

Sujet de stage M2

Contrôle dans les réseaux

Encadrants : Anne Bouillard (ENS) et Nadir Farhi (IFFSTAR)

12 octobre 2015

Contact : `anne.bouillard@ens.fr` et `nadir.farhi@ifsttar.fr`

Le *Network calculus* est une théorie pour le calcul des performances dans les réseaux [6]. À partir d'une description très simple des garanties pour chaque élément du réseau (taux d'arrivée des paquets et vitesse de service des serveurs), cette théorie permet de calculer des bornes supérieures sur les performances (délai de transmission d'un paquet de bout en bout dans le réseau, taux d'occupation d'un serveur...). Ces bornes peuvent être obtenues dans un cadre déterministe (par exemple, le délai calculé ne sera jamais dépassé par un paquet) ou dans un cadre stochastique (on borne la probabilité qu'un paquet dépasse le délai calculé). Dans le premier cas, les applications visées sont les systèmes embarqués critiques pour lesquels on veut calculer des bornes de performance sûres. Dans le second cas, cela permet d'analyser des systèmes non critique pour lesquels une analyse plus fine n'est pas possible.



FIGURE 1 – Serveur.

Les techniques utilisées sont de deux types : algébriques et algorithmiques. Les techniques algébriques se font dans le cadre de l'algèbre (min,plus) : les opérateurs naturels $+$ et $\times$ sont respectivement remplacés par le minimum et l'addition, et on peut interpréter cette théorie comme une théorie du signal dans l'algèbre (min,plus), en particulier avec l'utilisation massive de la convolution (min,plus) : $f * g(t) = \inf_{0 \leq s \leq t} f(s) + g(t - s)$. Il existe des algorithmes efficaces pour calculer ces opérateurs (min,plus), donc ces techniques sont peu coûteuses. Par contre, les bornes sur les performances calculées sont très pessimistes pour l'analyse de grands réseaux. La figure 1 montre un serveur traversé par un flot de données. A est la fonction qui associe à une date $t \geq 0$ la quantité de donnée entrée dans le serveur jusqu'à la date t , et B celle qui associe à une date $t \geq 0$ la quantité de donnée sortie du serveur jusqu'à la date t . Le serveur est décrit par une fonction β telle que la relation $B \geq \beta * A$ est satisfaite.

Les techniques purement algorithmiques se fondent sur une analyse plus précise du réseau, qui peut être alors modélisé par un ou plusieurs programmes linéaires (en se basant sur la définitions de la convolution), avec potentiellement des variables entières [1, 2]. Ces méthodes sont donc inapplicables pour l'étude de réseaux de taille réelle. Par contre, pour certaines topologies de réseaux, les algorithmes deviennent du même ordre de complexité que les méthodes algébriques, pour des calculs bien plus précis, de sorte qu'ils permettent également de déduire des algorithmes à la fois efficaces algorithmiquement et assez précis [3].

Les bornes calculées dépendent à la fois des caractéristiques de chaque flot et chaque serveur, mais aussi de la *politique de service*, c'est-à-dire de l'ordre dans lequel sont servis les données, en particulier pour un serveur utilisé par plusieurs flots. Les problèmes sont plus simples à résoudre quand on fait abstraction de la politique de service, mais aussi plus grossiers.

Une des applications du Network calculus est l'analyse et la régulation du réseau routier. Dans [5, 4], Farhi et al. ont proposé un modèle algébrique du trafic routier qui permet de prendre en compte la dynamique du trafic en une dimension (sur un lien, sans jonction), et de dériver des bornes de performance sur le temps de parcours, la densité, le flux de sortie, *etc.* Cette approche modélise une section du trafic routier comme un système linéaire dans l'algèbre des fonctions (min,plus), et interprète la réponse impulsionnelle d'un tel système comme une garantie de service associée à la section de route. La concaténation algébrique de plusieurs sections de route permet alors de modéliser un lien à plusieurs sections. Des idées pour la généralisation de cette approche sont déjà présentées dans ces deux articles. L'objectif d'une extension est de pouvoir calculer par exemple des bornes de performance sur le temps de parcours sur un itinéraire donné du réseau. Cette information pourrait être utilisée, par exemple, pour le guidage optimal des usagers du réseau.

Objectifs du stage

Après s'être familiarisé avec la théorie de *Network calculus*, le stagiaire pourra choisir parmi les deux pistes suivantes :

Étude de la politique FIFO Il existe un algorithme par programmation linéaire pour calculer les bornes exactes sur les délais, mais la complexité est doublement exponentielle (nombre exponentiel de variables et présence de variables entières. Il serait intéressant d'avoir un algorithme qui donne une formule pour les performances pire-cas symbolique en certains paramètres. Cela permettrait d'utiliser le Network calculus à des fins d'optimisation. Une première question est de trouver des cas où cet algorithme reste relativement simple.

Étude des réseaux routiers Il s'agira d'investiguer les possibilités d'extension de cette approche au trafic en deux dimensions. Pour cela, nous devons tenir compte des contrôles appliqués au niveau des intersections. Nous proposons d'investiguer les stratégies de régulation décentralisée du trafic routier (où le contrôle au niveau de chaque intersection est indépendant de l'état du trafic et des contrôles appliqués sur le reste du réseau). Les stratégies de régulation basées sur la contre-pression ("back-pressure" ou ses différentes variantes "Max-pressure", "Max-weight", *etc.*) ont montré leur efficacité dans la gestion du trafic routier [8, 9, 7]. La théorie du network calculus permet d'évaluer ce type de stratégies en terme de fiabilité du service (bornes maximales sur le temps de traversée d'une intersection, les longueurs de queues aux entrées d'une intersection, la durée de service, *etc.*)

Références

- [1] A. Bouillard, L. Jouhet, and E. Thierry. Tight performance bounds in the worst-case analysis of feed-forward networks. In *29th Conference on Computer Communications, INFOCOM*. IEEE Press, New York, 2010.
- [2] A. Bouillard and G. Stea. Exact worst-case delay for FIFO-multiplexing tandems. In *6th International ICST Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools, ValueTools*. ICST, Gent, 2012.
- [3] Anne Bouillard and Thomas Nowak. Fast symbolic computation of the worst-case delay in tandem networks and applications. *Performance Evaluation*, 91 :270 – 285, 2015. Special Issue : Performance 2015.
- [4] N. Farhi, H. Haj-Salem, and J-P. Lebacque. Algebraic approach for performance bound calculus on transportation networks (road network calculus). Technical report, Transportation Research Record, 2014.
- [5] N. Farhi, H. Haj-Salem, and J-P. Lebacque. Upper bounds for the travel time on traffic systems. In *Transportation Research Procedia*, number 3, pages 349–358, 2014.

- [6] J.-Y. Le Boudec and P. Thiran. *Network Calculus : A Theory of Deterministic Queuing Systems for the Internet*. Springer, Heidelberg, 2001.
- [7] L Tassiulas. A ephremides stability properties of constrained queueing systems and scheduling policies for maximum throughput in multihop radio networks. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 37(12) :1936–1948, 1992.
- [8] J. van Kampen. *Route guidance and signal control based on the back-pressure algorithm*. PhD thesis, TU Delft, 2015.
- [9] P. Varaiya. The max pressure controller for arbitrary networks of signalized intersections. *Advances in Dynamic Network Modeling in Complex Transportation Systems*, (27-70), 2013.