

Conception de réseaux radio multi-sauts robustes

Benoît Darties¹, Sylvain Durand¹ et Jérôme Palaysi¹

LIRMM UMR 5506, 161 rue Ada, 34392 Montpellier Cedex 5 - France
{benoit.darties, sylvain.durand, jerome.palaysi}@lirmm.fr

Mots-clés : réseau radio, robustesse, méthodes exactes, heuristiques, multiflot contraint

1 Introduction

La couverture Internet haut-débit touche de manière inégale le territoire national et il demeure de nombreux « trous » délaissés par les opérateurs pour cause de non-rentabilité. Afin de combler ces fameuses zones blanches, les collectivités peuvent désormais devenir des opérateurs de télécommunication en nouant des partenariats avec des entreprises du secteur. Le travail présenté ici résulte d'une collaboration menée avec l'une de ces entreprises, qui nous a soumis un problème de conception de réseaux multi-contraintes. L'objectif est de satisfaire un ensemble de requêtes de bande passante émises par des clients (villages, communes rurales, ...), en acheminant un flux puisé depuis des villes sources. Il nous faut à cet effet déployer un réseau connectant chaque client à au moins une source. Ce réseau doit assurer une certaine qualité de service et garantir une robustesse face aux pannes éventuelles de ses participants. Sources et clients se situent ici dans une même zone géographique, dont les particularités topographiques rendent la mise en place d'un réseau filaire à la fois onéreuse et complexe. Dans ce contexte le média radio présente un intérêt certain, car son utilisation permet de relier efficacement les entités à un coût inférieur. L'objectif est de concevoir un réseau radio assurant une distribution de bande passante depuis des nœuds sources vers des nœuds clients géographiquement proches. Des nœuds complémentaires, dits nœuds relais, peuvent également intégrer l'infrastructure à déployer. Nous utilisons un simulateur pour définir l'ensemble des liens exploitables entre paires de nœuds et leur capacité associée. Connecter un client à une source peut se faire directement ou non, auquel cas le flux émis depuis la source doit transiter de proches en proches jusqu'à atteindre sa destination. Le nombre de sauts entre un client et les sources qui l'approvisionnent ne peut excéder une certaine valeur, pour des raisons de latence. Le nombre d'antennes déployées sur un même nœud est contraint pour des raisons de place et d'attribution de fréquences. Lorsqu'une panne intervient sur un nœud, chaque client doit pouvoir rester connecté à une source opérationnelle située à un nombre de sauts borné. L'étude de ce problème de conception a fait l'objet de travaux théoriques et pratiques lorsque seulement certaines contraintes sont envisagées [4]. Au vu de sa difficulté, un certain nombre de travaux parmi lesquels [1,2] ont formulé des heuristiques pour résoudre efficacement de grandes instances. Mais à notre connaissance, aucun travail ne considère simultanément toutes les contraintes que nous avons introduites (flot, degré, nombre de sauts et robustesse).

2 Modélisation et travaux réalisés :

La donnée se modélise par un graphe $G = (V, E)$ où V est l'ensemble des nœuds du réseau, et E l'ensemble des liens radio exploitables. La fonction $capa : E \mapsto R^+$ associe à chaque lien une capacité. Les ensembles $S \subseteq V$ et $T \subseteq V$ désignent respectivement les sources et les clients. La fonction $dem : T \mapsto R^+$ indique la demande de chaque client. La donnée est complétée par un triplet (deg, hop, r) dans lequel deg désigne le nombre maximum d'antennes par nœud, hop le nombre maximum de sauts autorisés entre un client et la source qui l'approvisionne, et r le nombre maximum de pannes simultanées que chaque nœud client doit supporter. Le problème peut se décrire par le programme linéaire en nombres entiers (P) suivants : appelons D l'ensemble des chaînes c de G de longueur inférieure ou égale à hop dont les extrémités $ext(c) = \{s_c, t_c\}$ sont une source $s_c \in S$ et un client $t_c \in T \setminus S$. La fonction $w(c) = \min\{capa(e) | e \in E(c)\}$ désigne la quantité maximale de flot pouvant transiter par la chaîne c . Nous appelons V^k l'ensemble des parties à k éléments de V .

