Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 91 (2000)

Heft: 21

Artikel: Des fourmis pour livrer du mazout

Autor: Taillard, Eric D. / Agazzi, Giovanni / Gambardella, Luca Maria

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855614

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Des fourmis pour livrer du mazout

Le comportement social des insectes intéresse depuis quelques années mathématiciens et ingénieurs. Des algorithmes simulant la fonction des substances olfactives des fourmis permettent de résoudre efficacement de difficiles problèmes d'optimisation comme par exemple celui du voyageur de commerce qui doit trouver le chemin plus court entre un certain nombre de villes. Le présent article expose un procédé permettant d'établir les itinéraires de route pour les flottes de camions.

La livraison de certains biens peut engendrer des coûts non négligeables par rapport à la valeur de la chose livrée, et c'est le cas pour l'huile de chauffage. Les entreprises spécialisées dans ce domaine doivent donc rationaliser leurs livraisons pour pouvoir être compétitives. Cependant, le problème de l'optimisation de la livraison de biens est si difficile que l'on ne connaît pas de méthodes suffisamment performantes pour le résoudre exactement, dès que le nombre de clients dépasse quelques dizaines et le nombre de véhicules quelques unités. Nous avons été mandatés par une entreprise de distribution d'huile de chauffage pour mettre au point un logiciel de gestion et d'optimisation de ses livraisons. Le cœur de ce système est basé sur une optimisation des parcours des véhicules à l'aide d'une méthode inspirée du comportement des fourmis.

Bien que nous puissions comprendre le scepticisme du lecteur à la vue du titre de cet article, le sujet traité ici est parfaitement sérieux: les fourmis peuvent être très utiles pour nous aider à planifier la livraison de biens. Cependant, nous devons bien admettre que l'application d'une telle technique n'est pas encore très répandue et c'est peut-être même la première en milieu industriel. Certes, nous n'allons utiliser ni les muscles ni l'estomac de fourmis pour procéder au transport du mazout, mais leur «intelligence» collective. Avant de poursuivre dans la description de la méthode utilisée pour la planification des tournées, commençons par décrire le problème qui nous a été soumis:

Une grande entreprise de distribution d'huile de chauffage tessinoise nous a mandatés pour optimiser les parcours effectués par ses véhicules, de manière à pouvoir mieux satisfaire les commandes de ses clients. Le processus de gestion des commandes est le suivant: un client contacte un vendeur et lui donne un certain nombre d'informations nécessaires pour la livraison, telles que la quantité de mazout désirée, les périodes auxquelles la livraison peut avoir lieu, les restrictions d'accès de sa citerne (dimension du véhicule, longueur minimale du tuyau). Chaque jour, le service des ventes de l'entreprise communique les nouvelles commandes au service de la planification chargé d'élaborer les tournées des véhicules. Cette planification se faisait jusqu'à présent manuellement, en triant les bulletins de commande et en distribuant chaque matin une pile de bulletins aux chauffeurs.

Ce mode de fonctionnement n'est pas très rationnel pour plusieurs raisons. Tout d'abord, le problème de la planification optimale est si difficile qu'actuellement on ne connaît pas de méthode de résolution exacte utilisable en pratique. On doit donc se contenter de solutions qui ne sont pas nécessairement optimales. Or, si un être humain est capable de produire relativement aisément une solution acceptable, il est en revanche incapable de distinguer une différence de quelques pourcents dans la qualité de deux solutions. Mais ce sont précisément ces petits pourcents qui permettent à l'entreprise d'être rentable car les frais fixes sont pratiquement incompressibles.

Ensuite, une seule personne assume la responsabilité de toute la planification. Cette personne a certes accumulé de grandes connaissances au cours des ans mais elle peut être totalement débordée en hiver lorsque la demande est la plus forte. Enfin, cela rend l'entreprise très vulnérable en cas de maladie ou de départ de ce collaborateur.

