

Recherche de chemin par dépôt de phéromones

Merwan Achibet – Université du Havre

Introduction

On se propose d'étudier l'implémentation NetLogo de José M. Vidal inspirée de *Synthetic Pheromone Mechanisms for Coordination of Unmanned Vehicles* de Parunak, Brueckner et Sauter. Dans un premier temps, on étudie le modèle original puis on analyse l'implémentation proposée.

1 Modèle

1.1 Analogie avec le vivant

Les fourmis sont des insectes reconnus pour leur caractère social. Seules, elles restent vulnérables à l'environnement immense les entourant. Pourtant, la coopération entre individus de la même colonie caractérisant cette espèce leur permet de compter parmi les êtres vivants les plus présents sur le globe terrestre.

Les fourmis communiquent par le biais de signaux chimiques que l'on peut assimiler à des odeurs, les phéromones [Pai]. Elles peuvent dialoguer d'individu à individu en utilisant leurs antennes mais, dans le contexte de la croissance de la fourmilière, il est plus efficace de déposer dans leur environnement des messages généraux adressés à tous. C'est notamment le cas lorsqu'une nouvelle source de nourriture est trouvée puisque la fourmi à l'origine de l'heureuse découverte déposera derrière elle des phéromones de piste afin que ses congénères puissent y être guidées. Plusieurs autres types de phéromones existent : certaines préviennent d'un danger tandis que d'autres délimitent un territoire ou bien, chez d'autres insectes, attirent les individus de sexe opposé en période de reproduction.

Les phéromones étant des signaux chimiques éphémères, un phénomène d'évaporation se produit naturellement et efface progressivement les pistes. Pour qu'une piste perdure, elle doit être entretenue par accumulation des phéromones des autres fourmis l'arpentant. Ainsi seules les meilleures pistes sont conservées tandis que les autres (source de nourriture épuisée ou moins importantes) disparaissent par érosion. Un aspect important des phéromones est qu'elles sont soumises à une diffusion dans l'environnement et que les insectes disposent d'un odorat assez fin pour en retrouver la source. Ainsi, un individu peut détecter et être attiré par une odeur en passant à proximité de la piste originelle mais sans nécessairement la croiser.

Ce type de comportement est une source d'inspiration pour la conception de méthodes de résolution destinée à des systèmes multi-agents puisqu'il rassemble des qualités notables [PBS02] :

Diversité Une phéromone peut aussi bien indiquer une piste à suivre qu'un danger. Le concepteur d'un modèle est libre d'associer tout type de sémantique à une phéromone.

Distribution Les signaux chimiques guidant les insectes sont répartis sur tout l'environnement.

Décentralisation Si une fourmi est mangée par un oiseau, cela n'impactera pas l'avenir de la fourmilière car l'individu manquant n'est qu'un rouage d'un mécanisme plus complexe et les signaux qu'il a déposés perdureront jusqu'à évaporation.

Dynamacité Les tracés se renforçant et s'évaporant continuellement, les insectes s'adaptent à tout changement impromptu de l'environnement.

Parunak *et al.* partent de ce constat, et s'inspirent des modèles existants [BDT99], pour proposer une méthode de guidage destinée aux véhicules non habités dans le cadre d'opérations militaires.

1.2 Les agents et leur monde

Ici, la fourmi est remplacée par un véhicule, un drone aérien dans l'exemple. Sa mission est de partir d'une base, et d'atteindre un bâtiment ennemi cible tout en évitant certaines infrastructures pouvant l'impacter négativement (radars, batteries anti-aérienne).