$$(P) \left\{ \begin{array}{ll} \min z = \sum_{e \in E(G)} x_e & \\ f_c \leq w(c) \times y_c, & \forall c \in D, \quad (1) \\ y_c \leq x_e, & \forall c \in D, e \in E(c) \quad (2) \\ \sum_{c \in D | e \in E(c)} f_c \leq x_e \times \text{capa}(e), & \forall e \in E(G) \quad (3) \\ \sum_{e \in E | x \in e} x_e \leq \text{deg}, & \forall x \in V(G) \quad (4) \\ \sum_{c \in D | t \in \text{ext}(c)} f_c \geq \text{dem}(t), & \forall t \in T \setminus S \quad (5) \\ \sum_{c \in D | t \in \text{ext}(c), \sigma \cap V(c) = \emptyset} y_c \geq 1 & \forall t \in T \setminus S, \forall \sigma \in V^r | t \notin \sigma \quad (6) \\ \sum_{c \in C | t \in \text{ext}(c), \sigma \cap V(c) = \emptyset} y_c \geq 1 & \forall t \in T \cap S, \forall \sigma \in V^{r-1} | t \notin \sigma \quad (7) \end{array} \right.$$

$x_e \in \{0, 1\}$ = { 1 si l'arête e appartient à la solution, 0 sinon
où : $y_c \in [0, 1]$ = { > 0 si et seulement si la chaîne x_e est utilisée dans la solution
 $f_c \in [0, w(f)]$ = quantité de flot qui transite par la chaîne c

Les contraintes (1) à (3) assurent la cohérence entre les variables x_e , y_c et f_c tout en imposant les limitations de capacités sur les arêtes. Une chaîne ne peut être utilisée que si les arêtes qui la composent sont utilisées. Les contraintes (4) et (5) décrivent respectivement les limitations de degré, et de satisfaction des demandes de flot. Les contraintes de robustesses sont assurées par (6) et (7). Nous avons comparé deux méthodes de résolution exactes : la première utilise la Programmation Linéaire en Nombres Entiers (PLNE) et implémente la formulation (P), la seconde est une technique de séparation et évaluation dédiée (S&E-dédiée), plus robuste face à la variation de certaines contraintes de déploiement. Aussi nous enfin proposé une heuristique sous forme d'un algorithme génétique (A.G.), souvent utilisés dans la conception de réseaux [3].

3 Conclusion

Nous avons proposé deux stratégies optimales et une heuristique pour un problème de conception de réseaux radio multi-contraints. L'implémentation de ces stratégies permet de résoudre efficacement le problème pour des instances de taille raisonnable, répondant ainsi à la problématique posée par l'entreprise qui nous a proposé le problème. Les deux stratégies optimales sont complémentaires lorsque la demande des clients varie : lorsque la demande est faible les performances de la SE-dédiée sont meilleures que celles du PLNE. Si la demande est élevée, le PLNE génère des coupes plus pertinentes et offre de meilleurs résultats. L'influence des autres paramètres a été étudiée et permet de mieux comprendre le comportement de nos stratégies, afin de prédire laquelle se révèle la plus pertinente pour résoudre une instance donnée. Ces stratégies déterminent rapidement une solution optimale, mais peinent à prouver cette optimalité. Déterminer des bornes non triviales e constitue une perspective prometteuse afin d'améliorer les performances de ces stratégies.

Références

1. H. Chou, G. Premkumar ., and C.-H. Chu. Genetic algorithms for communications network design - an empirical study of the factors that influence performance. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 5 :236-249, 2001.
2. G. Even, G. Kortsarz, and W. Slany. On network design problems : fixed cost flows and the covering steiner problem. *ACM Trans. Algorithms*, 1(1) :74-101, 2005.
3. M. Gen, R. Cheng, and S. S. Oren. Network design techniques using adapted genetic algorithms. *Adv. Eng. Softw.*, 32(9) :731-744, 2001.
4. M. Gr, o Monma, and M. Stoer. Design of survivable networks, 1995.