Le logiciel que nous avons développé pour cette entreprise comporte un certain nombre de fonctions:

- Saisie et gestion du réseau routier pour le calcul des trajets les plus rapides
- Gestion de la flotte de véhicules
- Gestion des commandes
- Production de plans de livraisons
- Visualisation des résultats

Dans cet article, nous nous pencherons principalement sur la production des plans de livraisons car nous avons utilisé une méthode assez originale pour les trouver, basée sur une fourmilière artificielle.

Colonies de fourmis

En vous baladant dans la nature, vous avez certainement déjà remarqué que les fourmis se déplacent parfois en longues files très rectilignes. Ces chemins connectent de façon parfaitement rationnelle la fourmilière à des sources de nourriture. Comment les fourmis peuvent-elles suivre ces chemins qui sont parfaitement invisibles pour nous et, chose plus surprenante encore si l'on sait qu'une fourmis ne voit pas plus loin que le bout de ses antennes, comment arrivent-elles à trouver de tels chemins?

Le premier élément de réponse vient précisément du rôle joué par les antennes: ces dernières sont capables de détecter et d'analyser des quantités infimes de substances chimiques. Or, les fourmis ont la faculté de pouvoir synthétiser des substances très spécifiques, substances qu'elles déposent tout au long de leurs pérégrinations. Comme elles peuvent détecter par la suite ces traces chimiques à l'aide de leurs antennes, ces substances sont porteuses d'informations et sont appelées phéromones. Ceci n'explique cependant pas comment elles arrivent à trouver un chemin *optimum*.

Au sortir de l'hiver, ou après une longue période de froid et de pluie, le ter-

Adresses des auteurs
Prof. *Eric D. Taillard,* Ecole d'Ingénieurs du Canton de Vaud (EIVD), Laboratoire d'informatique, Route de Cheseaux 1 1400 Yverdon; *Giovanni Agazzi,* Curno (Bergame, Italie); *Luca Maria Gambardella* Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale (IDSIA), 6928 Manno-Lugano

rain environnant la fourmilière est vierge de toutes traces, le temps et l'eau les ayant effacées. Dans ces conditions, une fourmi n'a aucun point de repère et se balade de façon aléatoire, tout en déposant derrière elle une trace de phéromone qui lui permettra de retourner à la fourmilière, tel le petit Poucet avec ses cailloux ou Thésée avec le fil d'Ariane. Lorsque la fourmi trouve une source de nourriture, elle en rapportera une certaine quantité tout en déposant au retour une quantité de phéromone d'autant plus grande que la source est de qualité et abondante. Naturellement, des milliers d'autres fourmis font de même simultanément, ce qui fait que de nombreux chemins de différente longueur conduisent vers la même source de nourriture, certains de ces chemins pouvant même se croiser.

Le temps de parcours de chaque fourmi étant proportionnel à la longueur et à la difficulté du chemin qu'elle suit, il en résulte que les fourmis ayant découvert un chemin court et facile le parcoureront plus souvent que celles suivant un chemin tortueux. Ainsi, la quantité de phéromone indiquant les bons chemins augmente plus rapidement. Une fourmi suivant un chemin médiocre qui croise un bon chemin va pouvoir améliorer son parcours en constatant que la quantité de phéromone déposée sur le chemin qu'elle croise est plus importante que sur son propre chemin. Finalement, d'amélioration en amélioration toutes les fourmis se rendant à une source de nourriture donnée vont emprunter le même chemin. De plus, ce dernier a de grandes chances d'être excellent. Maintenant que nous savons comment les fourmis arrivent à optimiser leurs parcours, voyons comment ce processus peut se transposer pour l'optimisation du problème de la distribution de mazout.

Fourmis artificielles

Comme nous l'avons mentionné plus haut, l'élaboration de plans de livraisons optimaux est si difficile qu'on ne connaît pas d'algorithme résolvant ce problème exactement et efficacement. La seule chose que l'on puisse faire dans ce cas est d'essayer de trouver une solution aussi bonne que possible, mais sans pouvoir garantir son optimalité. Le planificateur est donc un peu dans la situation d'une fourmi qui ne sait pas trop comment se déplacer dans l'espace des solutions de son problème. L'idée consiste donc à transposer le processus d'optimisation des chemins des fourmis au problème qui nous préoccupe en faisant appel à des fourmis artificielles simulant la démarche de leurs congénères biologiques.

