuste de parámetros, convirtiéndose una vez más en un formalismo atractivo para representar y tratar el conocimiento inducido bajo condiciones de incertidumbre.

3 Estructura

El trabajo realizado se presenta organizado en nueve capítulos, de los cuales el primero de ellos sirve para definir, en líneas generales, el problema que se pretende solucionar, establecer la hipótesis de partida y presentar la estructura organizativa de la memoria.

El capítulo dos se centra en describir el problema de satisfacción de restricciones geométrico planteado, descripción que adquiere especial relevancia desde el momento en que el sistema propuesto, como requisito de partida, se orienta hacia los expertos de este dominio en particular. Se repasa, además, la solución aportada en algunos trabajos de investigación previos, centrando la atención en la solución aportada mediante la utilización de algoritmos genéticos. Se presentan los principales conceptos relacionados con los algoritmos genéticos y se describe su aplicación a este problema, poniendo de manifiesto la necesidad de llevar a cabo el ajuste de parámetros del algoritmo.

El capítulo tres resume el estudio del estado del arte en el ajuste de parámetros en general y en las técnicas de ajuste de parámetros utilizadas en el caso de los algoritmos genéticos, en particular. La intención que se pretende al tratar estas técnicas, es hacer notar su dependencia con respecto a los modelos de cálculo utilizados, lo cual se aleja de los requisitos de partida de este trabajo.

El capítulo cuatro expone los conceptos fundamentales acerca de las redes bayesianas en cuanto a la capacidad que éstas tienen como modelo de representación de conocimiento y para llevar a cabo tareas de inferencia bajo condiciones de incertidumbre. En este capítulo, se hará especial hincapié en los métodos existentes para construir redes bayesianas a partir de conjuntos de datos, puesto que son fundamentales en el desarrollo del sistema propuesto.

En el capítulo cinco se introducen los conceptos básicos acerca de los sistemas de razonamiento basado en casos. Se describen las componentes de conocimiento que pueden intervenir y su ciclo de operación. Se presenta su aplicación como metodología de desarrollo para la construcción de sistemas y se muestran las implicaciones de dicho enfoque, evidenciando la posibilidad de utilizar distintas tecnologías de Inteligencia Artificial para dar soporte a cada una de las fases de su ciclo de vida. En este sentido, se hace una recopilación de los trabajos más relevantes, haciendo especial hincapié en aquellos que integran sistemas de razonamiento basado en casos con redes bayesianas.

Los capítulos seis y siete exponen las principales aportaciones del presente trabajo de tesis. El capítulo seis se centra en describir de manera genérica el modelo de ajuste básico propuesto en una primera fase, el cual está soportado por una red bayesiana, justificando además la adecuación del formalismo escogido. Posteriormente, se detalla cómo se lleva a cabo la adaptación del modelo de ajuste al problema de satisfacción de restricciones geométricas planteado, teniendo en cuenta las características relevantes del algoritmo genético empleado y los datos disponibles. También se exponen los mecanismos de aprendizaje e inferencia aplicados para obtener las recomendaciones acerca de los parámetros del algoritmo genético. El capítulo siete se centra en exponer cómo el meta-modelo de ajuste expuesto en el capítulo anterior se puede integrar en un sistema de razonamiento basado en casos, para lograr ajustar los parámetros del algoritmo en función de las características relevantes del problema a resolver. En primer lugar, se describe el modo de operación del sistema propuesto así como el modo de representación del conocimiento, independientemente del dominio de aplicación. Se concluye con la adaptación del sistema descrito al problema que nos ocupa, especificando la representación de un caso para el problema geométrico y detallando la forma en que operan las técnicas a utilizar en las diferentes etapas propuestas por esta metodología.

