

Routage éco-énergétique dans les réseaux IP

Youcef Magnouche, Jérémie Leguay, Feng Zeng

Huawei Technologies Ltd., France Research Center
{prénom.nom}@huawei.com

Mots-clés : *recherche opérationnelle, optimisation, routage fiable, programmation linéaire en nombres entiers, décomposition de benders, génération de colonnes.*

1 Introduction

Le réchauffement climatique est devenu une préoccupation majeure, et il est urgent d'intégrer largement des mécanismes d'économie d'énergie partout où cela est possible. En effet, le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC) représente entre 5% et 9% de la consommation totale d'électricité [1], et il génère entre 1.2 et 2.2 gigatonnes de CO₂-eq par an. Une grande variété de solutions ont été proposées pour améliorer la consommation d'énergie dans les réseaux. Leur objectif est d'atteindre une consommation qui est *proportionnelle* à l'utilisation des appareils. L'une des principales difficultés avec la gestion de l'énergie est qu'elle peut avoir un impact sur la fiabilité et les performances. Les solutions de routage et d'ingénierie de trafic prenant en compte la consommation d'énergie sont apparues comme des solutions naturelles qui consiste à diriger le trafic de manière à maximiser les gains énergétiques.

2 Contexte

Dans cette étude [4], nous nous intéressons au routage éco-énergétique exploitant les mécanismes de gestion internes des équipements réseau afin d'augmenter encore les économies d'énergie. Il prend en compte, en particulier, la disposition interne des équipements (carte mères, processeurs réseau et ports) et les mécanismes de gestion de l'énergie associés.

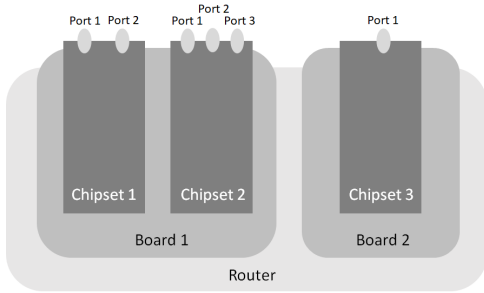


FIG. 1 – L'architecture d'un routeur (carte mère, processeurs réseau et ports).

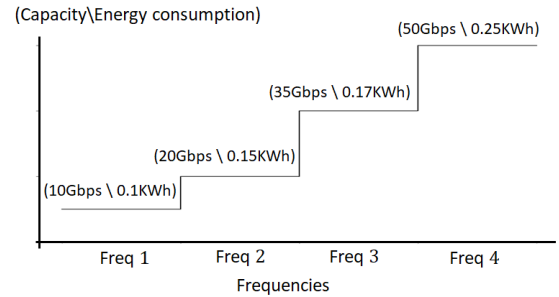


FIG. 2 – Capacité et consommation d'énergie pour un port à différentes fréquences.

Considérons un réseau composé d'un ensemble de noeuds (routeurs ou commutateurs). Chaque noeud $n \in N$ est équipé d'un ensemble de cartes mères. Chaque carte mère $b \in B_n$ contient un ensemble de processeurs réseau C_n^b . Enfin, chaque processeur réseau $c \in C_n^b$ contrôle un ensemble de ports P_n^{bc} . Soit D l'ensemble de tous les composants (cartes mères, processeurs réseau, ports). Par exemple, la Fig. 1 illustre la disposition interne et hiérarchique d'un routeur. Pour chaque composant $d \in D$, soit F_d l'ensemble de fréquences associées. À une fréquence $f \in F_d$, le composant $d \in D$ consomme une quantité d'énergie $e_d^f \in \mathbb{R}^+$, et garantit une capacité traitement de $C_d^f \in \mathbb{R}^+$. La Fig. 2 illustre, pour un port multi-fréquences, comment la capacité et la consommation d'énergie évoluent pour différentes fréquences.

3 Optimisation

Soit $G = (V, E)$ un graphe où V représente l'ensemble des nœuds du réseau et E un ensemble de liens logiques. Un lien logique agrège un ensemble de liens physiques. Soit K un ensemble de commodités tel que chaque $k \in K$ est défini par un nœud source $s_k \in V$, une destination $t_k \in V$ et une demande de trafic $b(k) \in \mathbb{R}^+$. Pour chaque commodité $k \in K$, soit P^k un ensemble de chemins entre s_k et t_k . Chaque chemin $p \in P^k$ est composé d'une séquence de liens logiques. Le modèle calcule le trafic sur chaque chemin de chaque commodité. Aussi, il sélectionne la fréquence de chaque composant de D . Considérons les variables suivantes. Soit $x_p^k \in [0, 1]$ le ratio de trafic de la commodité $k \in K$ qui passe sur le chemin $p \in P^k$. Soit $t_d^f \in \{0, 1\}$ une variable binaire qui vaut 1 si le composant $d \in D$ est utilisé à une fréquence $f \in F_d$, 0 sinon. L'objectif est de minimiser la consommation d'énergie totale dans le réseau. Le problème d'optimisation est équivalent au programme linéaire en nombres entiers suivant :

$$\min \sum_{d \in D} \sum_{f \in F_d} e_d^f t_d^f \quad (1)$$

$$\sum_{p \in P^k} x_p^k = 1 \quad \forall k \in K, \quad (2)$$

$$\sum_{f \in F_d} t_d^f = 1 \quad \forall d \in D, \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} b(k) \sum_{p \in P^k | L \in p} x_p^k \leq \sum_{(u,v) \in L} \sum_{f \in F_d} C_{(u,v)}^f t_u^f \quad \forall L \in E, \quad (4)$$

$$\sum_{c \in C_n^b} \sum_{f \in F_c} C_c^f t_c^f \leq \sum_{f \in F_b} C_b^f t_b^f \quad \forall n \in N, b \in B_n, \quad (5)$$

$$\sum_{p \in P_n^{bc}} \sum_{f \in F_p} C_p^f t_p^f \leq \sum_{f \in F_c} C_c^f t_c^f \quad \forall n \in N, b \in B_n, c \in C_n^b, \quad (6)$$

$$t_u^f = t_v^f \quad \forall L \in E, (u, v) \in L, f \in F_u. \quad (7)$$

Pour optimiser efficacement le routage à grande échelle, nous proposons un algorithme hybride basé sur la décomposition de Benders [2] et la génération de colonnes [3]. Comme cas d'utilisation pour l'évaluation, nous considérons un réseau backbone de haute capacité réel, d'un fournisseur de services régional en Chine.

4 Résultats

Nous montrons que l'optimisation globale des politiques de routage peut augmenter les économies d'énergie de 6% même sous contraintes de fiabilité du réseau (aucun lien éteint) [4].

Références

- [1] Between 10-20% of electricity consumption from ICT sector in 2030? Enerdata report, 2018.
- [2] Jacques F Benders. Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems. *Numerische mathematik*, 4(1) :238–252, 1962.
- [3] Marco E Lübbecke. Column generation. *Wiley encyclopedia of operations research and management science*. Wiley, New York, pages 1–14, 2010.
- [4] Youcef Magnouche, Jérémie Leguay, and Feng Zeng. Safe routing in energy-aware ip networks. In *2023 19th International Conference on the Design of Reliable Communication Networks (DRCN)*, pages 1–8. IEEE, 2023.