ECOLE POLYTECHNIQUE DE BRUXELLES
UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES

RAPPORT DU PROJET DE BA2 : GROUPE 9

Robots en Essaim : Explorez

Etudiants :
Sacha ALCALDE MANGEN
Shankar BABA
Rosine DESMET
Nathan DWEK
Bernard GONDA

Superviseur :
Ir. Anh Vu DOAN NGUYEN

13 mars 2014

Abstract

The goal of this project was to design a swarm-intelligent behaviour for virtual robots using the ARGoS software. These robots had to explore an unknown environment with obstacles in order to ultimately loop between spots marked on the ground and a starting area. The fundamental paradigm was that a single set of rules would be followed independently by every robot, which would allow a swarm-intelligent behaviour to emerge through the robot interactions prescribed by these rules. For that to work, exploration, shortest path-finding and obstacle-avoidance algorithms were needed, along with elementary automated decision making, communication and odometry. These concepts were implemented using the ARGoS loop approach, which means that the same sequence of actions takes place at every step, while only events occurring during that step can influence these actions. However, a Dijkstra path-finding algorithm, which would only execute once before every trip while always providing the shortest trajectory, was also considered. A first working solution was produced using the Lua language, then put to the test and could quickly be enhanced accordingly thanks to the flexible framework. This allowed robots to loop between a starting area and spots of known position while avoiding collisions, and information was gathered on parameters meaningful for the experiment. Future development should be focused on optimizing these parameters and enabling robots to explore a fully unknown environment.

Résumé

Le but de ce projet était de créer une intelligence en essaim pour des robots modélisés dans le simulateur ARGoS. Ceux-ci devaient explorer un environnement inconnu qui comportait des obstacles afin d'ensuite faire des allers-retours entre des zones marquées aux sols et leur nid de départ. Le principe de base était que le même ensemble de règles devrait être suivi de manière indépendante par chaque robot ; la caractéristique intelligente de l'ensemble de robots devant émerger à travers les interactions entre robots prescrites par ces règles. Pour cela, des procédures d'exploration, de recherche du plus court chemin et d'évitement furent nécessaires ainsi que des principes de base de prise de décision, d'odométrie et de communication. Ces concepts furent mis en pratique en utilisant l'approche loop d'ARGoS, qui implique que le robot exécute la même séquence d'opérations à chaque pas. Cependant, une recherche du plus court chemin Dijkstra, qui ne serait faite qu'une seule fois avant chaque trajet d'un robot, tout en trouvant toujours le chemin le plus court, fut aussi considéré. Une première solution fonctionnelle en Lua fut construite, testée et ensuite améliorée en conséquence grâce au turnaround loop très court offert par ARGoS. Cette solution permet aujourd'hui au robot de faire des allers-retours entre leur nid et une ou plusieurs ressources dont ils connaissent la position à l'avance, tout en évitant les collisions dans un environnement inconnu. De plus, des informations ont été collectées sur des paramètres influençant l'expérience. La deuxième partie du quadrimestre devrait être consacrée à l'optimisation de cette solution et à permettre au robot d'explorer un environnement afin de trouver la position des sources à exploiter.

Table des matières

Chapitre 1

Introduction

Le but du projet est de doter un essaim de robots d'un comportement intelligent afin qu'ils soient capables [cah13]

- d'explorer un environnement inconnu afin de localiser des «sources» symbolisées par des taches noires au sol
- d'«exploiter» les sources découvertes en faisant des allers-retours entre celles-ci et le nid
- de partager l'information accumulée afin d'optimiser l'exploitation des sources
- d'accomplir ces tâches dans un environnement comportant des obstacles, tout en gérant leur autonomie limitée

L'essaim de robots et son environnement sont simulés par ARGoS, un simulateur développé par le laboratoire IRIDIA.