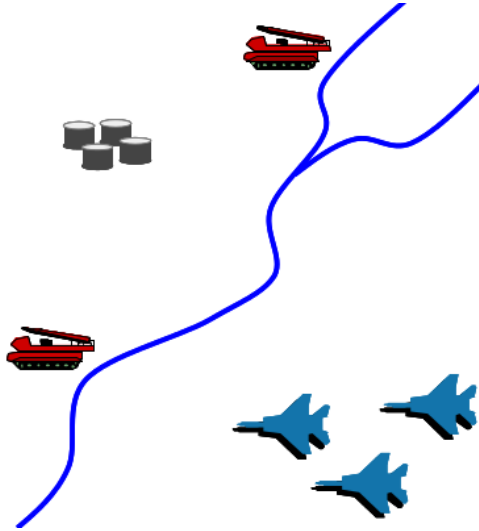


FIGURE 1 – Une configuration à résoudre. En bleu les drones ; en gris, la cible ; en rouge les menaces [PBS02].

Dans la simulation, un véhicule peut déposer deux types de phéromones :

GTarget Libérée par un agent venant de rencontrer une cible ennemi et rentrant à sa base. Elle guide les autres agents vers la cible.

GNest Libérée par un agent venant de quitter la base. Elle guide les agents vers cette dernière.

Dans ce modèle, les bâtiments ennemis sont eux aussi agents et émetteurs des phéromones :

RTarget Libérée par les bâtiments cibles. Elle attire les drones.

RThreat Libérée par les bâtiments de contre-mesure. Elle repousse les drones.

Chacune de ces phéromènes véhicule une information différente, mais au delà de leur sémantique, elles diffèrent aussi de par leur taux de diffusion dans l'environnement. Pour les bâtiments ennemis, ce taux de diffusion dépend de l'aire d'effet du bâtiment associé, et correspond concrètement à son rayon d'action : le rayon de détection pour un radar, la portée pour une batterie anti-aérienne. Le taux de diffusion des phéromones libérées par les drones doit quant à elle être finement mesuré pour qu'elles soient remarquées par les véhicules passant à proximité sans pour autant définir une route trop large (et donc plus encline à empiéter sur les zones d'effet des bâtiments ennemis).

L'environnement est divisé en zones (*places*) dont les dimensions dépendent de la simulation envisagée. Dans l'exemple *SEADy Storm* proposé dans le papier étudié, une zone correspond à un hexagone de 50 kilomètres de diamètre. C'est sur ces zones que les quantités des différentes phéromones déposées sont stockées et aussi que le phénomène de diffusion se produit entre zones voisines.

Le fonctionnement intrinsèque de ce modèle commence à s'esquisser. Les phéromones émises par les différents acteurs de la simulation vont tisser un canevas de signaux chimiques marquant l'environnement. Typiquement, les drones auront pour but de suivre une piste menant à un bâtiment cible tout en évitant les aires d'effet des bâtiments menaçants, puis à revenir jusqu'à une base.

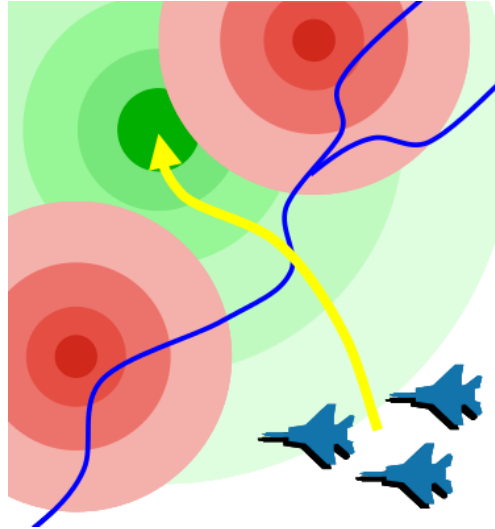


FIGURE 2 – Le même environnement marqué par les phéromones des bâtiments ennemis [PBS02].

