

Sujet de thèse en informatique :
Algorithmes pour le routage dans les réseaux multicouches

Encadré par : Mohamed Lamine LAMALI et Damien MAGONI

Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique (LaBRI) – Université de Bordeaux

1 Contexte

Les réseaux hétérogènes et multicouches sont des réseaux où différents protocoles coexistent et où des encapsulations ont lieu. Ces réseaux sont de plus en plus répandus (coexistence IPv4/IPv6 [8], tunnels IPsec, TLS, etc.). Plus généralement, n'importe quel réseau permettant l'établissement de tunnels peut être considéré comme un réseau hétérogène ou multicouche.

De nos jours, les tunnels sont omniprésents dans les réseaux. Or, les modèles basés sur les graphes et les algorithmes qui en découlent ne sont pas adaptés à la prise en compte des tunnels. Il se trouve que des problèmes simples dans un réseau classique, comme par exemple le calcul de chemins et le routage, deviennent très difficiles dans un réseau multicouche (le calcul d'un chemin sous contrainte de bande passante est trivialement polynomial dans un réseau classique, mais est NP-difficile dans un réseau multicouche [4], de même, la longueur d'un chemin dans un tel réseau peut être exponentielle [7]). Ces problèmes sont encore très mal compris et il est nécessaire de développer de nouveaux modèles et de nouveaux algorithmes pour les résoudre. Pour l'instant, nous ne disposons que d'un algorithme centralisé, basé sur la théorie des langages, pour le calcul de chemins unidirectionnels [5, 7], et d'un algorithme distribué basé sur une généralisation de l'algorithme de Bellman-Ford [6].

Le but de cette thèse est d'étudier les problèmes de communication dans de tels réseaux, en particulier le calcul de chemins centralisé et distribué, la communication multicast via le calcul d'arbres de diffusion, ainsi que l'adaptation de ces algorithmes en protocoles de routage.

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet ANR JCJC *HÉTÉROGÉNÉITÉ et algorithmes de RoutAge dans les réseaux* (HÉRA), dont le but est de mieux comprendre les fondements théoriques structurels et algorithmiques des réseaux multicouches. Elle se déroulera au Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique (LaBRI). Le début de la thèse est prévu pour septembre 2019. **Le financement est garanti.**

2 Plan de la thèse et travail demandé

2.1 Algorithmes distribués pour le calcul de chemins

Il n'est pas facile de calculer un chemin dans un réseau multicouche, même de manière centralisée. La principale difficulté est que les plus courts chemins dans un tel réseau n'ont pas de sous-structure optimale, ce qui empêche l'utilisation de la programmation dynamique. Mais dans un contexte réseau, l'approche distribuée reste la plus utile (il n'est pas garanti de disposer d'un environnement SDN et d'un contrôleur). Dans ce cas, il faudra généraliser les algorithmes existants. L'algorithme distribué dont nous disposons souffre d'une convergence lente, surtout quand les chemins les plus courts contiennent beaucoup de cycles. Il faudrait améliorer l'algorithme afin d'accélérer considérablement la convergence. Il serait également

intéressant de trouver des critères d'arrêt plus précoces pour améliorer la complexité. Le travail à réaliser sera le suivant :

1. Améliorer l'algorithme de calcul de chemins en anticipant certains cycles,
2. Trouver des critères d'arrêt pertinents pour l'algorithme,
3. Étudier la relation entre la complexité en temps et en messages de l'algorithme.

2.2 Algorithmes centralisés efficaces pour le calcul de chemins

Bien que nous disposions d'un algorithme centralisé pour le calcul de chemins, cet algorithme n'est pas adapté au *routage par sauts* (hop-by-hop routing) car il ne permet pas le calcul de tables de routages dans tout le réseau. Une idée pour la construction des tables de routage serait de décomposer le chemin en sous-chemins de longueur assez petite pour les construire efficacement en s'inspirant du routage par segments. Le travail à réaliser sera le suivant :

1. Concevoir et étudier un algorithme de décomposition de chemins,
2. Adapter l'algorithme précédent afin d'effectuer un routage par segments,
3. Effectuer des simulations pour confirmer les résultats théoriques.

2.3 Calcul d'arbre et communication multicast

Afin de réaliser une communication multicast (par exemple pour le streaming ou la vidéoconférence), il faut pouvoir construire des arbres de communication. Pour cela, il faudra d'abord définir et étudier la notion d'arbre dans un réseau multicouche. Le travail à réaliser sera le suivant :

1. Définir un modèle d'arbres dans les réseaux multicouches,
2. Concevoir un algorithme de calcul de tels arbres. Ce calcul étant déjà NP-difficile dans un réseau classique (problème de Steiner), on se concentrera sur des approches approximatives et heuristiques,
3. Effectuer des simulations pour confirmer les résultats théoriques et évaluer l'efficacité des algorithmes.