1.1 Intérêt du projet

Comme son nom l'indique, la robotique en essaim met en oeuvre un nombre élevé de robots afin d'effectuer une tâche. Ceci est très différent de ce qui se fait habituellement en robotique «classique» où un petit nombre de robots extrèmement sophistiqués est déployé afin de résoudre une problématique. Les principes fondamentaux derrière la programmation d'un essaim de robots peu coûteux mais au capacités plus limitées sont donc aussi différents : chaque individu ne doit plus être considéré comme infaillible, et la perte d'un robot prend moins d'importance, tant qu'elle profite à l'essaim tout entier. Ceci ouvre de nouvelles voies dans de nombreux domaines, par exemple dans le cas très concret du déminage ou lorsqu'il faut opérer dans une zone hautement hostile au sens plus général (intervention en milieu radioactif, en grande profondeur, . . .). [Sha07]

1.2 Résultats attendus

L'objectif premier est de développer un comportement qui permet aux robots de survivre et d'exploiter une ressource de manière autonome dans un environnement non connu à l'avance.

Dans un premier temps, les robots seront considérés comme omniscients et connaîtront donc l'environnement à explorer. Cette connaissance leur sera ensuite retirée. Une communication entre les robots pourra être envisagée par la suite et permettra nottament de mieux gérer l'information incomplète.

Même si la tâche à accomplir est au niveau de l'essaim, ce dernier ne sera jamais programmé directement. Le principe même du projet est de développer un comportement qui sera suivi par chaque robot indépendamment. Des interactions locales entre robots, physiques ou non, émergera un comportement global qui devra être étudié et être rendu prévisible.

Des outils de mesure, afin de calculer la qualité du comportement en essaim, devront être élaborés. Ils devront établir la performance des solutions proposées en fonction des objectifs initiaux. [cah13]

Ce rapport a été divisé en trois parties : une introduction à la notion d'intelligence artificielle et de comportement en essaim en particulier, la problématique du déplacement des robots et enfin la communication et prise de décision.

Chapitre 2

L'intelligence artificielle

Afin de mener à bien l'objectif énoncé dans l'introduction, les robots doivent se comporter de manière intelligente. Le plus important est l'interaction avec l'environnement. En effet, le choix de la bonne action est cruciale. Il est cependant délicat de définir une seule «meilleure» action. Ceci est développé plus bas, en introduisant le concept de *rationalité*. De manière générale, un robot peut être assimilé à un agent qui reçoit des *percepts* par l'intermédiaire de ses capteurs. L' *agent* réagit alors en exerçant une action sur l'environnement grâce à ses *effecteurs*. La description des différents

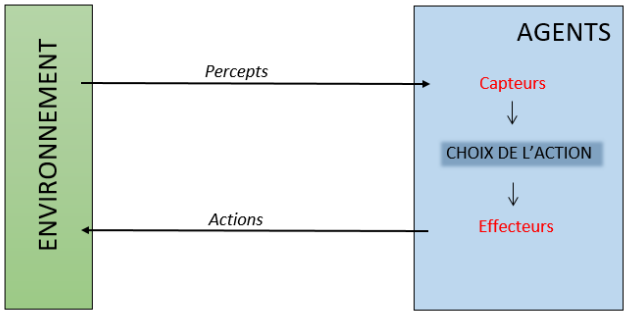


FIGURE 2.1 – Cycle d'interaction entre l'environnement et les agents

capteurs et effecteurs du robot est faite dans le chapitre 3.

Comme énoncé précédemment la rationalité d'un agent peut être délicate à mesurer. D'après [RND10] :

> «La rationalité n'est pas synonyme de perfection, la rationalité maximise la performance espérée tandis que la perfection maximise la performance réelle.»

En effet, dans un groupe composé de plusieurs agents, un choix d'action peut s'avérer bénéfique pour un agent mais mauvais pour l'ensemble du

groupe. C'est pourquoi il est préférable de concevoir les mesures de performance en fonction de ce que l'on souhaite obtenir dans l'environnement et non en fonction de la façon dont devrait se comporter un agent.

A partir de cela, tout problème peut être formellement défini par cinq composantes. Tout d'abord l'état initial dans lequel commence l'agent, puis la description de ses différentes actions, c'est à dire toutes les actions possibles dans un état donné. Ensuite, vient le modèle de transition, il décrit ce que chaque action réalise. Ces trois premières composantes définissent l'espace des états du système, c'est à dire l'ensemble de tous les états accessibles par une séquence d'action à partir de l'état initial.

