

Metaheurísticas avanzadas aplicadas a problemas de optimización

Villagra S., Pandolfi D., Lasso M., Mercado V., Orozco S., Serón N.,
Villagra A.

Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM)

Unidad Académica Caleta Olivia

Universidad Nacional de la Patagonia Austral

{svillagra,dpandolfi, mlasso,vmercado,sorozco,nseron,
avillagra}@uaco.unpa.edu.ar

Leguizamón G.

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC)

Departamento de Informática - Universidad Nacional de San Luis

legui@unsl.edu.ar

Resumen

En el presente trabajo se describen las líneas de investigación en el campo de las metaheurísticas aplicadas a problemas de optimización. La primera línea, está relacionada al estudio de mecanismos avanzados de mejora del proceso de búsqueda de metaheurísticas aplicadas a una batería de problemas representativos de optimización combinatoria. La segunda línea de trabajo se vincula con la aplicación de diferentes técnicas metaheurísticas al problema de ruteo de vehículos. Los aspectos a estudiar serán validados a través de estudios experimentales intensivos y analizados rigurosamente bajo la teoría estadística apropiada.

Palabras clave: Algoritmos Genéticos Celulares, Hibridación, Metaheurísticas, Problemas de Ruteo de Vehículos.

Contexto

Las líneas de investigación presentadas en este documento se llevan a cabo en el Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM) en el marco del Programa de

Investigación en Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica Caleta Olivia y en el ámbito del Proyecto de Investigación “Metaheurísticas avanzadas y de población descentralizada para problemas de ruteo de vehículos”.

Introducción

El diseño de algoritmos eficientes para resolver problemas complejos, tanto de optimización como de búsqueda, ha sido tradicionalmente uno de los aspectos más importantes de la investigación en Informática. El objetivo perseguido en este campo es, fundamentalmente, el desarrollo de nuevos métodos capaces de resolver los problemas complejos con el menor esfuerzo computacional posible, mejorando así los resultados obtenidos por los algoritmos existentes.

Las metaheurísticas son métodos que integran de diversas maneras, procedimientos de mejora local y estrategias de alto nivel para crear un proceso capaz de escapar de óptimos locales y realizar una búsqueda robusta en

el espacio de búsqueda. En su evolución, estos métodos han incorporado diferentes estrategias para evitar la convergencia a óptimos locales, especialmente en espacios de búsqueda complejos. En [4] se pueden encontrar recopiladas varias definiciones de metaheurísticas dadas por diferentes autores, esta clasificación depende de un conjunto de características seleccionadas que las diferencian. Así, se puede tener metaheurísticas inspiradas en la naturaleza o no, basadas en poblaciones o en trayectorias, con función objetivo estática o dinámica, que utilizan una o varias estructuras de vecindario, o que memorizan estados anteriores de la búsqueda o no.

Entre algunas metaheurísticas podemos nombrar: *Simulated Annealing* (SA) [5], *Tabu Search* [6], *Scatter Search* (SS) [7], Búsqueda por Vecindario Variable (*Variable Neighborhood Search-VNS*) [8], Algoritmos Evolutivos (AEs) [9], Optimización por Colonia de Hormigas (*Ant Colony Optimization-ACO*) [10], Optimización por Cúmulo de Partículas (*Particle Swarm Optimization-PSO*) [11], las cuales se abordarán en esta línea de investigación.

Un problema particular que se está trabajando es el de ruteo de vehículos (VRP: *Vehicle Routing Problem*). El VRP consiste en generar rutas de reparto dado una cantidad de clientes por atender, un conjunto de vehículos de reparto y un punto de origen, permitiendo minimizar ciertos factores que ayuden a la empresa a obtener beneficios [1][2].

El interés de este problema viene dado por dos causas principales. Por un lado, el VRP es un problema *NP-duro* [3] y de alto interés académico debido a su dificultad en las restricciones que incluye, y en la multitud de variantes existentes. Por otro lado, muchos problemas del mundo real pueden ser visualizados (o concebidos) como variantes de VRP.

Líneas de investigación y desarrollo

En esta sección se describen las líneas de investigación que se llevan a cabo en el proyecto:

Metaheurísticas avanzadas aplicadas a problemas de optimización.

Las técnicas metaheurísticas han sido aplicadas en las dos últimas décadas para resolver problemas de optimización.

El concepto de optimización puede verse como el proceso de encontrar y mejorar el rendimiento de una aplicación o dispositivo a partir de determinados cambios lógicos o físicos.

Las metaheurísticas han sido exitosamente aplicadas en diferentes problemas de optimización y en particular el algoritmo genético celular (cGA) [13] que es el que se ha tomado como base en este estudio.

