Le problème de sécurisation multicouche du réseau optique

V. Gabrel[1], A.R. Mahjoub[1], R. Taktak[1]

LAMSADE ; Université Paris Dauphine ; Place du M^{al} de Lattre de Tassigny, 75775 Paris Cedex 16, France
{gabrel,mahjoub,taktak}@lamsade.dauphine.fr

1 Introduction

Avec l'augmentation significative du volume des informations, la multiplication des services et la diversification des données, les réseaux de télécommunication évoluent vers une structure multicouche qui s'avère la plus adaptée à tous ces changements.
L'architecture IP-sur-optique présente en particulier une infrastructure très convenable qui pourrait s'adapter aux évolutions permanentes dans les réseaux futurs. Il s'agit d'un modèle qui consiste en une superposition de deux couches. La couche haute, dite aussi cliente, est constituée de routeurs IP liés entre eux par des liaisons virtuelles. Ces liaisons sont en réalité assurées par l'intermdiaire des liens physiques de la couche basse (couche transport).
Plusieurs travaux dans la littérature se sont intéressés à l'optimisation dans ces réseaux. Nous notons, en particulier, un intérêt aux problèmes de fiabilité avec différentes variantes de sécurisation [2] : sécurisation locale [3], sécurisation de bout en bout, sécurisation dans les deux couches, sécurisation d'une couche étant donnée l'autre [1], etc.
Nous supposons donné un ensemble de demandes à router dans un réseau multicouche qu'on cherche à sécuriser (la notion de fiabilité dans notre cas sera liée à la 2-sommet connexité). Nous supposons connu pour chaque demande deux chaînes de routage sommet-disjointes dans la couche haute. De plus, à chaque lien physique on associe un coût correspondant au coût de son installation et on suppose que les capacités optiques sont infinies.
Le problème de sécurisation multicouche du réseau optique (MSOND Problem) consiste à déterminer pour chaque demande deux chaînes sommet-disjointes dans la couche optique tel que le coût total des installations soit minimum. Ces chaînes doivent respecter l'ordre de passage par les routeurs dans les chaînes logiques. Dans ce travail, nous nous limitons à des chaînes élémentaires.

2 Modélisation et Formulation

On modélise les deux couches respectivement par deux graphes non orientés $G_1 = (V_1, E_1)$ et $G_2 = (V_2, E_2)$. A chaque routeur $v_i \in V_1$ correspond un brasseur $w_i \in V_2$. Notons K l'ensemble des demandes. Pour chaque demande $k \in K$, on associe une paire de routeurs origine-destination (O_k, D_k) et on note O'_k et D'_k les brasseurs qui leur sont associés dans la couche optique.
Soient, pour une demande $k \in K$, $L^1_k = \{v^{1,1}_k = O_k, ..., v^{1,j}_k, ..., v^{1,l_{1,k}}_k = D_k\}$ et $L^2_k = \{v^{2,1}_k = O_k, ..., v^{2,j}_k, ..., v^{2,l_{2,k}}_k = D_k\}$ deux chaînes sommet-disjointes qui la routent dans G_1. Celles-ci passent

par des routeurs terminaux $v_k^{i,j}$ auxquels on associe des brasseurs terminaux pour la demande $k \in K$ notés par $w_k^{i,j}(j = 1, ..., l_{1,k} + l_{2,k}, i = 1, 2)$. On suppose que le graphe G_2 est complet et on associe à chaque arête $e \in E_2$ un coût $c(e) > 0$.
Le problème MSOND consiste donc à déterminer pour tout $k \in K$, deux chaînes sommet-disjointes $L_k^{1\prime}$ et $L_k^{2\prime}$ dans G_2 qui respectent l'ordre de passage par les brasseurs terminaux et tel que le coût total des installations pour toutes les demandes soit minimum.
Dans la suite, on note par $T_k = \{T_k^q, q = 1, ..., n_k\}, n_k = l_{1,k} + l_{2,k} - 1, k \in K$, l'ensemble de tronçons définis entre les différents paires de brasseurs terminaux.
$T_k = \{(w_k^1 = O'_k, w_k^2), .., (w_k^j, w_k^{j+1}), ..., (w_k^{l_{1,k}-1}, w_k^{l_{1,k}} = D'_k), (w_k^{l_{1,k}+1} = O'_k, w_k^{l_{1,k}+2}), ..., (w_k^{n_k-1}, w_k^{n_k} = D'_k)\}$.

Nous proposons pour ce problème une formulation arc-chemins sous forme de programme linéaire en $0-1$. Soit $P_k^q, k \in K, q = 1, ..., n_k$ l'ensemble des chaînes possibles pour le routage du tronçon q de la demande k. Soit $x_p^{q,k} = 1$ si la chaîne $p \in P_k^q$ est sélectionnée pour router le tronçon q de la demande $k \in K$ et 0 sinon. Soit $y_e = 1$ si l'arête $e \in E_2$ est physiquement installée et 0 sinon.
Le problème MSOND est équivalent au programme linéaire en $0 - 1$ suivant :

$$min \sum_{e \in E_2} c(e) y_e$$

$$\sum_{p \in P_k^q} x_p^{q,k} = 1 \qquad for\, all\, k \in K, for\, all\, q \in T_k \tag{1}$$

$$\sum_{q \in T_k} \sum_{p \in P_k^q} a_p^{q,k}(w) x_p^{q,k} \leq 2 \quad for\, all\, w \in V_2, for\, all\, k \in K \tag{2}$$

$$\sum_{p \in P_k} b_p^{q,k}(e) x_p^{q,k} \leq y_e \qquad for\, all\, e \in E_2, for\, all\, k \in K, for\, all\, q \in T_k \tag{3}$$

$$0 \leq x_p^{q,k} \leq 1 \qquad for\, all\, k \in K, for\, all\, q \in T_k, for\, all\, p \in P_k^q \tag{4}$$

$$x_e^{q,k} \in \{0, 1\} \qquad for\, all\, k \in K, for\, all\, q \in T_k, for\, all\, p \in P_k^q \tag{5}$$

$$0 \leq y_e \leq 1 \qquad for\, all\, e \in E_2 \tag{6}$$

$$y_e \in \{0, 1\} \qquad for\, all\, e \in E_2 \tag{7}$$

où les coefficients $a = (a_p^{q,k}(w) \in \{0, 1, 2\}, k \in K, q \in T_k, p \in P_k^q, w \in V_2)$ représentent le degré des sommets w dans la chaîne $p \in P_k^q$ et $b = (b_p^{q,k}(e), k \in K, q \in T_k, p \in P_k^q, e \in E_2)$ est un paramètre binaire indiquant l'appartenance des arêtes e à $p \in P_k^q$.

Nous montrons que le sous problème de génération de colonnes (pricing problem) pour cette formulation se ramène à un problème de plus court chemin dans un graphe réduit pondéré que nous définirons. Parallèlement à cette formulation arc-chemins, nous présenterons une formulation arc-sommets avec des contraintes de coupes et nous donnerons quelques résultats sur la structure faciale de cette formulation. Nous donnerons aussi des résultats expérimentaux liés au deux formulations.

Références

[1] S. Borne, E. Gourdin, B. Liau and A. R. Mahjoub. Design of survivable IP-over-optical networks. *Annals of Operation Research*, 146:41–73, 2006.

[2] H. Kerivin and A. R. Mahjoub. Design of survivable networks : A Survey. *Networks*, 46(1):1–21, 2005.

[3] O. Klöpfenstein. Robust pre-provisioning of local protection resources in MPLS networks. *proceedings of DRCN 2007*, 2007.