Dès lors l'espace d'état peut être interprété sous forme d'arbre où les nœuds représentent des états et les branches des séquences d'action. Il en découle la notion de chemin représentant une séquence d'états reliés par une séquence d'action.

La quatrième composante correspond au test but. Celle-ci détermine si un état donné est un état but. Enfin vient la cinquième et dernière composante, le coût du chemin. Elle permet d'attribuer une valeur numérique à un chemin en accord avec la mesure de performance imposée.

Maintenant qu'une présentation générale de l'intelligence artificielle a été faite, le comportement d'essaim d'agents intelligents peut être étudié. Pour ce faire, il s'est avéré très intéressant d'en comprendre le comportement à partir d'exemples se trouvant dans la nature. Les fourmis et les abeilles illustrent bien cela. Deux algorithmes mettant en avant leur comportement sont présentés ci-dessous.

2.1 Algorithme des fourmis

Cet algorithme est basé sur le comportement des fourmis dont une des particularités est la communication au travers de l'environnement par dépôts de phéromones.

L'algorithme se présente de la manière suivante. Pour commencer, une exploration de l'environnement est faite par les fourmis. Si l'une d'entre elles trouve une source, elle déposera, lors de son retour au nid, des phéromones tout au long du chemin qu'elle emprunte. Dès lors, lorsque que d'autres fourmis partiront à la recherche de nourriture, elles auront tendance à suivre le chemin marqué de phéromones. Et à leur retour à la colonie, elles renforceront cette piste [wik13b].

Cet algorithme illustre une communication indirecte d'un essaim et la manière dont ce dernier est influencé [TLD04]. L'autre algorithme, illustrant le comportement d'une structure organisée, est l'algorithme des abeilles.

2.2 Algorithme des abeilles

L'algorithme des abeilles est un «algorithme d'optimisation basée sur un comportement intelligent particulier des essaims d'abeilles».CITATION ?

Dans cet algorithme, tout comme dans celui des fourmis, les abeilles explorent le milieu environnant le nid. Par contre, ces dernières partagent des informations de manière directe. En effet, si une source est trouvée, celle-ci débutera une danse qui aura pour but d'avertir les autres abeilles. Plus la source sera importante, plus la danse sera complexe.SOURCE

Comme observé dans ces algorithmes, la communication est indispensable à une bonne organisation d'un collectif d'individus. Dans le cadre de ce projet, le moyen dont les robots vont se partager les informations peut s'y inspirer.

D'une part, en s'inspirant de la communication des abeilles, les robots pourraient communiquer l'emplacement des sources de manière directe. Pour cela, celles-ci allumeraient leur LED pour communiquer l'emplacement d'une ressource. Ou d'autre part, pour communiquer indirectement, les robots pourraient déplacer les objets à l'aide de ses effecteurs. Par exemple, ils déplaceraient les obstacles dans son environnement de telle manière à créer un chemin qui mènerait du nid à la source.

Le prise en charge de la communication des robots ne sera traitée qu'au second quadrimestre. Mais tout ceci est concevable car les robots disposent d'effecteurs capables d'interagir sur l'environnement et de capteurs capables de cerner les différentes modifications de ce dernier.

Chapitre 3

Présentation du simulateur ARGoS et des footbots

3.1 Capteurs et actuateurs des footbots

Comme présenté plus haut, les capteurs et actuateurs des agents déterminent bien évidemment les informations qu'ils sont capables de recuellir et les actions qu'ils peuvent effectuer.