Nuestra motivación es mejorar la performance de un cGA incorporando en él características o componentes activas de otras metaheurísticas. Es decir, tomar la “esencia” de una metaheurística e incorporarla en la metaheurística anfitriona (cGA en nuestros estudios experimentales).

Existen diferentes taxonomías de hibridación. Raidl[15] muestra una clasificación que combina la taxonomía de Talbi[16] con el punto de vista de [21] y [22]. Talbi en [16] y [17] propone una taxonomía para algoritmos híbridos y presenta dos clasificaciones para este tipo de algoritmos: jerarquizada y plana. Esta clasificación establece esquemas híbridos específicos en donde, en general, diferentes algoritmos son combinados de acuerdo a ciertos criterios. Sin embargo, en esta línea se pretende brindar una perspectiva diferente al esquema híbrido planteado previamente. Más precisamente, se pretende crear

algoritmos cuya construcción siga criterios similares a los establecidos para diseñar algoritmos híbridos, pero incorporando componentes de los algoritmos antes que al algoritmo como un todo.

En cuanto al problema de VRP, se busca satisfacer la demanda de los clientes a un mínimo costo, sujeto a una amplia gama de restricciones. La literatura revisada estudia principalmente tres casos del VRP: *The Capacitated Vehicule Routing Problem* (CVRP), o ruteo de vehículos con capacidad, *The Vehicule Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) o ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, y *The Pick up and Delivery Problem* (PDP), o problema de recolección y entrega. El VRPTW [12], es otra versión del problema de ruteo de vehículos, pero impone restricciones de ventanas de tiempos que deben cumplir los vehículos para realizar sus entregas.

En el caso del VRPTW existen dos versiones: con restricciones de ventanas de tiempo blandas, las cuales pueden ser violadas a un cierto costo, y con restricciones de ventanas de tiempo duras, aunque éstas no pueden ser violadas [12]. Esta variante de problema es la que se está abordando actualmente en la línea de investigación del proyecto. El objetivo es minimizar la flota de vehículos, el tiempo total de viaje y el tiempo de espera necesario para abastecer a todos los clientes en sus respectivos horarios.

Las soluciones son factibles si, además de las características de las soluciones de VRP, se agregan las siguientes características: una solución se convierte en no factible si un cliente es abastecido después del límite superior de su ventana horaria, si el vehículo llega antes del límite inferior de la ventana horaria el tiempo causa un aumento en el tiempo de espera, cada ruta debe empezar y terminar

dentro de la ventana de tiempo asociada al depósito y en el caso de ventanas menos estrictas, un servicio tardío no afecta a la factibilidad de la solución pero sí, se penaliza agregando un valor a la función objetivo.

Resultados obtenidos/esperados

En cuanto a los resultados se ha presentado una nueva forma de hibridar cGA con componentes activas de otras metaheurísticas. Se ha propuesto en [20] una metodología para la identificación de componentes activas de una metaheurística compuesta de dos pasos. (1) Proceso de remover partes de la metaheurística y (2) Aplicación de *profiling*, como herramienta complementaria para ayudar a determinar las componentes activas identificadas en el primer paso. Además de permitir la identificación de componentes activas no identificadas en el primer paso, la metodología se aplicó para identificar componentes activas en PSO y SA. Esas componentes activas se utilizaron para mejorar el cGA. Los resultados obtenidos han sido muy satisfactorios.

Recientemente se ha extendido la aplicación de la metodología a SS, una metaheurística evolutiva conocida como *Búsqueda Dispersa*. Fue introducida a comienzos de la década de los setenta por Glover [7]. SS se basa en combinar las soluciones que aparecen en el llamado conjunto de referencia. En este conjunto se tienen las soluciones buenas que se han ido encontrando. Es importante destacar que el significado de buena no se restringe a la calidad de la solución, sino que también se considera la diversidad que ésta aporta al conjunto.

Se ha aplicado a SS la metodología propuesta. Se identificó como componente activa al conjunto de referencia. Se incorporó esta componente

activa en cGA y los resultados obtenidos han mejorado a cGA en varios aspectos: calidad, número de evaluaciones y tiempo.

Actualmente se ha aplicado la metodología de identificación de componentes activas en ACO. Se ha determinado que la feromona y la heurística de ACO son sus componentes activas. Se incorporaron estas componentes activas en el mecanismo de recombinación, y en el mecanismo de selección utilizado en el cGA. Se están llevando a cabo los experimentos y se espera lograr una mejora en los resultados obtenidos por la metaheurística anfitriona.

