



Mars 2014

Equipe Réseaux

Sujet de Thèse

Routage multichemins adaptatif : répartition de trafic collaborative et caractérisation qualitative de topologies

Encadrement :

Fabrice THEOLEYRE (theoleyre@unistra.fr)

Stéphane CATELOIN (cateloin@unistra.fr)

Pascal MÉRINDOL (merindol@unistra.fr)

Laboratoire ICube – UMR 7357, CNRS – Université de Strasbourg

Equipe Réseaux – <http://icube-reseaux.unistra.fr>

Contexte

Le routage est l'une des clés qui permettent de maîtriser les ressources d'un réseau. Dans les réseaux IP actuels, le routage repose sur des algorithmes dont l'objectif est soit de trouver un unique meilleur chemin entre chaque paire de routeurs, soit sur plusieurs chemins de coûts identiques (ECMP, [1], [2]). Plus généralement, on appelle algorithme de routage multichemins, un algorithme qui permet ainsi de trouver plusieurs routes entre deux points du réseau, quelles que soient les contraintes sur les coûts de ces chemins. De tels protocoles ont déjà été proposés dans la littérature ([3,4,5,6,7]). A l'échelle du routeur, le but est de proposer pour une destination donnée, non plus une interface de sortie mais plusieurs. La composition au saut par saut de ces alternatives permet d'obtenir une grande diversité de routes, distinctes ou non.

Les avantages du routage multichemins sont nombreux. D'une part, le fait de calculer plusieurs chemins de routage par anticipation permet de remédier rapidement aux pannes qui peuvent subvenir dans le réseau. Dans un contexte distribué, les routeurs peuvent prendre localement une décision de routage qui est de facto plus rapide qu'un nouveau calcul global des routes. D'autre part, les différents chemins peuvent être utilisés simultanément afin par exemple de profiter cumulativement de la bande passante disponible sur chacun d'entre eux. Il s'agit alors de décider de la répartition idéale du trafic sur les différentes routes disponibles : on parle alors de routage adaptatif. Pour cela, deux approches peuvent être envisagées. La première prend l'hypothèse qu'un élément central dispose de la totalité des informations de trafic : la répartition de trafic revient alors à optimiser une fonction objective (utilisation globale des ressources, bande passante totale, etc.). Cette vision a déjà fait l'objet de nombreux travaux. La seconde approche consiste à confier les décisions de routage à différents acteurs du réseau, ceux-ci étant amenés à collaborer afin de parvenir à une solution satisfaisante. C'est l'étude de solutions dans le cadre de cette dernière approche qui motive cette thèse.

Une fois que les routeurs ont sélectionné un ensemble d'interfaces utilisables pour commuter les paquets IP, la répartition de charge est un processus de décision qui peut reposer sur des indicateurs locaux, ou émanant d'autres routeurs.

La nature de ces indicateurs doit être adaptée selon le contexte où ils sont employés. En particulier, en ce qui concerne les réseaux sans-fil, la politique de partage peut privilégier la gestion d'énergie ou la connectivité de bout-en-bout. Les réseaux de capteurs peuvent également bénéficier de ces mécanismes. Dans le cadre des équipements mobiles multi-domiciliés, les performances et le coût d'utilisation des connexions disponibles imposent des contraintes supplémentaires. Par ailleurs, dans le cœur de réseau, on pourra choisir de privilégier les ressources ou d'éviter les congestions. Des grandeurs relatives à la qualité de service peuvent également entrer en compte, par exemple en assignant des flux sensibles à des chemins respectant une ou plusieurs contraintes. L'avènement de l'*Internet of Things*, qui pourrait regrouper des dizaines de milliards d'objets connectés à l'horizon 2020, introduit de nouveaux défis : la résilience des

réseaux face à de nouveaux types de trafic qui restent à caractériser, ou de nouveaux paradigmes d'accès aux données (comme les CCN, [8]) qui pourraient bouleverser l'actuelle pile protocolaire.

