

Flot Concurrent Maximal avec Demandes Multi-Horaires et Contraintes de Délais

Amal Benhamiche¹, Valentin Berkes^{1,2}, Eric Gourdin¹

¹ Orange Labs, Châtillon, France

{amal.benhamiche, valentin.berkes, eric.gourdin}@orange.com

² École des Ponts Paristech, France

Mots-clés : *Flot concurrent maximal, génération de colonnes, routage multi-horaire, chemins de longueur bornée.*

Résumé

Dans cet article, nous nous intéressons au problème du *Flot Concurrent Maximal* (FCM) et montrons comment il peut être utilisé comme brique de base dans une démarche plus globale pour résoudre des problèmes d'*ingénierie du trafic* qui se posent en pratique, dans les réseaux de télécommunication de grande taille. En particulier, nous considérons un problème pratique dans lequel des chemins optimaux doivent être calculés dans un réseau donné, composé de liens dotés d'une certaine capacité, afin de router des demandes de trafic (également appelées *commodités*) entre plusieurs *paires o-d* (origines-destinations). Dans notre cas, les demandes sont supposées varier sur des périodes de temps successives. Lorsque les demandes sont *routées* le long de chemins dans le réseau, le flot résultant peut être observé sur chaque lien. Par ailleurs, le ratio du flot sur la capacité de chaque lien est appelé *charge* et sa valeur est comprise entre 0 et 1 lorsque le flot n'excède pas la capacité. Nous considérons cependant que le cas où la charge est supérieure à 1 sur un ou plusieurs liens est possible, les liens correspondants sont alors dits "surchargés". Dans ce contexte, l'objectif global de notre démarche est (i) d'éviter autant que possible d'avoir des liens surchargés et (ii) de garder toutes les charges aussi basses que possible. En effet, l'idée est que les réseaux de télécommunication réels réagissent bien lorsque la charge de tous les liens est en dessous d'un certain seuil, qui varie d'un contexte à un autre et n'est donc pas facile à définir explicitement. Enfin, le cas pratique que nous étudions impose également que des restrictions de *délai de bout-en-bout* soient garanties pour chaque demande et chaque chemin de routage. Le délai d'un chemin est défini comme la somme des délais sur les liens qui le composent et représente le temps nécessaire pour acheminer le trafic sur ce chemin. De plus, des bornes explicites de délai maximum sont données pour chaque demande.

Notre contribution consiste à montrer comment, partant d'un problème de FCM classique, plusieurs spécificités peuvent être prises en compte afin de résoudre efficacement un problème de télécommunications réel : tout comme dans [1], nous utilisons une approche lexicographique partielle, afin de réduire la charge des liens les plus chargés, jusqu'à ce que toutes les charges soient en dessous d'un seuil donné. Nous proposons une formulation arc-chemins pour notre problème de FCM que nous résolvons à l'aide d'une procédure de génération de colonnes dont le sous-problème (ou problème de *pricing*) est un plus court chemin avec contraintes de bornes sur les délais. Nous utilisons un algorithme proposé dans [2] afin de générer uniquement les chemins qui vérifient la contrainte de délai de bout-en-bout imposée. Nous supposons que les demandes sont connues mais que leur valeur varie dans le temps (comme dans [3]). Nous considérons alors des créneaux horaires successifs avec différentes valeurs de trafic pour les paires origine-destination données. Nous proposons un modèle qui permet d'obtenir un schéma de routage (ensemble de chemins) UNIQUE, qui ne change pas sur les créneaux horaires considérés. Afin

d'évaluer l'efficacité de notre approche, nous comparons les charges obtenues sur les liens du réseau avec les charges résultant d'un algorithme de routage dit de *référence*, utilisé en pratique et basé sur le protocole IGP (Interior Gateway Protocol). Ce mode de routage est basé sur les plus courts chemins : les chemins de routage sont définis comme les plus courts chemins dans le réseau, suivant une métrique administrative donnée (valeurs définies par un gestionnaire de réseau). Enfin, nous montrons à travers un ensemble de résultats expérimentaux (obtenus sur des instances réalistes) que notre approche permet d'améliorer de façon significative les résultats obtenus par routage de référence (IGP-base routing).

Références

- [1] D. Nace and M. Pioro, *Max-min fairness and its applications to routing and load-balancing in communication networks : A tutorial*. Commun. Surveys Tuts. 10 (2008), pp. 5-17.
- [2] J. E. Beasley and N. Christofides. *An algorithm for the resource constrained shortest path problem*. Networks 19 (1989), pp. 379-394.
- [3] W. Ben-Ameur. *Multi-hour design of survivable classical IP networks*. International Journal of Communication Systems 15 (2002), pp. 553-572.