2.4 Conception d'un protocole de routage

Le passage d'algorithmes de routage aux protocoles de routage n'est pas trivial. Cela nécessite la définition et la spécification de différents paramètres (format des en-têtes, de la table de routage, des messages, etc.) et leur validation. Le travail à réaliser sera le suivant :

1. Définir le format des en-têtes, de la table de routage, des messages, les diagrammes d'états, etc.,
2. Valider le protocole spécifié, on pourra utiliser une approche algébrique [1],
3. Implémenter le protocole sur un simulateur (ex., ns2, ns3, Omnet++, etc.) et l'évaluer via des simulations.

2.5 Adaptation des algorithmes et du protocole de routage aux objets connectés

Les objets connectés occupent une place de plus en plus importante dans les réseaux, il serait intéressant d'adapter le protocole de routage aux contraintes spécifiques de ces objets. On se concentrera surtout sur la compression des messages et la réduction de la taille des tables de routage. Le travail à réaliser sera le suivant :

1. Élaborer un schéma de compression des en-têtes des messages, en particulier de la pile de protocole (en s'inspirant de 6LoWPAN par exemple),
2. Définir un schéma de routage avec des tables réduites. Les deux approches envisagées sont le routage compact [2] ou les spanners [3]. Les généraliser aux réseaux multicouches,
3. Adapter l'implémentation du protocole de routage aux objets connectés (avec les en-têtes et les piles de protocoles compressés, ainsi que la réduction des tables de routage) et effectuer des simulations.

Le plan de la thèse pourra être adapté en fonction du profil du candidat.

3 Compétences requises

- Compétences théoriques :
 - Très bonnes connaissances en algorithmique des graphes (calcul de chemins – éventuellement sous contraintes, calcul d'arbres – dont problème de Steiner, décomposition de graphes, etc.),
 - Bonnes connaissances en théorie des langages (grammaires hors-contexte, automates à piles)
 - Connaissances basiques en algorithmique distribuée
 - Connaissances basiques en théorie de la complexité (réductions et NP-complétude, etc.)
- Compétences pratiques :
 - Maîtrise des langages de programmation C/C++ et Python pour implémenter les algorithmes conçus,
 - Bonne connaissance d'un ou plusieurs simulateurs de protocoles réseaux tels que ns2, ns3, Omnet++, etc.,
 - Connaissances basiques en protocoles de communication (IPv4, IPv6, etc.) et de routage (RIP, OSPF, etc.)

NB. Il est vivement souhaité que le candidat effectue également son stage de master 2 sur le même sujet et dans la même équipe. Ce sera considéré comme un stage de pré-thèse.

Contact

mohamed-lamine.lamali@u-bordeaux.fr

Références

- [1] M. Abdul Alim and Timothy G. Griffin. On the interaction of multiple routing algorithms. In *CoNEXT*, 2011.
- [2] Cyril Gavoille, Christian Glacet, Nicolas Hanusse, and David Ilcinkas. Brief announcement : Routing the internet with very few entries. In *PODC*, pages 33–35. ACM, 2015.
- [3] Cyril Gavoille and Christian Sommer. Sparse spanners vs. compact routing. SPAA '11, 2011.
- [4] F. A. Kuipers and F. Dijkstra. Path selection in multi-layer networks. *Computer Communications*, 2009.
- [5] M. L. Lamali, N. Fergani, J. Cohen, and H. Pouyllau. Path computation in multi-layer networks : Complexity and algorithms. In *INFOCOM*, pages 1–9, 2016.
- [6] M. L. Lamali, S. Lassourreille, S. Kunne, and J. Cohen. A stack-vector routing protocol for automatic tunneling. In *INFOCOM*, 2019. (*To appear*).

- [7] Mohamed Lamine Lamali, Nasreddine Fergani, and Johanne Cohen. Algorithmic and complexity aspects of path computation in multi-layer networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*. To appear. Online : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01706362>.
- [8] S. Steffann, I. van Beijnum, and R. van Rein. A Comparison of IPv6-over-IPv4 Tunnel Mechanisms. RFC 7059, RFC Editor, November 2013. Online : <https://tools.ietf.org/html/rfc7059>.