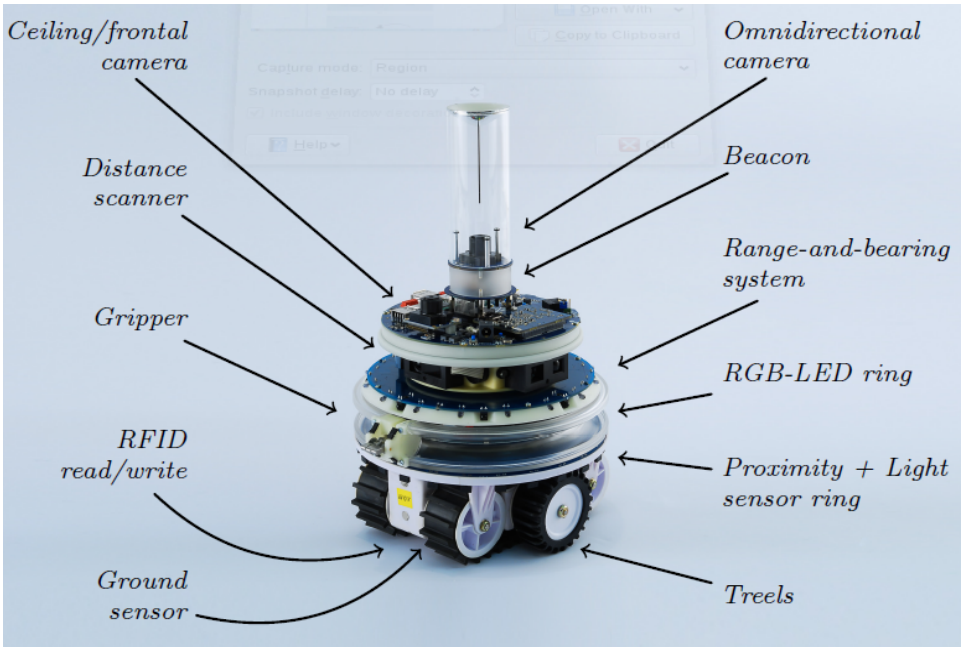


FIGURE 3.1 – Les différents senseurs et actuateurs d'un footbot [Pin]

Dans le cadre du projet, on considère qu'il suffit que le robot passe sur une «source» pour l'exploiter. Les différents capteurs et actuateurs intéres-

sants sont donc les roues, le senseur de proximité et le *distance scanner* pour la partie déplacement, le *ground sensor* pour la partie exploration (car il permet de lire la couleur du sol), et enfin les différentes LED et le système *range and bearing* ainsi que les capteurs associés pour la partie communication.

Comme annoncé dans l'introduction, l'essaim de robots devra être simulé dans ARGoS, un simulateur de robots développé notamment par le département IRIDIA de l'ULB. Ce simulateur a besoin de deux fichiers pour lancer une expérience : un fichier XML qui permet de configurer l'arène et l'expérience en général (moteur physique, capteurs et actuateurs disponibles, ...) [CMFL10] d'une part, et un fichier dictant le (même) comportement individuel de chaque robot d'autre part. Pour l'instant, les instructions peuvent être écrites soit en C++, soit en Lua.

3.2 Choix du langage informatique

D'une part, les principaux avantages de C++, notamment, sa rapidité exécution et ses nombreuses librairies, ne sont pas primordiaux dans le cadre de ce projet. De plus, il nous est moins familier que Lua qui se rapproche fortement de python tant au niveau de la syntaxe que de l'approche fonctionnelle.

Lua étant un langage de scripting, il est plus adapté aux besoins du groupe car la réalisation du projet passe par de nombreuses petites expérimentations mais ne devrait pas aboutir à un comportement final comportant de très nombreuses lignes de code. En effet, ce type de langage permet de concevoir des prototypes de programmes rapidement.

Enfin sa simplicité et sa lisibilité sont des aspects très importants dans un travail de groupe où chacun doit être capable de comprendre et d'améliorer le comportement en développement [SER13, MAU13].

Au vu des raisons énoncées ci-dessus, Lua a été choisi comme langage de programmation.

3.3 Structure d'un comportement en Lua

Le *template* de code fourni par ARGoS présenté plus bas montre les deux fonctions les plus importantes parmi celles exigées par ARGoS. La fonction *init* qui est éxécutée une fois par chaque footbot au début de l'expérience, et la fonction *step* qui est éxécutée par chaque footbot à chaque pas de la simulation. C'est bien évidemment cette fonction *step* qui représente presqu'entièrement le comportement du robot. Deux types d'évènements peuvent modifier la façon dont cette fonction step s'éxécute : d'une part, les percepts ayant lieu au cours du pas de simulation, et d'autre

part un ensemble de variables globales (qui survivent après l'éxécution de la fonction *step* et sont donc accessibles par les instances suivante de cette fonction) qui détermine entièrement l'état du robot lorsque celui-ci entame ce pas de simulation. Enfin, la fonction step peut agir en retour sur ces variables d'état. [Pin]

