Projet métaheuristiques SOD324
Année 2023 / 2024

Étude de cas : K-couverture connexe minimum dans les réseaux de capteurs

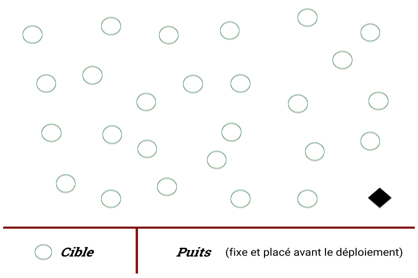
Travail écrit à rendre pour le samedi 20 janvier 2024 au plus tard
Les soutenances auront lieu le vendredi 26 janvier 2024

1 Description du problème

Les réseaux de capteurs sont des réseaux sans fil constitués de dispositifs autonomes. Ils sont déployés sur une zone géographique (ou terrain) afin d'effectuer des relevés de données environnementales. Ces réseaux sont utilisés dans différents contextes allant du relevé de secousses sismiques ou de mouvements marins à la détection d'incendies dans les bâtiments.
Chaque capteur du réseau est doté d'une unité de captage chargée de mesurer des grandeurs physiques (chaleur, humidité, vibrations,...). Les données numériques ainsi relevées sont ensuite routées de capteur à capteur jusqu'à un "point de collecte" appelé **puits** qui se chargera de les transmettre vers un serveur capable de les traiter.

Nous nous plaçons dans le contexte d'étude suivant :

- Le terrain à couvrir est un plan discrétisé en un ensemble de cibles à capter

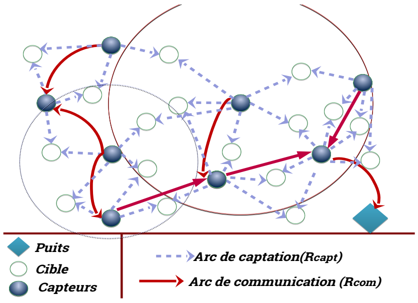


- Les capteurs ne peuvent être placés que sur les cibles.
- Chaque capteur est doté d'un rayon de captation *Rcapt* pour le relevé des données. Un capteur placé sur une cible du terrain de coordonnées (i, j) peut capter les cibles de coordonnées (k, l) telles que $\Delta_{(i,j)(k,l)} = \sqrt{(i-k)^2 + (j-l)^2} \leq Rcapt$
- Chaque capteur est doté d'un rayon de communication $Rcom \geq Rcapt$ pour la transmission des données. Un capteur placé sur une cible (i, j) du terrain peut communiquer avec les capteurs placés sur les cibles (k, l), vérifiant $\Delta_{(i,j)(k,l)} = \sqrt{(i-k)^2 + (j-l)^2} \leq Rcom$
- Le puits est situé sur une cible qui ne nécessite pas d'être captée.
- L'ensemble des capteurs est homogène : ils possèdent tous les mêmes valeurs pour les rayons *Rcapt* et *Rcom*.

Nous nous intéressons ici au problème de la k-couverture connexe minimum dans un réseau de capteurs. Dans ce problème, il convient de placer des capteurs sur les cibles du plan de sorte à ce que

- une cible se trouve dans le rayon de captation d'au moins k capteurs avec k, un entier positif qui définira donc le degré de couverture de chaque cible.
- chaque capteur peut communiquer avec le puits via un chemin de capteurs dans lequel deux capteurs sont adjacents s'ils sont à une distance inférieure ou égale à *Rcom* pour pouvoir transmettre les données.

L'objectif de ce problème est de minimiser le nombre de capteurs placés.
La figure ci-dessous montre un exemple de solution réalisable pour k=1.



L'objet de ce cas est la résolution approchée du problème de la k-couverture connexe minimum dans un réseau de capteurs à l'aide de la métaheuristique de votre choix.

2 Travail à réaliser

1. Déterminer une heuristique pour trouver une solution réalisable du problème de la k-couverture connexe minimum dans un réseau de capteurs. Détailler les différentes étapes de l'algorithme et le tester sur les jeux de données proposés.
2. Proposer une structure de voisinage adaptée au problème et l'illustrer sur un exemple.
3. Mettre en œuvre une métaheuristique pour trouver une solution approchée au problème étudié. Tester la métaheuristique sur les jeux de données proposés.

3 Description des jeux de données

- Le terrain est discrétisé en une grille (à motif carré) (cf. Fig 1). Chaque nœud de la grille est associé à une cible à capter. La distance séparant deux cibles adjacentes d'une grille est égale à une unité de mesure. Dans une grille de largeur n et de longueur m, le nombre de cibles à capter est nm. On note (i, j), la position d'une cible située à l'intersection de la ligne i ($i = 1, \ldots, n$) et de la colonne j ($j = 1, \ldots, m$) de la grille. La position $(1, 1)$ est associée au coin en haut à gauche de la grille.

