

Placement de fonctions réseaux pour les réseaux d'accès radio virtualisés

Amath Ndao¹, Xavier Lagrange¹, Nicolas Huin¹, Géraldine Texier¹, Loutfi Nuaymi¹
IMT Atlantique/IRISA/Adopnet, France; `firstname.lastname@imt-atlantique.fr`

Mots-clés : *5G, virtualisation, PLNE, ORAN*

1 Introduction

Les réseaux 5G+ sont portés, entre autres, par les réseaux d'accès radio virtualisés (Virtualized Radio Access Network) et ouvert (Open Radio Access Network). Le traitement du trafic mobile n'est plus assuré par des "middleboxes", peu évolutives et peu flexibles, mais par des fonctions virtuelles qui peuvent être exécutées sur des serveurs classiques. Cette virtualisation des fonctions réseaux permet une plus grande flexibilité dans le déploiement des fonctions nécessaires au traitement du trafic. Les fonctions réseaux ne doivent plus être obligatoirement placées à la station de base comme dans une architecture distribuée (Distributed Radio Access Network), ou entièrement dans le cloud comme dans une architecture centralisée (Centralized Radio Access Network). Cet entre-deux permet de tirer parti au mieux des ressources de calcul éparpillées dans le réseau d'accès tout en évitant le déploiement de centres de données à chaque station de base. Cependant, cette flexibilité impose des contraintes de délai fortes entre les fonctions ainsi qu'une utilisation plus importante de la bande passante.

La séparation fonctionnelle du traitement du trafic mobile divise la pile protocolaire en trois groupes distincts : l'unité radio (O-RU), la partie distribuée (O-DU), et la partie centralisée (O-CU) [2, 3]. Bien que l'emplacement de l'O-RU, en charge de convertir le signal radio, ne laisse peu de marge de manœuvre, les O-DU et les O-CU peuvent être placés plus librement dans le réseau (sous conditions de ressources de calcul disponible).

Le problème de placement des fonctions réseaux dans les réseaux d'accès radio a déjà été étudié [4, 6, 5], mais les modèles mathématiques proposés ne sont pas linéaires ou comportent des "big M". Nous proposons une première formulation qui nous permet de résoudre le problème de séparation fonctionnelle dans le cas d'un seul O-CU.

2 Problème et modèle

Nous représentons le réseau par un graphe dirigé $G = (V, A)$. Les arcs $a \in A$ représentent les liens du réseau et sont caractérisés par leur délai δ_a et leur bande passante B_a ; Les noeuds $v \in V$ les routeurs du réseau et sont caractérisés par leur puissance de calcul notée C_v . Le déploiement d'un O-DU sur un noeud induit un coût α_v , fixe, ainsi qu'un coût β_v , proportionnel au trafic traité. Le sous ensemble de noeuds $V_R \subseteq V$ accueille des stations de base auxquels sont attachées les O-RU. Un seul O-CU est présent dans le réseau et se trouve sur le noeud v_0 .

Chaque station de base n doit servir un débit descendant λ_n . Mais le réseau d'accès nécessite plus de bande passante, dû aux interfaces entre O-CU, O-DU et O-RU. Grâce à une étude réaliste des piles protocolaires en jeu, nous pouvons déduire que l'interface entre l'O-DU et l'O-CU multiplie la bande passante nécessaire par $K_M = 1.026$, et l'interface entre l'O-DU et l'O-RU multiplie la bande passante nécessaire par $K_F = 8.732$. De plus, ces interfaces nécessitent des délais de bout-en-bout bornés strictes : les communications entre l'O-DU et le O-CU ne peuvent dépasser 30 ms et les communications entre l'O-DU et l'O-RU ne peuvent dépasser 0.25ms.

Le problème que nous étudions consiste à placer des O-DUs sur le réseau et de définir le routage du O-CU aux O-RUs tout en passant par un O-DU. Chaque O-RU doit être servi par un unique O-DU, mais un O-DU peut servir plusieurs O-RU (sous réserve de la capacité du noeud où il se trouve). Le routage doit respecter les contraintes de capacité des liens, ainsi que

les contraintes de délai induites par les interfaces O-CU/O-DU et O-DU/O-RU. L'objectif est de minimiser les coûts liés au calcul.