Listing 3.1 – Structure de base d'un comportement en Lua

```
--[[ This function is executed every time
     you press the 'execute' button ]]
function init()

end

--[[ This function is executed at each time step
     It must contain the logic of your controller ]]
function step()

end
```

Chapitre 4

Déplacement et évitement d'obstacles

Comme il a été présenté dans l'introduction sur l'intelligence artificielle, et vu en pratique dans la structure de base d'un comportement Lua interprétable par ARGoS, un footbot exécute à chaque step une séquence d'opérations. On peut distinguer dans cette séquence trois types d'opérations (cf chapitre 2) : l'écoute des capteurs, la prise de décision et les interactions sur l'environnement par l'intermédiaire des effecteurs, que l'on nommera ici simplement sous le nom d'actions. Ces actions sont donc limitées et déterminées par les effecteurs dont dispose le robot et qui sont décrits au chapitre 3. Dans ce chapitre-ci, l'un des effecteurs primordiaux d'un footbot sera examiné : son déplacement.

4.1 Aspects physiques du déplacement

Tout d'abord, il est intéressant de se pencher sur le lien entre les paramètres physiques du robot et la manière dont celui-ci peut effectuer l'action simple «se rendre d'un point A à un point B» dans le cas où le robot agit seul dans un environnement sans obstacles. Ensuite, nous verrons comment le robot peut s'accommoder des obstacles (fixes, prévisibles) et autres robots (mobiles, imprévisibles) à partir d'une ou plusieurs de ces actions simples.

L'effecteur dont un footbot dispose afin de se déplacer est une paire de roues dont les vitesses peuvent être fixées de manière indépendante. A chaque instant, les seuls deux mouvements auxquels peut accéder le robot sont donc une translation parallèle aux roues et une rotation autour d'un point au milieu de l'axe des roues. La mécanique [LD06] nous indique que la composition de ces deux mouvements est

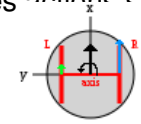


FIGURE 4.1 – Signification physique de v_r, v_l, v_g et ω_g [Pin]

suffisante pour permettre au robot de se déplacer librement dans un plan mais surtout, elle nous donne la relation entre les vitesses des deux roues et la vitesse générale ainsi que la vitesse de rotation du robot :

$$\begin{cases} v_g = \frac{v_r + v_l}{2} \\ \omega_g = \frac{v_r - v_l}{l_{axe}} \end{cases} \tag{4.1}$$

4.2 Déplacement sans obstacles

A partir de cette loi des vitesses, il est aisé de construire un algorithme permettant à un robot de converger vers sont but selon une trajectoire souple et à vitesse constante.

Algorithm 4.1 Convergence with no obstacle avoidance

Require: $SPEED \equiv$ Fixed speed of the footbot > 0
Require: Goal in arena
Ensure: footbot converges towards the goal at speed $SPEED$
  while goal not reached **do**
    update footbot position and orientation
    calculate $\theta \equiv$ angle between the direction of the goal from the footbot and footbot orientation
    $right\ velocity \leftarrow$ convergence(θ, $SPEED$)
    $left\ velocity \leftarrow 2 \times SPEED - right\ velocity$ ▷*so that overall speed stays equal to SPEED*
  end while

Où convergence($\theta, SPEED$) fixe la convergence du robot vers son goal. Elle doit satisfaire :

$$\begin{cases} convergence(0, SPEED) = SPEED \\ convergence(\overbrace{0 < \theta \leq \pi}^{\text{goal à gauche du robot}}, SPEED) > SPEED \\ convergence(\overbrace{0 > \theta \geq -\pi}^{\text{goal à droite du robot}}, SPEED) < SPEED \end{cases} \tag{4.2}$$

Pour une fonction convergence($\theta, SPEED$) donnée satisfaisant à cette condition (par exemple dépendance linéaire en θ), le footbot peut donc se rendre d'un point A à un point B, tant qu'il ne rencontre pas d'obstacles sur son trajet. Notons que cet algorithme s'intègre particulièrement bien dans la fonction *step* demandée par ARGoS. Dans notre projet nous avons choisi

$$convergence(\theta, SPEED) = \begin{cases} \left(\frac{\pi - |\theta|}{\pi}\right)^{\kappa} \times SPEED & \text{si } \theta \geq 0 \\ \left(2 - \left(\frac{\pi - |\theta|}{\pi}\right)^{\kappa}\right) \times SPEED & \text{si } \theta < 0 \end{cases}$$

Où $\kappa > 0$ est un paramètre qui fixe l'intensité de la convergence.

