

Ecole Polytechnique - année 2019
MAP473B
**Optimisation du routage dans un grand réseau
Internet**

Eric Gourdin
Orange Labs OLN/GDM/TRM
38-40 bd du Général Leclerc
92794 Issy-les-Moulineaux Cedex 9
email: eric.gourdin@orange.com

1^{er} mars 2019

1 Contexte Télécom

Le nombre toujours croissant de services offerts aux usagers de l'Internet fixe et mobile, particuliers ou entreprises, génère des volumes de plus en plus important de trafic, qu'il faut souvent écouler dans les grands réseaux d'interconnexion internationaux. La gestion opérationnelle de ces grands réseaux devient donc un enjeu considérable pour les opérateurs de ces réseaux, d'autant que la compétition entre opérateurs les oblige à veiller à une utilisation aussi efficace et parcimonieuse que possible des ressources disponibles. En parallèle, les incidents et les opérations de maintenance dans le cœur du réseaux ont un impact considérable sur la qualité des services offerts aux clients. Les principes de gestion de ces réseaux consiste donc souvent à définir des plans de routage efficaces, stable et robuste et à surveiller les évolutions de la demande pour décider, de temps en temps, soit d'adapter le réseau lui même (ajouter ou augmenter les capacités, ajouter des liens,...), soit de modifier le plan de routage.

Même si des évolutions sont proposées régulièrement pour rendre plus flexibles les protocoles de routage dans les réseaux IP, les principes de routage utilisés en pratique restent essentiellement basés sur des notions de routage au plus-court-chemin (selon des valeurs sur les arcs définies par l'administrateur réseau et qui constitue la "métrique administrative"). Plus précisément, les protocoles IGP (Interior Gateway Protocol) classiques (OSPF, IS-IS,...) consistent à décentraliser les décisions de routage au niveau de chaque routeur IP. Des échanges d'information réguliers et de proche en proche permettent à chaque routeur de maintenir une vision à peu près à jour de la topologie complète du réseau, et ce, quasiment en temps réel. En fonction de cette vision locale de la topologie, chaque routeur utilise les informations de métriques administratives associées à chaque lien pour calculer le (ou les) plus court(s)-chemin(s) vers chaque destination potentielle dans la même topologie. Il en

déduit, au niveau local, vers quelle interface de sortie le trafic doit être aigüillé en fonction de sa destination finale. Comme son nom l'indique, la métrique administrative est une valeur définie par un administrateur du réseau et dont l'objet est justement de contrôler (mais de manière indirecte) le routage dans le réseau.

D'autres protocoles ont été proposés et normalisés plus récemment pour offrir plus de flexibilité quant à la façon de gérer les routages au sein du réseau : MPLS (Multi-Protocol Label Switching) permet de définir "à la main" (et donc potentiellement indépendamment du routage IGP) un chemin de routage (en utilisant des étiquettes, ou labels, MPLS). En pratique, le choix d'un routage optimisé sur un réseau à n noeuds (les routeurs) obligerait les administrateurs à définir conjointement de l'ordre de n^2 chemins, voire même n^3 ou n^4 si l'on souhaite prendre en compte les cas de pannes de noeuds ou de liens dans le calcul. Même s'il s'agit typiquement d'un problème d'optimisation relativement classique et maîtrisé, les administrateurs réseau redoutent de déléguer les décisions de routage à des algorithmes complexes et préfèrent s'appuyer sur des règles et des principes plus simples, même si potentiellement sous-optimaux. En pratique, les grands réseaux d'interconnexion reposent donc en grande partie sur des protocoles IGP "classiques" avec, à la marge, utilisation de quelques chemins MPLS pour améliorer la situation globale dans le réseau.

2 Objectif général du travail

On va se mettre dans la situation d'un administrateur réseau, qui dispose d'un certain nombre d'informations sur l'état de son réseau et sur le trafic, et qui souhaiterait améliorer le routage.