1.3 Guidage

Les phéromones décrites sont bien sûr spécifiques au modèle présenté et on peut aisément imaginer, selon la simulation, que l'on en introduise de nouveaux types. Dans un souci de généralisme et de simplicité, on ne souhaite pas qu'un agent ait à envisager des considérations complexes prenant en compte chaque phéromone séparément et on préfère associer aux zones

une fonction g calculant une valeur d'attractivité nette afin de guider le déplacement des drones. Dans l'exemple proposé, cette fonction est la suivante, avec α , β , γ , δ et θ des facteurs de réglage et Dist une approximation de la distance séparant le drone de sa cible :

$$g = \frac{\theta \text{RTarget} + \gamma \text{GTarget} + \beta}{\alpha \text{RThreat} + \delta \text{Dist} + \beta} \quad (1)$$

Lorsqu'un véhicule se trouve dans une zone, il a accès aux quantités de phéromones présentes dans les zones voisines et un tirage aléatoire de type roue de la fortune biaisée permet de simuler un choix quant à la route empruntée. Globalement, et si le drone suit une piste, les zones les plus attractantes se trouvent devant et derrière lui. Afin d'éviter qu'il ne change de intempestivement, son élan est pris en compte et la zone devant lui bénéficie d'un bonus lors du tirage aléatoire.

Pour l'instant seuls les agents mobiles de type drone ont été présentés. Il en existe pourtant une seconde catégorie, que nous appelons les fantômes. Un fantôme est un drone virtuel éphémère, créé par le véritable drone, et donc la principale caractéristique est de disposer d'une vitesse d'exploration plus importante. Les fantômes sont régulièrement instanciés par le drone et déposent des phéromones de la même façon que leur parent ; ils font ainsi office d'éclaireurs et améliorent ses choix de déplacement.

Le concept des fantômes est une différence majeure entre la méthode proposée et un algorithme de colonies de fourmis classique. Il est bien sûr plus adapté au cadre opérationnel décrit car l'action d'un drone doit être rapide et efficace. On imagine mal une flotte d'appareils physiques explorer de façon non ostensible un espace aérien avant de pouvoir choisir une action à effectuer. L'utilisation d'agents virtuels est donc justifiée.

2 Implémentation

2.1 Étude

José M. Vidal a implémenté le modèle décrit précédemment sur la plateforme de simulation NetLogo.

Son implémentation est basée sur une grille torique de *patches* alors que l'implémentation originale utilisait des hexagones. Cette différence est négligeable au niveau des résultats que fournit cette simulation car Parunak

et al. précisent que la configuration du terrain et des blocs le formant, ainsi que leurs dimensions peuvent varier librement.

Chaque *patch* contient une valeur réelle représentant la quantité de chaque phéromone qu'il contient. La diffusion de ces signaux chimiques se fait par la fonction netlogo `diffuse` qui partage une fraction d'une variable de *patch* entre les zones voisines. Un exemple de configuration est visible sur la figure 3.

La simulation comprend un unique drone et se termine lorsque ce dernier atteint une des cibles. Ce drone ayant ici pour unique but d'atteindre un objectif, il ne fait que se déplacer de *patch* en *patch* en utilisant comme heuristique la quantité de phéromone GTarget (menant à une cible) des cases voisines. L'équation 1 n'est donc pas utilisée. Cette simplification a pour conséquence

FIN DE LA SIMULATION
FORMULE ?

2.2 Analyse

Les facteurs que l'utilisateur peut contrôler sont :

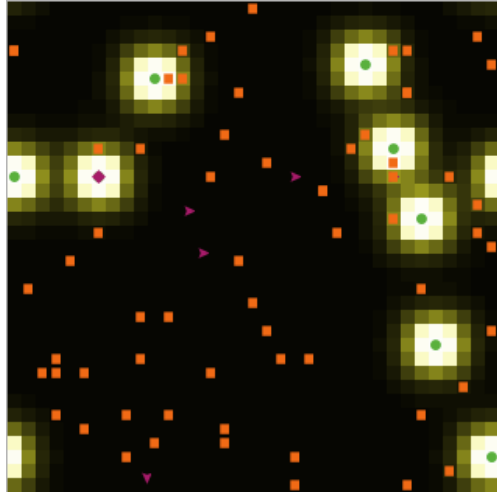
- Le nombre de cibles
- Le nombre de menaces
- Le nombre maximum de fantômes
- Le taux de diffusion des phéromones
- Le taux d'évaporation des phéromones
- La durée de vie des fantômes
- La vitesse du drone

On remarque que le taux de diffusion ainsi que le taux d'évaporation est commun à toutes les phéromones, contrairement au modèle original qui supporte les phéromones disposant de dynamiques différentes.