Une fourmi artificielle correspond à un processus construisant des tournées admissibles pour un véhicule donné. Notre colonie de fourmis artificielles est constituée comme suit: on crée un processus pour chaque demi-journée où un véhicule peut être engagé pour effectuer les livraisons (la demi-journée est la période minimale pendant laquelle on peut engager un véhicule). Une solution du problème, éventuellement incomplète, est obtenue en activant successivement tous ces processus. Lorsqu'un processus est activé, il peut se trouver dans deux situations:

- Il existe au moins un client qu'il est possible de desservir en plus des clients déjà inclus dans le plan de livraisons en cours de construction par le processus. Dans ce cas, ce dernier choisit un client approprié selon des critères probabilistes que l'on précisera plus loin et l'inclut dans son plan de livraisons avant de se mettre en attente.
- Il est impossible d'inclure un client additionnel au plan de livraisons. Dans ce cas, le processus transmet son plan de livraisons avant de se tuer (on sait bien que le monde virtuel est des plus violents).

Lorsque toutes les fourmis artificielles se sont suicidées, on dispose d'un ensemble de plans de livraisons pour chaque véhicule et chaque demi-journée. Ces plans peuvent éventuellement être améliorés en permutant l'ordre dans lequel on visite les clients ou en échangeant certains clients desservis par des véhicules différents.

La première solution ainsi obtenue sera souvent de qualité très médiocre, avec de nombreux clients non desservis. Cependant, cette solution contient peut-être des éléments intéressants qu'il pourrait être utile de conserver lors de la construction de nouvelles solutions. Les vraies fourmis peuvent à nouveau nous inspirer pour améliorer notre processus: on attribuera un nombre à chaque trajet possible entre deux clients, nombre qui sera une mesure de l'intérêt à inclure ce trajet dans un plan de livraisons et qui jouera le rôle des traces de phéromone. Ainsi, lorsqu'on ressuscitera les fourmis artificielles (tout est possible dans un monde virtuel), elles auront à disposition des informations supplémentaires pour construire de nouveaux plans de livraisons. Le critère de sélection du client à inclure dans un plan de livraisons en cours de construction dépendra donc non seulement du temps de parcours pour rejoindre ce client, mais également de la quantité de phéromone artificielle associée à ce trajet.

En répétant ce cycle un grand nombre de fois et en réglant soigneusement la quantité de phéromone artificielle que l'on dépose après chaque construction de nouveaux plans de livraisons, il est possible d'obtenir de très bonnes solutions. Le lecteur intéressé par plus de détails sur les colonies de fourmis artificielles trouvera des articles introductifs dans [1, 2] et une application de cette méta-heuristique à un problème académique d'élaboration de tournées de véhicules dans [3].

Cette méthode, de même que les autres modules annexes, ont été programmés en VisualBasic et fonctionne sous Windows. Les fichiers des commandes de clients, des caractéristiques des véhicules, du réseau routier ainsi que des planifications des tournées des véhicules se présentent sous la forme de feuilles de calcul Excel, mais peuvent être édités et imprimés directement dans notre logiciel.

Résultats

Il est très délicat d'évaluer la qualité d'une méthode qui a été mise au point pour un problème industriel très spécifique. En effet, chaque entreprise a des règles de fonctionnement qui imposent un certain nombre de contraintes rendant le problème particulièrement difficile. De plus, notre logiciel n'a pas encore pu être testé en situation réelle car le système informatique de l'entreprise ne se prête pas encore à un traitement très dynamique des commandes de clients: actuellement, toute la gestion des commandes, de la saisie à la facturation, passe par un système centralisé AS/400 qui n'est actualisé qu'une fois par jour. Par conséquent, l'entreprise n'est pas encore en mesure de fournir une liste informatisée des commandes non encore honorées avant que les véhicules aient commencé leurs tournées matinales. Cela signifie également qu'une commande urgente (typiquement un client sans chauffage, faute de mazout) ne passe pas par le canal informatique, mais est traitée manuellement: le vendeur transmet une note manuscrite directement au planificateur ou à un chauffeur.