Dans un premier temps, on va supposer que le réseau est modélisé par un graphe $G = (V, E)$ bi-orienté : V est l'ensemble des n noeuds (routeurs) et E est l'ensemble des m liens $\{u, v\}$ où u et v sont des noeuds de V . Pour chaque lien $\{u, v\}$, il existe les deux arcs (u, v) et (v, u) (graphe bi-orienté). On supposera que chaque arc (u, v) est muni de :

- une capacité c_{uv} qui indique le débit maximum sur ce lien,
- une métrique administrative w_{uv} qui est utilisée par le protocole IGP pour calculer les chemins de routage (plus-court-chemins),
- un délai δ_{uv} qui indique le temps de transmission d'un paquet IP sur cet arc.

On supposera également que l'administrateur dispose d'une "matrice de trafic" représentative $D = (d_{od})$ qui indique, pour chaque paire o-d (origine-destination) la demande à écouler dans le réseau entre les noeuds o et d. Lorsque les demandes de trafic sont écoulées dans le réseau selon un certain protocole de routage, cela induit ce que l'on appelle en modélisation de réseaux, un *flot*, qui se traduit par une valeur de flot f_{uv} sur chaque arc. Le ratio du flot sur la capacité de l'arc définit la charge : $\rho_{uv} = f_{uv}/c_{uv}$. On utilise les informations de charge pour évaluer la qualité d'un routage. En particulier, on cherche surtout à éviter d'avoir des arcs trop chargés, parce que cela se traduit, en pratique, par de la congestion, du délai, des pertes de paquets et donc, une qualité dégradée pour les utilisateurs.

Question 1 : pour un réseau et une matrice de trafic donnée, proposer et coder un algorithme permettant de calculer la charge sur chaque arc (en supposant qu'on se repose entièrement sur le protocole de routage IGP basé sur les plus-court-chemin) - attention aux plus-courts-chemins multiples !

Question 2 : proposer et comparer plusieurs façons d’évaluer la qualité globale d’un routage. On pourra tenir compte, en plus de la charge, du délais de bout-en-bout (par exemple, on peut avoir, pour chaque paire o-d, une indication du délais maximum admissible).

A partir de là, il y a plusieurs pistes de travail envisageables, chacune suffisamment complexe pour justifier d’y consacrer le travail complet d’un binôme.

3 Pistes à explorer

3.1 Proposition 1 : optimisation du routage IGP

On souhaite optimiser le routage IGP, c’est-à-dire, proposer de modifier les métriques administratives de manière à améliorer le critère proposé à la question 2. Il s’agit donc de proposer des méthodes et d’implémenter des algorithmes cherchant à calculer un nouvel ensemble de métriques permettant d’améliorer le critère, voire d’obtenir la solution optimale (auquel cas, il faut également une façon de prouver l’optimalité).

3.2 Proposition 2 : routage avec robustesse face à l’incertitude de la demande

Ici, ainsi que dans la section suivante, on suppose qu’on peut router “librement” les demandes de trafic (c-a-d indépendamment du routage IGP). On suppose qu’on dispose d’un ensemble de matrice de trafic (par exemple, un historique) et la question consiste à déterminer un routage “optimal” pour cet ensemble de matrice, le “optimal” étant à préciser (et à discuter).

3.3 Proposition 3 : routage sécurisé face aux pannes d’arcs et de noeuds

Cette fois-ci, on suppose que la topologie est sujette à des incertitudes. Dans un premier temps, on considérera que chaque arc et chaque noeud a une même probabilité de tomber en panne. On cherchera à proposer des mécanismes permettant de prendre en compte ces pannes sans perdre de trafic (ou en n’en perdant le moins possible), puis on proposera des algorithmes permettant de calculer le ou les plans de routage associés.

4 Travail attendu

Dans chaque projet, il faudra chercher dans la littérature les résultats les plus pertinents en relation avec la problématique, puis bien identifier, clarifier et modéliser les problèmes sous-jacents. On cherchera ensuite à développer et tester des algorithmes qui seront testés sur des instances fournies ultérieurement. Le codage des algorithmes se fera de préférence en Python avec la bibliothèque Jupyter pour l’appel éventuel à des solveurs (Cplex, cbc, glpk,...) et la bibliothèque Networkx pour la manipulation des graphes.