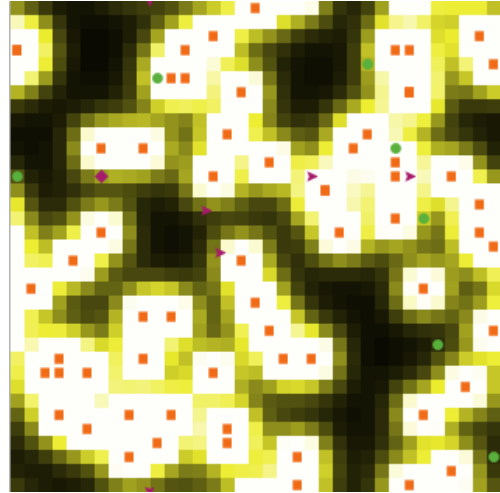
La durée de vie des fantômes correspond au nombre d'itérations pendant lequel un fantôme est actif. Lorsque cette limite est atteinte, il disparaît. Le champ appelé vitesse du drone correspond au nombre d'itérations

Références

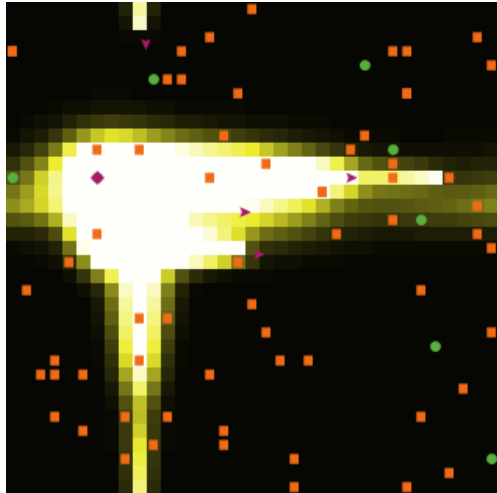
[BDT99] Eric Bonabeau, Marco Dorigo, and Guy Theraulaz. *Swarm Intelligence : from Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press,



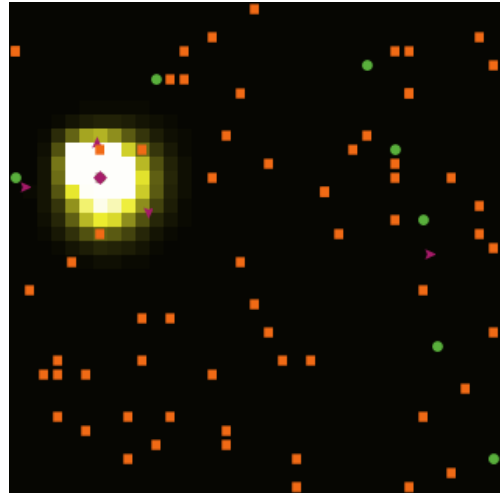
(b) RTarget



(c) RThreat



(e) GTarget



(f) GNest

FIGURE 3 – Les quatre types de phéromone pour une configuration donnée. En violet, les drones ; en vert les cibles ; en orange, les menaces ; en jaune, la phéromone.

1999.

- [Pai] Janine Pain. Les phéromones d'insectes, 30 ans de recherche. *Insectes*, (69).
- [PBS02] H. Van Dyke Parunak, Sven Brueckner, and John Sauter. Synthetic pheromone mechanisms for coordination of unmanned vehicles. In *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agents Systems*, 2002.