4.3 Évitement *greedy* d'obstacles lointains

Une première manière de permettre au robot d'éviter des obstacles est d'activer le capteur *distance scanner* longue distance qui permet de détecter des obstacles jusqu'à 150cm du footbot. Un évitement très efficace mais parfois trop gourmand consiste alors à chercher à chaque pas la direction la plus proche de la direction du goal et pour laquelle l'obstacle repéré est le plus éloigné du robot (ou non existant) et à converger vers celle-ci. Ceci permet au robot d'éviter plusieurs obstacles à la fois, tout en gardant une trajectoire très optimisée.

Algorithm 4.2 Convergence with greedy obstacle avoidance

while goal not reached **do**
  update footbot position and orientation
  find $\theta \equiv$ angle between footbot orientation and best direction (closest to goal, least obstacles)
  $right\ velocity \leftarrow$ convergence(θ, $SPEED$)
  $left\ velocity \leftarrow 2 \times SPEED - right\ velocity$ ▷*so that overall speed stays equal to SPEED*
end while

La fonction convergence doit satisfaire au mêmes contraintes que précédemment et reste inchangée dans notre projet. Pour que l'évitement soit efficace, il faut que κ soit assez élevé pour que le footbot s'oriente rapidement vers la direction optimale. Malgré cela, cet évitement reste très *greedy*, dans le sens ou chercher absolument la direction la plus proche de celle du but peut mener à des collisions à cause de différents facteurs et approximations (footbot de taille non nulle, rayons du *distance scanner* parfaitement tangent à un obstacle, *distance scanner* ne faisant pas une mesure par direction à chaque pas, nombre de directions mesurées bien évidemment fini, ...). Une première manière de pallier à cela est de regrouper plusieurs mesures voisines en gardant systématiquement la mesure la moins optimiste. Magré cela, un évitement plus sûr d'obstacles proches est aussi nécessaire pour limiter le plus possible les collisions.

Cet évitement d'obstacles est directement utilisé dans notre projet. Son implémentation est détaillée dans l'annexe 4.A.1

4.4 Evitement sûr d'obstacles proches

La manière la plus directe de permettre au footbot d'éviter des obstacles ou autres robots lorqu'ils sont dangereusement proches est d'alors exécuter une routine d'évitement à la place de la routine de convergence précédente.

Algorithm 4.3 Convergence with close obstacle avoidance

Ensure: footbot converges towards the goal at speed $SPEED$ while avoiding obstacles
  while goal not reached **do**
    update footbot position and orientation
    read proximity sensors ▷*or whatever other sensor in use*
    if no obstacles too close **then**
      do previous convergence
    else
      $right\ velocity \leftarrow$ avoidance(proximity sensor reading, $SPEED$)
    end if
    $left\ velocity \leftarrow 2 \times SPEED - right\ velocity$ ▷*so that overall speed stays equal to SPEED*
  end while

Où avoidance(proximity sensor reading, $SPEED$) fixe la routine d'évitement du robot. Son implémentation est très libre et peut fortement varier en fonction du capteur utilisé pour détecter les obstacles. On peut par exemple utiliser le senseur *proximity* du footbot, qui associe à 24 directions autour du robot une valeur entre zéro et un : une valeur zéro indique qu'aucun obstacle n'est perçu à moins de 10cm dans la direction donnée tandis qu'une valeur supérieure indique qu'un objet a été détecté. Cette valeur augmente au fur et à mesure que le robot se rapproche de l'obstacle. [Pin]

Dans notre projet nous avons choisi

$$avoidance(dir, prox) = \begin{cases} \frac{-\alpha+(1-prox)^{\beta}\cdot dir}{11} SPEED & \text{si } dir \leq 12 \\ \frac{(22+\alpha)-(1-prox)^{\beta}\cdot(25-dir)}{11} SPEED & \text{si } dir \geq 12 \end{cases}$$