Les performances des algorithmes et des protocoles de routage adaptatifs multichemins dépendent naturellement des caractéristiques du graphe sous-jacent au réseau. La présence de motifs particuliers (notamment l'assurance d'une redondance minimale via des propriétés de k -connexité au niveau lien et/ou routeur) peut avoir un impact sur la recherche de chemins et répartition de trafic. Les propriétés logicielles des équipements sont aussi un facteur qui peut faciliter ou handicaper le déploiement de ces mécanismes ou protocoles de routage. Par ailleurs, l'émergence des SDN [9] peut faciliter le déploiement incrémental de nouvelles solutions de routage adaptées aux utilisations modernes de l'Internet [10]. L'évaluation des performances doit donc s'accompagner d'une caractérisation des propriétés d'un réseau à faciliter ou non la mise en œuvre de ces mécanismes.

La topologie d'Internet (ou de l'une de ses parties) est généralement représentée par un graphe de routeurs [11] (ou parfois un graphe de systèmes autonomes [12]), les arêtes de ce graphe étant éventuellement valuées par un ou plusieurs poids. Les propriétés intéressantes pour le routage concernent notamment le degré des noeuds [13], la diversité des chemins, les distances moyennes, les poids logiques attribués aux liens, etc. Au-delà de ces propriétés structurelles, statiques ou algébriques [14], il serait intéressant d'évaluer certaines propriétés logicielles du réseau (hétérogénéité des équipements et de leurs systèmes, protocoles mis en œuvre, etc.) et leurs dynamiques pour mieux appréhender la faisabilité de déploiement d'une nouvelle solution de routage.

Objectifs

Le premier objectif de cette thèse est donc de s'intéresser à la collaboration entre routeurs, qui s'appuie sur un échange de messages. Ces messages peuvent être des avertissements en amont demandant par exemple une réduction du débit (« backpressure »), comme l'introduit Gojmerac dans [15]. On peut également imaginer qu'il s'agisse de messages autorisant l'admission de nouveaux flux (des pistes intéressantes sont développées dans la thèse d'Ammar, [16]), ou diffusant des informations liées à la condition du routeur (par exemple la qualité des liens radio, la position ou la vitesse d'un nœud mobile voire le niveau de sa batterie). La nature qualitative ou quantitative des données échangées et leur présentation, les déclencheurs et le rythme de leur envoi, la conduite à tenir lors de leur réception sont autant de comportements à définir et à étudier. Outre la qualité de la répartition, la convergence du protocole est un point crucial. Les analyses de performances devront déterminer si les solutions proposées évoluent constamment dans un état instable ou si au contraire elles tendent vers une solution idéale. Dans ce cas, la durée de convergence sera un indicateur important.

Le second objectif concerne l'évaluation des propriétés topologiques ou logicielles des réseaux, dans l'objectif d'estimer leur capacité à supporter ces mécanismes de routage et de répartition. En examinant les algorithmes et protocoles de routage multi-chemins et/ou adaptatif de la littérature, il s'agira donc dans un premier temps de définir ce qu'est un routage efficace. Plusieurs indicateurs peuvent se révéler pertinents en fonction de l'objectif : la quantité de routes découvertes, leur longueur, leur recouvrement (le fait qu'elles soient totalement ou partiellement disjointes et le flot maximal résultant), le temps de convergence, les oscillations/changements de route, les interférences avec la couche transport et en particulier TCP, etc. La question de la valuation des liens et du choix de la métrique en général est prépondérante : est-il plus commode de valuer les liens pour favoriser le routage multi-chemins, ou de s'affranchir de cette surcouche logique pour ne s'en remettre qu'à la structure physique ? Faut-il adapter le poids des liens dynamiquement ? Si oui, à quelle fréquence ? Il faudra en effet également considérer la problématique de l'équilibrage de charge : il n'est pas nécessaire que l'ensemble des routes découvertes soit utilisé simultanément par le mécanisme de distribution adaptatif. Peut-on lier un certain nombre d'indicateurs liés à la topologie (degré des nœuds, distribution de ces degrés, k -connectivité, etc.) à ceux qui caractérisent l'efficacité du routage ? Est-il possible de dire, a priori, en connaissant les caractéristiques topologiques d'un réseau, quel algorithme/protocole de routage sera le plus efficace ? Réciproquement, peut-on, étant donné un couple protocole de routage/algorithme de partage de charge, inférer des modèles de graphe et logiciel adaptés, qui favorisent son efficacité ? Existe-t-il des motifs structurels et logiciels qui nuisent à la mise en place de routes multiples ou, au contraire, existe-t-il des motifs qui tendent à la favoriser ?

