Recherche décentralisée de connexité pour réseaux de capteurs mobiles

Merwan Achibet

1 Introduction

On imagine le problème suivant : un groupe de n capteurs mobiles est réparti aléatoirement dans un environnement à deux dimensions. On part de l'hypothèse qu'un capteur connaît uniquement le nombre total de capteurs du système ainsi que sa position dans l'espace. Les capteurs peuvent communiquer deux à deux et s'échanger des informations mais uniquement à condition que la distance les séparant soit inférieure à un seuil donné.

Ce réseau d'appareils volants forme un graphe dynamique dont les nœuds sont les capteurs. Deux nœuds étant reliés par un arc si les capteurs qui leur sont associés sont en mesure de communiquer i.e. s'ils sont assez proches. La figure 1 illustre un scénario impliquant trois capteurs.

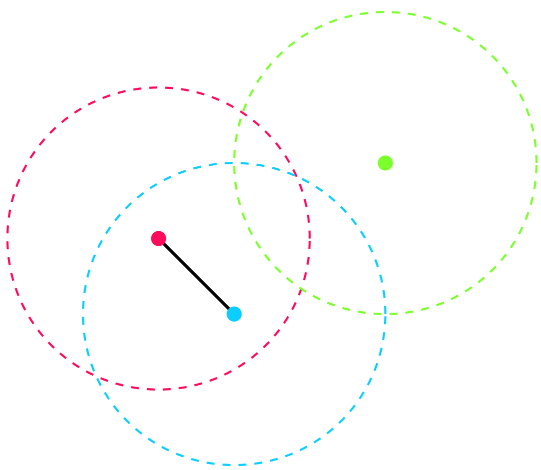

FIGURE 1 – Les capteurs rose et bleu peuvent communiquer et sont connectés tandis que le capteur vert est isolé.

QUE VA T ON FAIRE ?

2 Déterminer si le réseau est connexe

3 Rendre le réseau connexe

La résolution de ce problème passe par la satisfaction de deux besoins a priori antagonistes. D'une part, il est naturellement nécessaire de réunir les capteurs dans un espace réduit, de façon à ce qu'ils puissent communiquer et échanger des données en continu. D'autre part, et dans l'interêt de leurs utilisateurs, ils doivent s'étaler dans l'espace afin d'effectuer des mesures sur la plus grande superficie possible. Nous sommes donc dans une situation de compromis, dans laquelle une contrainte technique (la portée de communication) force à agglomérer les capteurs en une même zone, tandis que leur but intrinsèque est de ramasser des données en masse et donc, rationnellement, de s'éloigner les uns des autres pour couvrir le plus de terrain possible. La seule issue favorable à ce problème est donc d'aboutir à une situation d'équilibre satisfaisant ces deux contraintes diamétralement opposées.

Le cadre de cet exercice s'accorde parfaitement avec la problèmatique de la prise de décision dans un réseau décentralisé puisque chaque capteur peut être assimilé à un agent autonome, capable d'agir sur la configuration de son environnement en se déplaçant dans l'espace. Quel que soit l'état d'un capteur, la vision du système dont il dispose est locale et doit servir seule à déterminer quelles actions il entreprend. L'objectif est donc ici de proposer une méthode de guidage que chaque capteur peut adopter et qui, par émergence d'une dynamique globale, résoudra notre problème en répartissant les capteurs de façon équilibrée dans l'espace.

Ce guidage, inspiré des boïds [Rey87] et de ? ? ? [CSJ11], détermine le déplacement que va suivre un agent en fonction de la configuration de son voisinage, plus précisément en fonction de la position de ses éventuels voisins et de sa propre position absolue. L'évolution de chaque agent du système, et en conséquence son évolution globale, se fait par le calcul et l'application de trois influences physiques, que l'on peut assimiler à des forces puisqu'elles s'apparentent fortement à l'attraction, la répulsion et la gravité. Dans la suite, le rôle de chaque force ainsi que la façon dont elles sont calculées est décrit. Nous verrons ensuite comment combiner ces différentes influences en une unique *force nette* décrivant un déplacement discret de notre capteur.

3.1 Attraction

À la lecture de l'énoncé de ce problème, la nécessité de rapprocher les capteurs les uns des autres, afin qu'un réseau de communication ininterrompu se forme, vient naturellement à l'esprit. En effet, la condition *sine qua non* au bon fonctionnement du réseau est la communication. Un capteur isolé est inutile puisque son information n'est pas partagée.

