

Couverture connexe minimum dans les réseaux de capteurs

Estel Marie¹, Sourour Elloumi¹, Olivier Hudry², Agnès Plateau¹, Stéphane Rovedakis¹

¹ Conservatoire national des arts & métiers, CEDRIC, EA4629 75003 Paris, France
{estelle.marie,sourour.elloumi,aplateau,stephane.rovedakis}@cnam.fr

² Télécom ParisTech, LTCI, UMR 5141 CNRS, 75013 Paris, France
{olivier.hudry}@telecom-paristech.fr

Mots-clés : *Réseaux de capteurs sans fil, Programmation linéaire en variables mixtes, Problème de couverture et connexité, Modélisation*

1 Motivation et contexte

Les réseaux de capteurs sont des réseaux sans fil constitués de dispositifs autonomes à faible coût. Le principe des réseaux de capteurs est de collecter les informations mesurées par chacun des capteurs jusqu'à un nœud puits. Le puits se chargera de transmettre les informations vers un serveur capable de traiter les données collectées. Ces réseaux sont déployés dans une multitude d'applications allant du relevé de secousses sismiques à la détection d'incendies. La mise en place de tels réseaux est souvent très contrainte, que ce soit en termes de contingences physiques, de consommation énergétique ou de coût de déploiement. À ce titre, de nombreux problèmes d'optimisation sont associés au déploiement de ces réseaux [4].

Nous nous intéressons ici au problème de la couverture connexe minimum dont nous étudierons différentes modélisations. Dans ce problème, il convient d'une part de s'assurer que l'ensemble de la zone est bien surveillée par les capteurs et, d'autre part, de s'assurer que chacun des capteurs déployés est bien à même de transmettre l'information qu'il récolte jusqu'au puits. L'objectif de ce problème est de minimiser le nombre de capteurs placés. Dans ce contexte, un capteur est doté d'un rayon de captation R_{capt} pour le relevé des données et d'un rayon de communication R_{com} pour la transmission de celles-ci, en supposant $R_{com} \geq R_{capt}$. La captation dans le réseau est assurée si chaque cible se trouve dans le rayon de captation d'au moins un capteur. Par ailleurs, la communication dans le réseau est assurée si chaque capteur communique avec le puits. Un capteur communique avec le puits si le puits est dans son rayon de communication ou s'il existe dans son rayon de communication un autre capteur communiquant avec le puits. L'ensemble des capteurs est homogène, c'est-à-dire qu'ils possèdent tous les mêmes valeurs pour les rayons R_{capt} et R_{com} . Nous considérons également que les réseaux de capteurs sont déployés dans un plan. Enfin, les réseaux de capteurs pouvant être déployés pour la surveillance de cibles particulières plutôt que d'un terrain entier, nous considérons ici le cas d'un terrain discrétisé en un ensemble de cibles devant être surveillées par les capteurs.

2 Descriptif du problème

On définit un réseau de capteurs \mathcal{R} comme la donnée de deux graphes orientés $\mathcal{R} = (\mathcal{G}_{capt}, \mathcal{G}_{com})$ tel que $\mathcal{G}_{capt} = (\mathcal{X}, \mathcal{A}_{capt})$ est un graphe de captation et $\mathcal{G}_{com} = (\mathcal{X}, \mathcal{A}_{com}, t)$, un graphe de communication : \mathcal{X} est l'ensemble des sommets (cibles) ; \mathcal{A}_{capt} est l'ensemble des arcs reliant deux sommets de \mathcal{X} si la distance séparant le sommet d'origine du sommet destination est inférieure ou égale à R_{capt} ; \mathcal{A}_{com} est l'ensemble des arcs entre deux sommets de \mathcal{X} si la distance séparant le sommet d'origine du sommet destination est inférieure ou égale à R_{com} ; t est un sommet particulier de \mathcal{X} qui représente le puits du réseau. Dans le problème