Références

- [1] C.Hopps, *Analysis of an Equal-Cost Multi-Path Algorithm*, RFC 2992, 2000.
- [2] Timur Friedman Brice Augustin and Renata Teixeira. *Measuring multipath routing in the internet*. In IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 19, issue 3, pp. 830-840, June 2011.
- [3] S.Vutukury, *Multipath routing mechanisms for traffic engineering and quality of service in the internet*, PhD thesis, University of California, Santa Cruz, 2001.

- [4] X. Yang and D. Wetherall, *Source selectable path diversity via routing deflections*, SIGCOMM'06, volume 36, pages 159-170, October 2006.
- [5] Pascal Mérindol, *Routage multichemins par interface d'entrée*. PhD thesis, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 2008.
- [6] Hao Wang, Haiyong Xie, Lili Qiu, Yang Richard Yang, Yin Zhang, and Albert Greenberg. *Cope : Traffic engineering in dynamic networks*. SIGCOMM Comput. Commun. Rev., 36(4) :99–110, August 2006.
- [7] Nithin Michael, Ao Tang, and Dahai Xu. *Optimal link-state hop-by-hop routing*. In ICNP, pages 1–10, 2013.
- [8] Van Jacobson, Diana K. Smetters, James D. Thornton, Michael F. Plass, Nicholas H. Briggs, Rebecca L. Braynard, *Networking named content*, Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies CoNEXT'09, pages 1-12, 2009.
- [9] Nick McKeown, Tom Anderson, Hari Balakrishnan, Guru Parulkar, Larry Peterson, Jennifer Rexford, Scott Shenker, and Jonathan Turner. *Openflow : Enabling innovation in campus networks*. SIGCOMM Comput. Commun. Rev., 38(2) :69–74, March 2008.
- [10] Stefano Vissicchio, Laurent Vanbever, and Olivier Bonaventure. *Opportunities and research challenges of hybrid software defined networks*. ACM Computer Communication Review (Editorial Zone), 44(2), April 2014.
- [11] A. Botta, W. de Donato, A. Pescapé, and G. Ventre. *Discovering topologies at router level : Part II*. In Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), November 2007.
- [12] Z. M. Mao, J. Rexford, J. Wang, and R. H. Katz. *Towards and accurate AS-level traceroute tool*. In Proc. ACM SIGCOMM, August 2003.
- [13] P. Mérindol, B. Donnet, O. Bonaventure, and J.-J. Pansiot. *On the impact of layer-2 on node degree distribution*. In Proc. ACM/USENIX Internet Measurement Conference (IMC), November 2010.
- [14] Seweryn Dyerowicz and Timothy G. Griffin. *On the forwarding paths produced by internet routing algorithms*. In ICNP, pages 1–10, 2013.
- [15] I. Gojmerac, P. Reichl, L. Jansen, *Towards Low-complexity Internet Traffic Engineering: The Adaptive Multi-Path Algorithm*, Journal of Computer Networks, Vol. 52, No. 15, pp. 2894–2907, December 2008.
- [16] Doreid Ammar, *Plan de connaissance pour les réseaux sémantiques : application au contrôle d'admission*, PhD thesis, Université de Lyon, December 2012.