Par sa loi de l'attraction universelle, Isaac Newton décrit la force qui attire toute paire de corps comme étant proportionnelle à leur masse respective et à la distance les séparant. Nous nous permettons de simplifier quelque peu son équation et d'en retirer l'aspect massique pour obtenir une règle qui a tout couple de corps associe une force de cohésion proportionnelle à leur distance. S'ils obéissaient à cette loi, nos capteurs auraient naturellement tendance à se grouper, et donc à se mettre à portée de communication les uns des autres.

Dans notre système, et contrairement à la loi de Newton, cette influence n'est pas universelle. Nous ne pouvons malheureusement pas rééecrire les règles de ce monde et inventer une attirance magique entre toute paire capteur. On peut néanmoins la simuler. Si deux capteurs sont à portée et peuvent échanger leur positions repectives, la détermination de la distance les séparant est aisée. À partir de là, on peut imiter un phénomène d'attration. Il est à noter que le rôle de cette force n'est pas d'approcher deux capteurs pour qu'ils communiquent, puiqu'avant de pouvoir être attirés ils doivent communiquer, mais plutôt de les approcher pour obtenir des groupements solides de capteurs.

Concrètement, on associe à tout capteur c un rayon d'attraction R_a (voir figure 2). Si un capteur voisin se trouve à la fois dans le rayon de communication de c et à l'extérieur de R_a, la force d'attraction que ce capteur devra subir est calculée par la formule suivante :

$$\vec{a} = (\vec{p}_c - \vec{p}_v)???$$

Dans le phéomène d'attraction réel, l'action est réciproque et instantanée mais dans notre cas elle est unidirectionnelle. Un capteur est attiré par tous ses voisins mais le processus décrit ne modifie pas directement la position du voisin et il n'en subit aucune influence. Il est néanmoins à prévoir que lorsque ce voisin calculera l'attraction à suivre, il en subisse l'action réciproque.

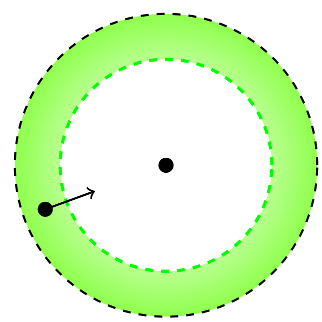

FIGURE 2 – En vert, le rayon d'attraction, dont l'intensité est décroissante de l'extérieur vers l'intérieur.

3.2 Répulsion

L'attraction a pour effet d'agglomérer en un groupe serré tous les capteurs démarrant la simulation dans une même zone. Mais même si de cette façon la communication est assurée, les capteurs finissent par tous être superposés sur la même position et la contrainte de couverture n'est absolument pas satisfaite.

Pour pallier cette déconvenue, on introduit une nouvelle force, opposée à l'attraction : la répulsion. La rayon R_r définit une nouvelle zone qui contrairement à la loi précédente, expulsera les capteurs envahissants vers l'extérieur. Il est bien sûr nécessaire que $R_r < R_c$. De plus, on prend $R_r = R_c + \varepsilon$, oú *varepsilon* correspond à la largeur d'une bande neutre entourant chaque capteur (voir figure 3).

VRAI POSITION PRES DU BORD ATTENTION COMM

$$\vec{r} = (\vec{p} - \vec{p_v})\frac{R_r - d}{d}$$

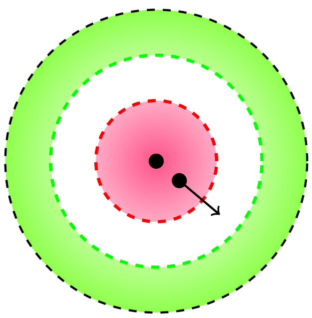

FIGURE 3 – En rouge, le rayon de répulsion, dont l'intensité est décroissance du centre vers les bords.

3.3 Gravité

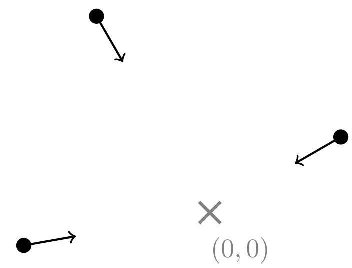

FIGURE 4 – La gravité attire tous les capteurs vers le centre de leur environnement.

$$\vec{g} =$$

3.4 Composition d'une force nette

3.5 Obstacles

4 Conclusion

Références

[CSJ11] Teddy M. Cheng, Andrey V. Savkin, and Faizan Javed. Decentralized control of a group of mobile robots for deployment in sweep coverage. *Robotics and Autonomous Systems*, 59(7–8) :497 – 507, 2011.

[Rey87] Craig W. Reynolds. Flocks, herds, and schools : A distributed behavioral model. In *SIGGRAPH '87 : Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 25–34. ACM, 1987.