

Adaptation de Métaheuristiques pour résoudre des Problèmes d'Optimisation Combinatoire liés aux Transports

Mehdi El Krari

L'industrie du transport s'est fortement développée depuis la révolution industrielle. Dans une économie où les besoins en consommation sont de plus en plus grandissants, son importance est devenue indiscutable aussi bien dans le secteur public que dans le privé. Les revenus qu'elle peut dégager ainsi que les frais qu'elle occasionne imposent la mise en place d'une politique et d'un système tout sauf arbitraire.

Pour en tirer les meilleurs bénéfices, une stratégie visant à maximiser les revenus et minimiser les frais doit être développée et optimisée. Des modèles mathématiques inspirés de problèmes réels sont conçus pour permettre à la communauté scientifique dans le domaine de l'optimisation de mettre en œuvre des méthodes de différentes catégories, dont les métaheuristiques.

Cette classe d'algorithmes permet d'avoir des solutions dans un temps assez court, ce qui lui permet d'être praticable pour les instances larges contrairement aux méthodes exactes. D'un autre côté, elle ne donne aucune garantie sur la qualité de la solution (par rapport à l'optimale). Cette contrainte a suscité l'intérêt des chercheurs afin de proposer des heuristiques pouvant fournir de bonnes solutions (voire même les optimales) avec une probabilité très élevée indépendamment de la topologie et la difficulté de l'instance.

An empirical study of the multi-fragment tour construction algorithm for the travelling salesman problem

Les métaheuristiques peuvent être divisées en deux classes, celle des méthodes d'amélioration et celle de construction, cette dernière sert à la première pour fournir des solutions d'entrée. "Multi-Fragment", une méthode de construction pour le problème du voyageur de commerce (TSP) plus performante que ses concurrentes, manquait d'analyse empirique dans la littérature. Le principe de cette heuristique est de construire un tour en rajoutant à chaque itération l'arête la plus petite n'ayant pas été encore sélectionnée et assurant la faisabilité du tour.

Un travail [1] dans ce sens a été réalisé dans le cadre d'une conférence internationale expliquant la méthode en détail et se comparant avec les méthodes de construction les plus sollicitées dans la littérature. Cette étude s'est avérée utile pour certains chercheurs ayant demandé le manuscrit et/ou désirant implémenter cette méthode de construction.

Breakout Local Search for the Travelling Salesman Problem

Les métaheuristiques sont aussi classifiées selon leurs méthodologies de résolution. Parmi les différentes classes proposées dans la littérature, la recherche locale fait partie des plus sollicitées. Sa capacité à exploiter un ensemble de solutions pour en tirer la meilleure a fait en sorte de constituer la base ou d'être une composante majeure de plusieurs travaux de recherche couronnés de succès dans divers problèmes.

Breakout Local Search (BLS) est une récente métaheuristique qui, comme son nom l'indique, est basée sur le principe de la recherche locale et plus exactement sur la métaheuristique de la recherche locale itérée (ILS). BLS a apporté une contribution majeure à ILS en introduisant le principe de perturbation adaptative qui lui permet d'ajuster les perturbations en fonction de l'état courant de la recherche. Ainsi et après avoir été appliquée sur beaucoup de POC tout en obtenant des solutions de très bonnes qualités, un intérêt majeur a été donné à cette métaheuristique durant cette thèse.

Une étude et adaptation pour le TSP [2] ont été la première contribution, où des perturbations variables en types de mouvements ont été proposées et introduites à BLS afin de mieux échapper aux optima locaux de forte attraction. Ce changement

de mouvements d'une perturbation à une autre est inspiré de la recherche à voisinage variable (VNS), où à chaque itération une structure de voisinage est choisie aléatoirement parmi un ensemble de structures. A contrario, cette implémentation fait appel à ces voisinages de façon ordonnée, par ordre croissant de force de perturbation.

Les résultats comparatifs, obtenus à partir des tests effectués sur des instances issues du benchmark TSPLIB, ont montré une nette amélioration par rapport à ILS, mais ont en même temps décelé une lenteur contraignante aussi bien sur les instances difficiles que les grandes instances. En effet, la stratégie de perturbation proposée par BLS impose (quel que soit le type de perturbation) une recherche exhaustive de tous les mouvements afin de solliciter les meilleurs possibles. La qualité des solutions est donc obtenue au détriment du temps d'exécution. Les tests ont aussi révélé que BLS peine parfois à échapper les bassins à forte attraction, contraignant l'exploration de l'espace de recherche.

A Memetic Algorithm Based on Breakout Local Search for the Generalized Traveling Salesman Problem

Pour augmenter les chances de tomber sur des optima locaux meilleurs, un algorithme mémétique a été proposé durant cette thèse pour le TSP généralisé (GTSP)¹, combinant entre BLS et un algorithme génétique (AG) avec des opérateurs (sélection, croisement et mutation) tirés de la littérature.

Contrairement au TSP, où une solution faisable doit passer par toutes les villes avant de retourner à celle de départ, les villes sont dans cette variante (le GTSP) groupées dans des clusters mutuellement exclusifs et exhaustifs qu'il faut visiter une fois en passant par une seule ville.