En cuanto a el WTVRRP se utiliza el algoritmo genético que implementa un proceso de múltiple recombinación y múltiples padres donde los nuevos individuos se generan a partir de un pool de múltiples padres, conformado por un individuo semental y por individuos generados aleatoriamente (inmigrantes aleatorios). Este proceso es llamado MCMP-SRI y es una variante de multirecombinación[14].

Este método fue aplicado en diferentes problemas de planificación de máquina única para casos estáticos y casos dinámicos y los resultados obtenidos fueron satisfactorios. Se adapta al MCMP-SRI para incorporar las restricciones de las ventanas de tiempo, penalizando en caso de no llegar a tiempo al cliente según la ventana de tiempo establecida.

Se están realizando experimentos con el conjunto de instancias introducidas por Solomon [18] y el conjunto de instancias de Cordeau[19] basadas en las instancias de Solomon. Se espera obtener resultados promisorios con la aplicación de los algoritmos propuestos.

Formación de recursos humanos

Un integrante de este proyecto de investigación está desarrollando su Tesis de Doctorado en esta temática.

Un integrante está desarrollando su tesis de Maestría orientada en esta línea de investigación.

Se cuenta con dos becarios de investigación de grado.

Referencias

- [1] Christofides, N., Mingozzi A. y Toth P. The vehicle routing problem. *Revue française d'automatique d'informatique et de recherche opérationnelle. Journal of Combinatorial Optimization*. 1:315–338, 1979.
- [2] Laporte, G. The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European J. Operational Research*. 59:345-358, 1992.
- [3] Lenstra J.K. y RinnooyKan A.H.G., "Complexity of vehicle routing y scheduling problems," *Networks*. 11:221–227, 1981.
- [4] Blum C. y Roli A. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview y conceptual comparison. *ACM Computing Surveys*, 35(3):268–308, 2003.
- [5] Kirkpatrick S. Gelatt J., Vecchi M. *Optimization by Simulated Annealing*. *Science*, 220:671–680, 1983.
- [6] Glover F. y Laguna M. *Tabu Search in Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. John Wiley y Sons, 1993.
- [7] Glover, F. *Heuristics for Integer Programming Using Surrogate Constraints*, *Decision Sciences*, vol. 8, pp. 156-166. 1977.

- [8] Hansen P. y Mladenovic N. Variable neighborhood search for the p-median. *Location Science*, 5(4):207–226, 1997.
- [9] Bäck T., Fogel D., y Michalewicz Z., editors. *Handbook of Evolutionary Computation*. Oxford University Press, 1997.
- [10] Dorigo M. y Di Caro G. The ant colony optimization metaheuristic. In D. Corne, M. Dorigo, and F. Glover, editors, *New Ideas in Optimization*, pages 11–32. McGraw Hill, 1999
- [11] Kennedy J. y Eberhart R. Particle Swarm Optimization. In *IEEE Int. Conf. Neural Netw.*, volume 4, pages 1942–1948, 1995.
- [12] Toth P., Vigo D. (eds.): *The vehicle Routing Problem, III*. Siam, *Monographs on Discrete Mathematics and Applications*, 2002.
- [13] Alba E. y Dorronsoro B. *Cellular Genetic Algorithms*. Springer 2008.
- [14] Villagra A., Pandolfi D. y Leguizamón G. Handling constraints with an evolutionary tool for scheduling oil wells maintenance visits. *Journal Engineering Optimization*. 45(8):963—981, 2013.
- [15] Raidl G. A unified view on hybrid metaheuristics. In: *Hybrid Metaheuristics*, Springer, pp 1–12. 2006.
- [16] Talbi, E.-G. A taxonomy of hybrid metaheuristics. *Heuristics, Journal of heuristics*, 8(5):541–564, 2002.
- [17] Talbi, E.-G. *Metaheuristics: From design to Implementation*. Wiley, 2009.
- [18] Solomon, M. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints. *Operations research* 35, 254-265. 1987.
- [19] Cordeau J.-F., Laporte G., Mercier A. A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows. *Journal of the Operational Research Society* 52, 928-936. 2001.
- [20] Villagra A., Leguizamón G., Alba E. Active components of metaheuristic in cellular genetic algorithms. *Soft Computing*. Pages 1-15. 2014. Doi 10.1007/s00500-014-1341-6.
- [21] Blum C., Roli A., Alba E. An introduction to metaheuristic techniques. *Parallel Metaheuristics: A New Class of Algorithms* 47:3–42. 2005.
- [22] Cotta-Porras C. A study of hybridisation techniques and their application to the design of evolutionary algorithms. *AI Communications* 11(3):223–224. 1998