

ACADÉMIE DE LYON
UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1



Habilitation à Diriger des Recherches

préparée au Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme
ENS de Lyon, UCBL, CNRS et Inria

Spécialité : Informatique

Contributions to the Performance Modeling of Computer Networks

par

Thomas Begin

Manuscript rapporté par :

André-Luc Beylot, Professeur, Université Toulouse Rapporteur
Andrzej Duda, Professeur, Université Grenoble Alpes Rapporteur
Nihal Pekergin, Professeur, Université Paris-Est Rapporteur

Soutenue le 10 décembre 2018 à Lyon, devant le jury composé de :

André-Luc Beylot, Professeur, Université Toulouse Rapporteur
Andrzej Duda, Professeur, Université Grenoble Alpes Rapporteur
Nihal Pekergin, Professeur, Université Paris-Est Rapporteur
Mohand-Saïd Hacid, Professeur, Université de Lyon Examineur
Catherine Rosenberg, Professeur, University of Waterloo ... Examinatrice
Fabrice Valois, Professeur, Université de Lyon Examineur

Résumé: Les réseaux informatiques sont devenus une partie intégrante de nos sociétés modernes. Au cours des deux dernières décennies, le nombre d'internautes est passé de 147 millions à plus de 4 milliards et de nouvelles applications sont apparues (p. ex. messagerie instantanée, voix sur IP, réseau social, vidéo à la demande). Pour faire face à ces nouvelles demandes, les réseaux ont fortement évolué, en augmentant leurs performances et leurs services et en offrant un accès sans fil à leurs utilisateurs. Le développement rapide du standard IEEE 802.11 (commercialisé sous le nom de WiFi) depuis ses débuts en 1997 en est un bon exemple. Plus récemment, le déploiement du NFV (Network Function Virtualization) devrait permettre une gestion plus flexible et efficace des réseaux en remplaçant le matériel spécialisé et propriétaire par du logiciel exécuté sur du matériel banalisé. Le renouvellement constant des technologies réseaux et le besoin croissant de qualité de service rendent crucial la modélisation des performances des réseaux.

Cette thèse d'habilitation décrit une sélection des mes contributions scientifiques dans le domaine des réseaux informatiques et de l'évaluation de performances. Le Chapitre 1 comprend une description des mes activités de recherche et une discussion sur quelques défis majeurs à venir.

Le Chapitre 2 est consacré à mes contributions dans le contexte du NFV. Il présente un modèle analytique de type file d'attente pour évaluer les performances d'une fonction réseau (implémentée comme un logiciel) qui commute des paquets, c'est-à-dire un commutateur virtuel (vSwitch). Le modèle calcule des mesures de performances comme l'occupation des tampons, le taux de perte et le temps de séjour des paquets dans le vSwitch. La solution proposée est conceptuellement simple, peu coûteuse en calcul et généralement précise. Un exemple basé sur un cas d'étude réel illustre comment le modèle peut aider à bien régler les paramètres d'un vSwitch.

Le Chapitre 3 traite du problème de modélisation des réseaux sans fil basé sur IEEE-802.11 (WLANs). Il décrit une méthode de modélisation qui estime le débit atteint par chaque Point d'Accès (AP) en fonction du graphe de conflit du WLAN, de la charge des AP, de la taille des trames et des taux de transmissions. L'approche proposée repose sur une stratégie type Diviser pour régner qui sépare le problème initial en plusieurs sous-problèmes dont les solutions sont combinées pour obtenir celle du problème initial. Le modèle est en général précis et son utilisation peut aider à allouer efficacement les canaux de fréquence aux APs lors de la configuration d'un WLAN.

Le Chapitre 4 étudie les files $Ph/Ph/c$ et $Ph/Ph/c/N$ qui sont des modèles communs pour les systèmes multi-serveurs. Il présente une approximation simple pour calculer les probabilités stationnaires de ces files grâce à une description d'état réduite qui permet d'éviter la croissance combinatoire des états inhérente à la description d'état classique. Le nombre d'équations à résoudre dans cette approche croît linéairement avec le nombre de serveurs et le nombre de phases dans la distribution du temps de service. La précision de l'approximation est en général très bonne et tend à s'améliorer pour un nombre important de serveurs.

Cette thèse se termine avec le Chapitre 5 qui présente des méthodes de travail et des bonnes pratiques fondées sur ma propre expérience ainsi que quelques perspectives de recherche pour le futur.

Abstract: Computer networks have become part of our daily life and, to some extent, a key element of our modern society. Over the last two decades the number of Internet users have surged from 147 million to over 4 billion and many applications have emerged (e.g., instant messaging, voice over IP, social networking, video on demand). To meet these new demands, computer networks have undergone tremendous changes, augmenting their performance, their services and providing access through wireless communications. A case in point is the fast development of the IEEE 802.11 standard (commercially known as WiFi) that experienced many changes since its release in 1997. More recently, NFV (Network Function Virtualization) emerged as a promising paradigm to bring flexibility and efficiency to the networks by replacing specialized and proprietary hardware with software ran over commodity hardware. Because of the constant renewal of networking technologies and increasing needs for Quality of Service (QoS), the performance modeling of computer networks remains a challenging and crucial issue.

This habilitation thesis describes a selection of my scientific contributions in the scope of computer networks and performance evaluation. Chapter 1 comprises a description of my research activities and a discussion on some potential forthcoming challenges.

Chapter 2 is devoted to my contributions in the context of NFV. More precisely, it presents an analytical queueing model to evaluate the performance of a network function (implemented as a software) commuting packets, aka a virtual switch (vSwitch). The model delivers performance metrics such as the buffer occupancy, the loss rate and the sojourn time of packets in the vSwitch. The proposed solution is conceptually simple, computationally efficient and generally accurate. An example based on a real-life case study illustrates how the model can help in determining an adequate setting of the vSwitch parameters.

Chapter 3 deals with the issue of modeling IEEE-802.11 based Wireless Local Area Networks (WLANs). It describes a performance modeling method that estimates the attained throughput of each Access Point (AP), as a function of the WLAN's conflict graph, the AP loads, the frame sizes, and the link transmission rates. The modeling approach employs a Divide-and-Conquer strategy that breaks down the original problem into multiple sub-problems, whose solutions are then combined to provide the solution to the original problem. The model accuracy is generally good and its application may help to assign AP channels when configuring a WLAN.

Chapter 4 considers $Ph/Ph/c$ and $Ph/Ph/c/N$ queues that can be viewed as a common model of multi-server facilities. It introduces a simple approximate solution for the equilibrium probabilities in such queues based on a reduced state description in order to circumvent the well-known combinatorial growth of the number of states inherent in the classical state description. The number of equations to solve in our approach increases linearly with the number of servers and phases in the service time distribution. The overall accuracy of the proposed approximation appears very good, and tends to become excellent as the number of servers increases.

This thesis ends with Chapter 5 that provides work methods and good practices derived from my experience, as well as a number of prospects for the future.