Nous avons choisi de modéliser le problème grâce au PLNE suivant :

$$\min_{x,y,z} \alpha_v z_v + \beta_v \sum_{n \in V_R} \lambda_n y_{nv} \quad (1a)$$

$$s.t. \quad \sum_{n \in V_R} \lambda_n y_{nv} \leq C_v \quad \forall v \in V \quad (1b)$$

$$\sum_{n \in V_R} K^M \lambda_n x_{an}^M + K^F \lambda_n x_{an}^F \leq B_a \quad \forall a \in A \quad (1c)$$

$$\sum_{a \in \omega^+(v)} x_{an}^M - \sum_{a \in \omega^-(v)} x_{an}^M = \begin{cases} 1 - y_{nv} & \text{if } v = v_0 \\ -y_{nv} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall n \in V_R, \forall v \in V \quad (1d)$$

$$\sum_{a \in \omega^+(v)} x_{an}^F - \sum_{a \in \omega^-(v)} x_{an}^F = \begin{cases} y_{nv} - 1 & \text{if } v = n \\ y_{nv} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall n \in V_R, \forall v \in V \quad (1e)$$

$$\sum_{a \in A} \delta_a x_{an}^M \leq 30 \quad \forall n \in V_R \quad (1f)$$

$$\sum_{a \in A} \delta_a x_{an}^F \leq 0.25 \quad \forall n \in V_R \quad (1g)$$

$$\sum_{v \in V} y_{nv} \leq 1 \quad \forall n \in V_R \quad (1h)$$

$$y_{nv} \leq z_v \quad \forall n \in V_R, \forall v \in V \quad (1i)$$

Nous avons quatre ensembles de variables binaires : x_{an}^M et x_{an}^F représentent le chemin pour les parties O-CU/O-DU et O-DU/O-RU du trafic de l'O-RU n , respectivement ; l'ensemble y_{nv} indique sur quel nœud l'O-DU servant l'O-RU n est placé ; l'ensemble z_v permet de savoir si un O-DU est placé sur le nœud v . Les deux ensembles y et z sont reliés par les contraintes (1i). Les contraintes (1b) et (1c) gèrent les capacités des nœuds et des liens, respectivement. Les contraintes (1e) et (1d) expriment les contraintes de conservation des interfaces, alors que les contraintes (1g) et (1f) expriment leurs contraintes de délai. Finalement, un O-RU ne peut être servi que par un seul O-DU grâce aux contraintes (1h).

3 Conclusion

Ce modèle nous permet, grâce à une étude précise des interfaces O-CU/O-DU et O-DU/O-RU, de résoudre le problème de placement de fonctions réseaux dans les réseaux d'accès radio. Nous pouvons montrer, sur un réseau réaliste [1], que la séparation fonctionnelle réduit les coûts par rapport à une architecture distribuée (DRAN), et surtout, qu'elle permet de trouver des solutions là où une architecture centralisée (CRAN) ne pourrait pas être déployée à cause de délais de bout-en-bout trop contraints.

Références

- [1] « 5G-crosshaul, D1.2 : final 5G-crosshaul system design and economic analysis ». In : (2017).
- [2] O-RAN ALLIANCE. *O-RAN Alliance Working Group 5. O1 Interface specification for O-CU-UP and O-CU-CP*. 2021.
- [3] O-RAN ALLIANCE. *O-RAN Fronthaul Working Group Control, User and Synchronization Plane Specification*. 2021.
- [4] Andres GARCIA-SAAVEDRA et al. « Fluidran : Optimized vran/mec orchestration ». In : *IEEE INFOCOM 2018-IEEE Conference on Computer Communications*. IEEE. 2018, p. 2366-2374.
- [5] Fahri Wisnu MURTI et al. « On the optimization of multi-cloud virtualized radio access networks ». In : *ICC 2020-2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE. 2020, p. 1-7.
- [6] Behnam OJAGHI et al. « Sliced-RAN : Joint slicing and functional split in future 5G radio access networks ». In : *ICC 2019-2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE. 2019, p. 1-6.