Où $1 \leq dir \leq 12$ est la direction de l'obstacle perçu le plus proche et $0 \leq prox \leq 1$ donne la proximité de cette obstacle. Comme présenté plus haut, ce sont les deux informations dont on dispose si l'on utilise le capteur de proximité. $1 \leq \alpha \leq 12$ est un paramètre qui fixe l'influence de la direction de l'obstacle le plus proche et $0 \leq \beta$ fixe l'influence de la proximité de cette obstacle. Cet évitement est partiellement tiré des exemples fourni sur le site du cours présentant ARGoS [Pin].

4.5 Evitement intermédiaire

Additionnellement, il est possible d'utiliser le capteur *short range* du *distance scanner* pour que le robot puisse déjà commencer à dévier sa trajectoire s'il détecte des obstacles proche de moins de 30cm [Pin]. Ceci permet de déclencher plus tôt le même évitement aux constantes numériques près (évitement moins brusque) que ci-dessus. Cet évitement est beaucoup moins *greedy* que le premier évitement présenté, tout en étant forcément plus souple que l'évitement «d'urgence» précédent.

De plus, les capteurs *short range* et *long range* sont des capteurs rotatifs, ce qui signifie que la table des mesures n'est pas complètement renouvelée à chaque pas [1]. Les deux capteurs étant orientés perpendiculairement, il est donc avantageux de les utiliser tous les deux afin de ne pas avoir de direction pour laquelle la dernière mesure est «trop vieille».

Grâce à aux différentes routines élémentaires présentées ci-dessus, il est donc possible de construire une résoudre la partie déplacement du cahier des charges. L'implémentation détaillée des routines d'évitement supplémentaire est donnée dans l'annexe 4.A.2

4.6 Déplacement selon un chemin précalculé

Il est cependant possible d'améliorer cette solution en fonction de la connaissance de son environnement dont dispose le robot. Ainsi, dans le cas omniscient ou si le robot est capable de construire une carte de son environnement reprenant la position des différents obstacles il peut-être judicieux d'utiliser un algorithme de recherche du plus court chemin. La manière la plus directe de faire est de donner au footbot une liste de goal successifs qui le mèneront au goal final. Ceci permet de réutiliser facilement les algorithmes déjà présentés tout en étant parfaitement compatible avec les valeurs de retour typiques d'un algorithme de recherche du plus court chemin. En effet, la plupart des recherches du plus court chemin utilisent une représentation en graphe d'un environnement. La valeur de retour d'une telle recherche est donc une liste des nœuds qu'il faut parcourir dans le graphe afin d'arriver au but final, ce qui est précisément ce que cet algorithme fait.

L'implémentation de l'algorithme de recherche du plus court chemin qui fournit intermediate goals list est un problème à part entière. Avant de l'examiner plus en détail, il faut noter que malgré l'utilisation d'une recherche du plus court chemin qui devrait a priori permettre d'éviter les obstacles, le test d'obstacle est toujours présent, ainsi que la possibilité d'évitement. Il est évident que ceci est fait pour permettre d'éviter des objets inattendus tels que d'autres robots, par exemple. Cependant, on peut dès lors se demander

1. D'où la nécessité de rafraîchir les tables de mesures de la manière qui est faite au listing 4.3

Algorithm 4.4 Convergence with path finding

Require: intermediate goals list ≡ list of points which lead to the goal while avoiding the obstacles
Ensure: footbot goes to goal while avoiding obstacles
  for intermediate goal in intermediate goals list **do**
    while intermediate goal not reached **do**
      update footbot position and orientation
      read proximity sensors ▷*or whatever other sensor in use*
      if no obstacles too close **then**
        do greedy avoidance
      else
        do close obstacle avoidance
      end if
    end while
  end for

s'il ne faudrait pas aussi chercher de nouveau un plus court chemin après un évitement imprévu ou si le robot a dévié d'une distance significative de sa trajectoire prévue.