Cependant, nous avons tenté d'évaluer notre méthode de deux manières. Premièrement, nous avons considéré un jeu de problèmes-tests couramment utilisé dans le monde académique. Ces problèmes sont naturellement beaucoup plus simples que le problème industriel que nous traitons: tous les véhicules sont identiques et caractérisés uniquement par un volume

de marchandise à transporter (donc il n'y a pas de contraintes sur l'accessibilité des clients), les clients sont caractérisés par leurs coordonnées sur le plan euclidien, le volume demandé et une fenêtre de temps unique (la planification ne concerne donc que l'équivalent d'une demi-journée pour le problème industriel). Ces problèmes académiques présentent l'avantage d'avoir été l'objet d'innombrables tentatives de résolutions avec des dizaines de méthodes différentes et programmées par l'élite des chercheurs au niveau mondial. Par conséquent, on en connaît d'excellentes solutions. En comparant ces solutions à celles produites par notre méthode, on se rend compte que cette dernière est tout à fait compétitive, même si elle a été conçue à la base pour un type de problème très différent. Nous obtenons en effet des solutions à quelques pour-cents des meilleures solutions connues à ce jour, tant sur le plan du nombre de véhicules à engager pour effectuer les livraisons que de la distance totale qu'ils doivent parcourir.

Nous avons ensuite testé notre programme sur des données réelles. L'entreprise nous a fourni le détail des tournées réalisées par ses véhicules pour une semaine entière durant laquelle plusieurs centaines de commandes ont été honorées. Cependant, l'entreprise n'ayant pas encore complètement informatisé la saisie des commandes, les disponibilités des clients ne nous étaient pas connues. Pour créer un fichier de commandes à honorer, nous avons imposé – condition plus restrictive que dans la réalité – que les clients soient desservis le même jour où ils l'ont effectivement été. A l'aide de ces données, nous avons pu constater que notre logiciel permettait de desservir cet ensemble de commandes nettement plus rationnellement, en diminuant de 10% à 20% tant le nombre de véhicules à engager que la distance totale parcourue par ces derniers, tout en ayant des tournées mieux équilibrées. Ce dernier critère est important pour les chauffeurs. En effet, il ne faut pas que certains aient l'impression de travailler plus que les autres ou d'être plus souvent mis à contribution pour effectuer des heures supplémentaires. Ces résultats sont provisoires et naturellement à envisager avec précaution, car ils ne sont pas basés sur des données réelles complètes. Néanmoins, nous pensons que l'entreprise pourra à l'avenir réduire significativement ses coûts de livraisons.

Conclusion

Nous avons appliqué avec succès une technique d'optimisation nouvelle pour un problème de distribution d'huile de chauffage. Même si la méthode que nous avons mise au point n'a pas pu être testée en situation réelle, puisque l'entreprise ne dispose pas encore de l'infrastructure informatique adéquate, les premiers tests que nous avons effectués sont très prometteurs. A terme, nous pensons que l'entreprise gagnera en efficacité, car elle pourra gérer le même volume de commandes avec un parc de véhicules plus restreint ou encore diminuer ses délais de livraison. Elle y gagnera également en souplesse, car elle pourra réagir plus rapidement et de manière plus appropriée en situation d'urgence (client sans chauffage, panne d'un véhicule, etc.).

