

Problème de routage et de placement des fonctions virtualisées : Algorithme de Branch-and-Price

Ahlam MOUACI^{1,3}, Éric GOURDIN¹, Ivana LJUBIC², Nancy PERROT¹

¹ Orange Labs, 44 Avenue de la République, 92320 Châtillon, France

{ahlam.mouaci, eric.gourdin, nancy.perrot}@orange.com

² ESSEC Business School, 3 Avenue Bernard Hirsch, 95021 Cergy-Pontoise, France

ivana.ljubic@essec.edu

³ Université Paris Dauphine, LAMSADE, Paris, France

Mots-clés : *Recherche opérationnelle, Optimisation combinatoire, Formulation étendue, Optimisation dans les réseaux, Génération de colonnes, Branch-and-Price, Heuristique, Virtual Network Functions (VNF), Software Defined Networking (SDN).*

1 Introduction

Le déploiement et la configuration des *fonctions de service (SF)*, comme par exemple les pare-feux, les proxys, etc..., nécessitaient une intervention manuelle avec les anciens équipements, et cela dans le but d'établir une connexion entre les SF et le réseau de télécommunications. Ces interventions prennent beaucoup de temps et sont très coûteuses.

L'introduction de la notion de la virtualisation des fonctions de service (NFV) dans les réseaux de télécommunications permet de remplacer les équipements physiques par des applications réseaux. Cette virtualisation permet d'installer les SF n'importe où dans le réseau, de minimiser les coûts d'installation et d'entretien et surtout permet un gain énergétique [2].

Les réseaux logiciels (SDN) font partie des progrès récents dans le domaine des réseaux, ils consistent à introduire un contrôleur centralisé afin d'avoir une vue globale sur l'ensemble du réseau. Les réseaux SDN consistent à séparer le plan de contrôle du plan de données afin de permettre au contrôleur central de prendre une décision concernant l'acheminement des données. Les deux technologies associées ensemble établissent une installation dynamique des fonctions de service dans et un acheminement optimal des paquets, tout en minimisant les coûts.

Les réseaux SDN/VNF peuvent simplifier le déploiement des chaînes de fonctions de service (SFC) où les chemins traversant les nœuds du réseau doivent respecter un ordre prédéfini entre les fonctions.

Dans ce papier nous étudions le problème de routage et de placement des fonctions de service virtualisées dans les réseaux SDN. Ce dernier représente une problématique réelle et comporte plusieurs familles de contraintes : **contraintes de chemin**, où chaque demande doit être acheminée d'un nœud source s_k vers un nœud destination d_k , des **contraintes de latence**, chaque demande doit être envoyée de s_k vers d_k sans dépasser une durée prédéfinie maximale, des **contraintes de capacité**, nous avons des capacités sur les nœuds et sur les fonctions à respecter, des **contraintes de précedence** définies par les SFC associées à chaque demande, et aussi nous avons des **contraintes d'incompatibilité**, qui obligent l'installation de deux fonctions en conflit sur deux nœuds différents du réseau.

Ce problème est difficile à résoudre même en considérant une seule demande et avec aucune fonction de service et sans les contraintes de capacités et les contraintes de latence. Nous avons démontré sa complexité en utilisant une réduction polynomiale du problème "Uncapacitated Facility Location Problem".

Dans ce papier nous proposons une formulation étendue pour modéliser le problème décrit précédemment et un algorithme de Branch-and-Price pour le résoudre. Aussi, nous proposons une heuristique efficace qui donne des solutions optimales pour certains cas.

2 Problème

Nous modélisons notre réseau de télécommunications par un graphe bi-orienté $G = (N, A)$, avec N est l'ensemble de nœuds de notre graph et A est l'ensemble des arcs, pour chaque arc (u, v) nous avons un arc (v, u) et une valeur l_{uv} représentant une durée de latence.

Les nœuds de notre graphe sont équipés d'un processeur qui permet l'installation de c_u fonctions de service maximum. Nous avons un ensemble de fonctions de service virtualisées F où chaque VNF a une capacité maximale de traitement de données m_f

Nous avons un ensemble de demande de client noté C aussi appelé *commodités*, chaque demande $k \in C$ est caractérisée par un nœud source, un nœud destination, un sous-ensemble de VNF, une durée maximale de latence, une SFC afin de définir l'ordre entre les fonctions de service et aussi un ensemble d'incompatibilité entre les fonctions.

Le problème de routage et de placement des fonctions de service virtualisées consiste à :

- Installer les fonctions de service associé à chaque commodité.
- Trouver le routage optimal des paquets en passant par les installations.

Tout en minimisant :

- Les coûts d'installation des VNF sur les nœuds.
- Les coûts d'activation des nœuds.

L'algorithme de génération de colonnes que nous proposons permet d'avoir de meilleures bornes, et cela en le comparant avec la relaxation linéaire de notre formulation compacte. L'heuristique proposée utilise l'algorithme de Yen qui consiste à trouver un nombre fixe de plus courts chemins d'une source à une destination. L'heuristique permet de donner des solutions de bonne qualité rapidement.

Afin d'établir un algorithme de Branch-and-Price efficace pour résoudre nos instances, nous avons fait des études théoriques et proposé des méthodes qui permettent l'accélération de la résolution. Parmi les méthodes proposées, nous citons : le calcul de la borne Lagrangienne durant la procédure de la génération de colonnes, la relaxation d'une famille de variables qui permettent de réduire la taille de notre arbre de branchement. Nous avons aussi proposé plusieurs schémas de branchement et deux façons différentes pour résoudre le problème du pricing.

Références

- [1] *Allybokus, Z. and Perrot, N. and Leguay, J. and Maggi, L. and Gourdin, E.*, Virtual Function Placement for Service Chaining with Partial Orders and Anti-Affinity Rules, Networks, 2017
- [2] *Addis, Bernardetta and Belabed, Dallah and Bouet, Mathieu and Secci, Stefano.* Virtual network functions placement and routing optimization. 171–177 Cloud Networking (Cloud-Net) 2015.
- [3] Cohen, Rami and Lewin-Eytan, Liane and Naor, Joseph Seffi and Raz, Danny Near optimal placement of virtual network functions. *Computer Communications (INFOCOM)*, 2015 IEEE Conference on, 1346–1354, 2015, IEEE.