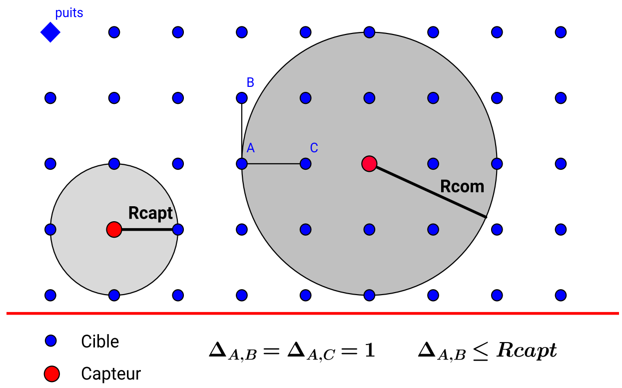


Fig. 1 : Discrétisation du terrain en une grille de cibles

Les méthodes sont à tester avec des grilles carrées ($N = M$) tronquées dans lesquelles des plages de cibles ont été supprimées (cf. Fig 3) et k=1.

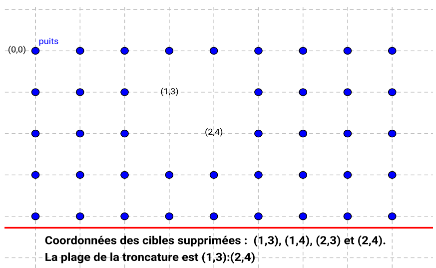


Fig. 3 : Grille tronquée

Les tailles de grille à tester varient de 10×10 à 40×40.
Pour chaque taille de grille, les paires $(Rcapt, Rcom)$ à tester sont les suivantes $(1, 1), (1, 2), (2, 2), (2, 3)$. Les figures Fig.2a et Fig.2b montrent un exemple de solution réalisable pour $Rcapt = 1$ et $Rcom = 2$ dans une grille pleine pour $n = 4$ et $m = 6$.

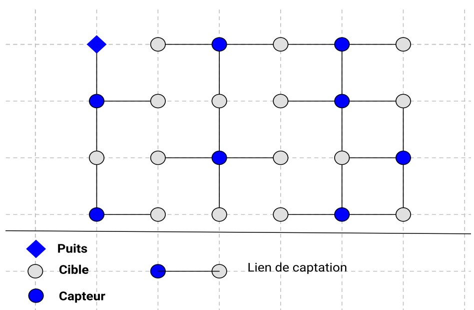


Fig 2a : les capteurs placés captent toutes les cibles de la grille

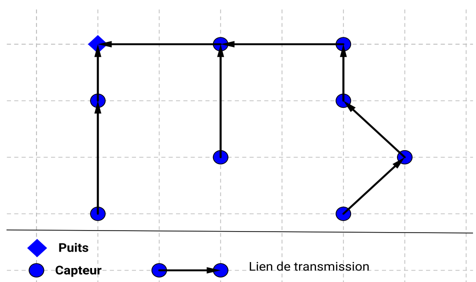


Fig. 2b : chaque capteur placé peut communiquer avec le puits

- Le terrain est discrétisé en un ensemble de cibles générées aléatoirement. Les graphes de captation et de communication induits par ces ensembles de cibles sont connexes pour les paires $(Rcapt, Rcom)$ $((1,1),(1,2),(2,2),(2,3))$ à tester. Les fichiers de données associés à ces instances listent pour chaque numéro de cible ses coordonnées euclidiennes. Le puits est le point de coordonnées $(0,0)$. Ces instances seront à tester pour k=1, 2 et 3. Ces fichiers de données seront envoyés par mail. Pour information, le nombre de cibles à couvrir varie de 150 à 1500.

4 Tableau de résultats

Présenter un tableau récapitulatif des expériences numériques :
- En colonnes, doivent figurer, pour chaque approche heuristique, la valeur du majorant, la valeur d'un minorant (facultatif), le temps de résolution.
- En lignes, les instances traitées.

5 Travail à rendre

- Un rapport, dans lequel vous devrez décrire
    1. L'heuristique proposée pour déterminer une solution réalisable du problème posé,
    2. Le (ou les) voisinages proposé(s),
    3. La métaheuristique choisie (préciser l'ajustement des paramétrages),
    4. Les résultats numériques que vous aurez obtenus sur la batterie d'instances proposée ainsi que l'analyse de ces résultats.

- Une archive du code comprenant un readme.txt

Le rapport sous format .pdf et l'archive associée au travail sont à envoyer à l'adresse mail natalia.jorquera@ensta-paris.fr **au plus tard le samedi 20/01/2024**

6 RECOMMANDATIONS

- Ce travail est à réaliser en binôme.
- Le code source doit être bien commenté.
- Le codage des algorithmes peut être effectué dans le langage de votre choix.
- Afin d'obtenir les instances aléatoires, vous devez envoyer un e-mail avec la composition de votre binôme. (natalia.jorquera@ensta-paris.fr)

7 Soutenances

La présentation orale aura lieu le vendredi 26/01/2024.