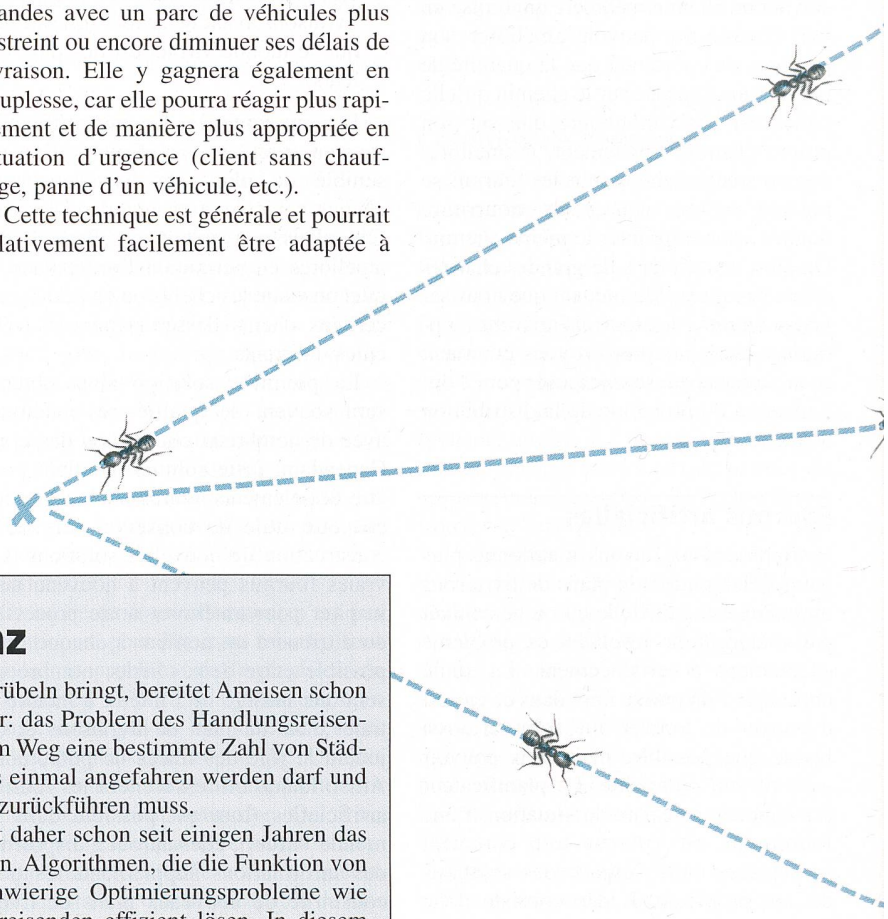
Cette technique est générale et pourrait relativement facilement être adaptée à d'autres problèmes de planification, que ce soit dans le cadre de tournées de véhicules ou de gestion d'opérations dans une unité de production industrielle. De plus, elle permettra d'intégrer de façon naturelle une informatisation complète de l'entreprise, y compris des données provenant en temps réel d'ordinateurs installés à bord des véhicules.

Références

[1] *E. D. Taillard:* An introduction to Ant systems, dans: *M. Laguna, J. L. G. Velarde* (éditeurs): Computing Tools for Modelling, Optimization and Simulation, Interfaces in Computer Science and Operations Research, Kluwer, Boston, pp. 131–144, 2000.

[2] *M. Dorigo, G. Di Caro:* The Ant Colony Optimization Meta-Heuristic, dans: *D. Corne, M. Dorigo, F. Glover* (éditeurs): New Ideas in Optimization. Mc Graw Hill, Londres, pp. 11–32, 1999.

[3] *L.-M. Gambardella, E. D. Taillard, G. Agazzi:* MACS-VRPTW: A Multiple Ant Colony System for vehicle routing problems with time windows, dans: *D. Corne, M. Dorigo, F. Glover* (éditeurs): New Ideas in Optimization. Mc Graw Hill, Londres, pp. 63–76, 1999.



Kollektive Intelligenz

Was Mathematiker auch heute noch ins Grübeln bringt, bereitet Ameisen schon seit Jahrmillionen kein Kopfzerbrechen mehr: das Problem des Handlungsreisenden. Die Aufgabe besteht darin, auf kürzestem Weg eine bestimmte Zahl von Städten zu besuchen, wobei keine Stadt mehr als einmal angefahren werden darf und die Reise am Ende an ihren Ausgangspunkt zurückführen muss.

Das soziale Verhalten von Insekten weckt daher schon seit einigen Jahren das Interesse von Mathematikern und Ingenieuren. Algorithmen, die die Funktion von Ameisenduftstoffen simulieren, können schwierige Optimierungsprobleme wie beispielsweise das Problem des Handlungsreisenden effizient lösen. In diesem Artikel wird ein Verfahren erläutert, mit dem Routenpläne für eine Lastwagenflotte erstellt werden können.