El capítulo ocho se concentra en la evaluación tanto del modelo de ajuste básico como del sistema de razonamiento basado en casos, propuestos en los capítulos previos. Comprende además el planteamiento de la metodología de pruebas a utilizar, los objetivos a alcanzar en los diferentes experimentos expuestos, las medidas a

utilizar para evaluar los resultados, la exposición de resultados obtenidos y su comparación con aquellos obtenidos por otros trabajos al respecto.

Por último, el capítulo nueve expone una serie de comentarios relativos a las conclusiones extraídas de la aplicación del modelo desarrollado al problema planteado. Finalmente se detallan las líneas de trabajo futuro a desarrollar, utilizando como punto de partida la investigación presentada en esta tesis.

4 Resumen y Conclusiones

En este trabajo de tesis se ha abordado el problema de ajustar los valores de los parámetros de un algoritmo que se utiliza para resolver un determinado problema, teniendo en cuenta las características relevantes de cada instancia del problema y las experiencias pasadas con instancias similares. Para ello se ha desarrollado un sistema orientado al usuario final, es decir, orientado al experto en el dominio del problema que se trata de resolver. El sistema es el encargado, no solo de ajustar automáticamente los valores de los parámetros del algoritmo de modo que se optimice su rendimiento, sino también de evitar la configuración manual del mismo, lo cual requeriría ser un experto en el método de resolución.

Para alcanzar este objetivo se define, en una primera fase, un sistema capaz de analizar los datos disponibles por el usuario final (procedentes de ejecuciones previas del algoritmo a optimizar, resolviendo diferentes instancias del problema planteado), para obtener la configuración de parámetros más probable que optimiza el rendimiento del algoritmo. En una segunda fase, para manejar la información adicional que se pueda tener acerca del problema y poder adecuar el sentido de la recomendación de parámetros a las características concretas de la instancia del problema a resolver, se propone la utilización de un sistema de razonamiento basado en casos como marco integrador de las diferentes clases de instancias, así como su solución particular, dada por una red bayesiana específica. Las características de los sistemas de razonamiento basado en casos le convierten además, en un sistema de ajuste que evoluciona y aprende para cada problema planteado, lo que posibilita su adaptación a diferentes entornos.

La validación de ambos modelos se ha llevado a cabo utilizando el problema de ajuste de parámetros de un algoritmo genético que resuelve el problema de selección de la solución deseada y los resultados obtenidos se han comparado con los obtenidos por Barreiro para solucionar el mismo problema y con otras configuraciones provenientes de la literatura de referencia. En primer lugar, se ha evaluado el modelo de ajuste básico y los resultados han evidenciado que el modelo desarrollado es capaz de ajustar valores de parámetros sin conocimiento *a priori* de los mecanismos que rigen el funcionamiento de dicho algoritmo genético y sin necesidad de partir de un estado completo de información, sino que se trata de un modelo dinámico, que ofrece un buen comportamiento y que es capaz de mejorar su rendimiento a medida que va adquiriendo más conocimiento (ejecuciones) del problema a resolver. En segundo lugar, se ha evaluado el sistema CBR bayesiano evidenciado su capacidad para realizar recomendaciones de parámetros a medida de las características particulares de la figura geométrica a resolver y mejorando por lo tanto la precisión de las recomendaciones.

Referencias

- [1] Aamodt,A., and Plaza,E. Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations and system approaches. *AI Communications*,7(1):39–59. 1994.
- [2] Barreiro,E. *Modelización y optimización de algoritmos genéticos para la selección de la solución deseada en resolución constructiva de restricciones geométricas*. PhD thesis, Dpto. de Informática. Universidade de Vigo. 2006.
- [3] Bouma,W., Fudos,I., Hoffmann,C., Cai, J. and Paige, R. Geometric constraint solver. *Computer-Aided Design*, 27(6):487–501. 1995. doi: [10.1016/0010-4485\(94\)00013-4](https://doi.org/10.1016/0010-4485(94)00013-4)
- [4] Goldberg,D.E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison Wesley. 1989.
- [5] Pearl, J. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA. 1998.