BLS est donc cette fois-ci adaptée pour un problème à deux niveaux/couches d'optimisation: couche clusters et couche nœud. Proposer une nouvelle amélioration aux perturbations afin de réduire le temps nécessaire à BLS était essentiel dans cette adaptation afin d'obtenir les résultats escomptés. La recherche exhaustive de tous les mouvements réalisables afin d'en tirer le plus convenable, initialement effectuée dans le premier travail ainsi que dans des travaux précédents dans la

¹ Soumis à Applied Artificial Intelligence (ISSN: 1087-6545) Impact Factor: 0.587 - <https://www.tandfonline.com/uaai20>

littérature, a été remplacée par une recherche sur un échantillon de mouvements. La complexité de la perturbation a considérablement décreu d'un ordre carré à linéaire. Connus pour leurs aspects explorateurs, les AG permettront à BLS de se positionner dans plusieurs points de l'espace de recherche en même temps et de découvrir de nouveaux sous-espaces d'une génération à une autre.

Les résultats obtenus sur les différentes instances examinées du benchmark GTSP LIB sont compétitifs par rapport à l'état de l'art, la solution optimale (ou la meilleure solution connue) étant souvent atteinte. Cette adaptation mémétique basée sur BLS s'est donc montrée plus performante que celle proposée dans [2].

A novel reduction algorithm for the generalized traveling salesman problem

Durant les travaux effectués sur le GTSP dans cette thèse, et particulièrement celui cité ci-dessus, la possibilité de réduire le nombre de villes d'une instance a été observée. La réduction permet de contracter l'espace de recherche en retirant quelques une de ses solutions.

Une méthode de prétraitement a été proposée²[3] se basant sur les distances entre les villes des différents clusters. L'algorithme proposé sélectionne pour chaque paire de clusters le couple de ville ayant la plus petite distance, puis retire à la fin du processus les villes n'ayant jamais été sélectionnées.

Les taux de réduction obtenus sur un large ensemble d'instances dépassent de loin ceux de l'unique méthode concurrente de l'état de l'art. Les instances réduites ont été par la suite testées sur deux solveurs basées sur la recherche locale (GLKH et GLNS) et ont permis de fournir des solutions plus rapidement grâce un espace de recherche restreint, où la solution optimale peut être retirée par l'approche proposée. Ceci mène à une dégradation légère de la qualité des solutions qui restent quand même acceptables.

Une généralisation a été proposée permettant de sélectionner pour chaque couple de clusters les villes constituant les k plus petites distances. Plus la valeur de k est grande, plus le nombre de villes sera conservé, et donc moins sera le taux de

² Soumis à Operational Research (ISSN: 1866-1505) Impact Factor: 1.816 - <https://link.springer.com/journal/12351>

réduction. Les solutions fournies sont par contre meilleures en augmentant la valeur de k .

Using cluster barycenters for the generalized traveling salesman problem

Parmi les perspectives envisagées dans ce travail, il a été proposé de se baser sur la distance entre une ville et les barycentres des autres clusters. L'utilisation des barycentres a été discuté dans un [4] des travaux de cette thèse, le but est de représenter chaque cluster par un point fictif et unique, tout en tenant compte de la position de leurs villes respectives.

Cette thèse avait pour objectif de proposer des méthodes efficaces pour résoudre des POC dont les champs d'applications incluent le domaine des transports. Les travaux effectués ont permis de contribuer à l'état de l'art par diverses publications dans des journaux et des conférences de renom.

Proposer une (méta)heuristique performante basée sur la recherche locale se doit de connaître les différentes topologies des espaces de recherches des instances difficiles. L'étude du paysage de recherche contribue amplement dans la proposition de nouvelles approches bien adaptées au problème. Elle permet de connaître les fonctions de voisinage et les opérateurs les plus appropriés pour anticipant les difficultés pour améliorer la/les solution(s) courante(s). Un intérêt pour les études de paysage sera d'avantage accordé dans les travaux postdoctoraux, une contribution dans ce sens a même déjà été apportée au *Travelling Thief Problem* [5].

Trouver la meilleure configuration pour certaines métaheuristiques disposantes de plusieurs paramètres de différents types (à l'image de BLS) pénalise souvent l'avancement du travail en question, sans pour autant avoir la garantie de tomber sur la plus convenable. La configuration automatique des algorithmes a émergé durant les deux dernières décennies en tant que problème d'optimisation. Plusieurs techniques ont depuis été proposées entraînant une motivation supplémentaire pour prendre en considération de telles méthodes dans les travaux futurs.

Travaux effectués

- [1] M. El Krari, B. Ahiod, and B. El Benani, “An empirical study of the multi-fragment tour construction algorithm for the travelling salesman problem,” in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 552, 2017, pp. 278–287.
- [2] M. El Krari, B. Ahiod, and B. El Benani, “Breakout Local Search for the Travelling Salesman Problem,” *Computing and Informatics*, vol. 37, no. 3, pp. 656–672, 2018.
- [3] M. El Krari, B. Ahiod, and B. El Benani, “A novel reduction algorithm for the generalized traveling salesman problem,” *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion on - GECCO '17*, pp. 105–106, 2017.
- [4] M. El Krari, B. Ahiod, and B. El Benani, “Using cluster barycenters for the generalized traveling salesman problem,” in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 557, 2017, pp. 135–143.
- [5] M. El Yafrani, M. S. R. Martins, M. El Krari, M. Wagner, M. R. B. S. Delgado, B. Ahiod, and R. Lüders, “A fitness landscape analysis of the travelling thief problem,” in *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference on - GECCO '18*, 2018, pp. 277–284.