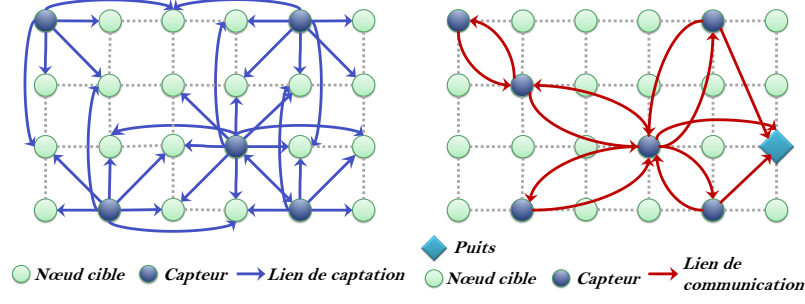


FIG. 1 – Couverture de cibles lorsque $R_{capt} = 2$ et communication entre capteurs lorsque $R_{com} = 3$ dans le cas où le plan est discrétisé sous forme de grille.

d'optimisation de couverture connexe, on cherche à trouver un ensemble $\mathcal{S} \subset \mathcal{X}$ tel que \mathcal{S} soit un ensemble dominant dans \mathcal{G}_{capt} et tel qu'il existe un chemin de chaque sommet de \mathcal{S} vers t dans \mathcal{G}_{com} . La couverture connexe minimum consiste donc à minimiser la taille de \mathcal{S} . Sur la Figure 1, nous montrons un exemple de placement des capteurs avec à gauche un ensemble dominant dans \mathcal{G}_{capt} avec $R_{capt} = 2$ et à droite les chemins retenus de chaque sommet de \mathcal{S} vers le puits dans \mathcal{G}_{com} avec $R_{com} = 3$.

La résolution du problème est en fait dépendante du rapport $\alpha = R_{com}/R_{capt}$ entre le rayon de captation R_{capt} et le rayon de communication R_{com} . Plus α est petit plus le problème semble difficile comme expliqué dans [3]. Ainsi, lorsque le rapport α est supérieur à une certaine valeur, il suffit que la couverture des cibles par les capteurs soit assurée pour que la connexité des capteurs le soit. Le problème équivaut dans ce cas au problème de l'ensemble dominant minimum [1]. Lorsqu'on se place dans le cadre d'une grille à motif carré, il est proposé dans [2] une formule analytique donnant le nombre minimum de sommets constituant ce dominant lorsque $R_{capt} = 1$. À l'inverse, lorsque $\alpha = 1$, alors $\mathcal{A}_{capt} = \mathcal{A}_{com}$ et le problème devient équivalent à celui de l'ensemble dominant connexe minimum.

Dans ce contexte, nous proposons un programme linéaire en variables mixtes qui se compare entre autres avec une modélisation récente de la littérature [3]. Le modèle issu de la littérature considère la notion de chemins directs ou indirects jusqu'au puits, tandis que notre modèle considère une quantité de flot émise par chaque capteur placé qu'il convient d'acheminer jusqu'au puits. Notre modèle est amélioré grâce à des coupes visant à casser la symétrie du placement ou à prendre en compte certaines relations de voisinage implicites. En se fondant sur des expérimentations numériques reposant sur une batterie d'instances sous forme de grille à motif carré, nous analysons les différences de comportement entre ces modèles ainsi que l'évolution des résultats en fonction de α .

Références

- [1] K. Chakrabarty, S.S. Iyengar, Hairong Qi, and Eungchun Cho. Grid coverage for surveillance and target location in distributed sensor networks. *Computers, IEEE Transactions on*, 51(12) :1448–1453, Dec 2002.
- [2] Daniel Gonçalves, Alexandre Pinlou, Michaël Rao, and Stéphan Thomassé. The domination number of grids. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 25(3) :1443–1453, 2011.
- [3] Maher Rebai, Matthieu Le Berre, Hichem Snoussi, Faicel Hnaïen, and Lyes Khroukhi. Sensor deployment optimization methods to achieve both coverage and connectivity in wireless sensor networks. *Computers and Operations Research*, 59 :11 – 21, 2015.
- [4] Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, and Dipak Ghosal. Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12) :2292 – 2330, 2008.