4.6.1 Recherche du plus court chemin

Algorithme A*

[wik13a]

En informatique, A* est un algorithme informatique qui consiste à mettre en place un processus de traçage d'un chemin traversable efficace entre des points. Les points sont considérés comme des noeuds.

A* utilise une «best-first» recherche et trouve le chemin possédant le moindre coût à partir d'un nœud initial donné à un nœud but.

Pour cela, il utilise une fonction de coût pour déterminer l'ordre dans lequel les visites de recherche des nœuds de l'arbre vont s'effectuer. Cette fonction de coût est la somme de deux autres fonctions. La fonction coût de la trajectoire passée qui est la distance connue à partir du nœud de départ au dernier parcouru lors de la recherche. Et la fonction coût du chemin futur qui est une estimation heuristique de la distance entre le dernier nœud parcouru et le nouveau nœud à atteindre .

Cet algorithme possède quand même des limites. Il est effectivement efficace dans le cas où l'on considère les robots comme omniscient, connaissant l'environnement et, donc, connaissant la position de la source et des obstacles se trouvant dans l'environnement. Dans le cas de non-

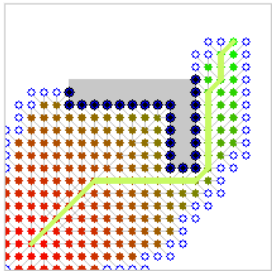


FIGURE 4.2 – Représentation d'une éxécution de A*[wik13a]

omniscience, l'arène est inconnue et on ne possède aucunes données à propos de celles-ci. Et c'est ici que se trouve le plus grand défaut de l'algorithme A*.

A* détermine un chemin complet de nœuds pour arriver d'un noeud départ à un noeud but. Lorsqu'il ne possède pas de données complètes à propos de l'arène, il est bloqué lors de son exécution et ne peut donc pas déterminer le chemin que doit suivre le robot. Il faudra adapter l'algorithme A* afin de remédier à ce problème.

Algoritme de Dijkstra

[wik13c]

L'algorithme de Dijkstra est un algorithme servant à résoudre le problème du plus court chemin. Le principe de l'algorithme est le suivant :

Il s'agit de mettre en place progressivement un sous-graphe dans lequel sont classés les différents sommets. Un ordre croissant est établit entre les sommets et il est fixé en fonction de la distance minimale qui éloignent ces sommets à celui de départ. Cette distance correspond à la somme des nœuds parcourus.

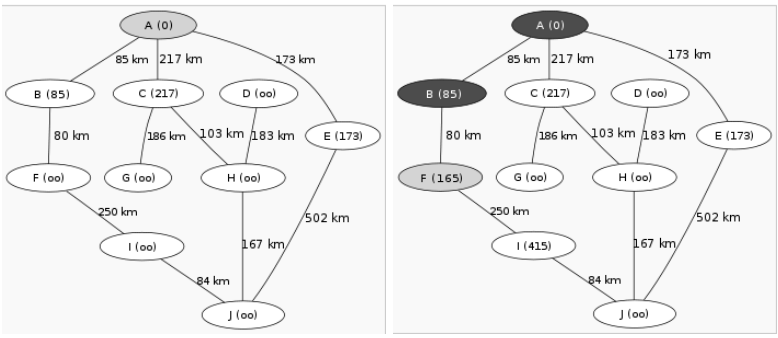
Au début, les distances de chaque sommet par rapport au sommet de départ sont considérées comme infinie et on attribue à celui-ci une distance de 0.

Ensuite, au cours de chaque itération, les distances des sommets reliés par un nœud au dernier du sous-graphe sont mis à jour. Cette mis à jour consiste à ajouter la valeur du nœud à la distance séparant le sommet de départ à ce dernier sommet. Après cette mise à jour, l'ensemble des sommets, ne faisant pas partis du sous-graphe, sont examinés et celui qui possède la distance minimal y est ajouté.

Enfin, on répète l'exécution jusqu'à l'épuisement des sommets ou jusqu'à la sélection du sommet d'arrivée. Voici 3 figures qui représentent un exemple du principe utilisé. Le but est de trouver le plus court chemin entre le point A et le point J. Comme dit précédemment, après chaque mise à jour, le sommet possédant la distance minimale est rajouté au sous graphe. La figure 4.3 représente bien cela.

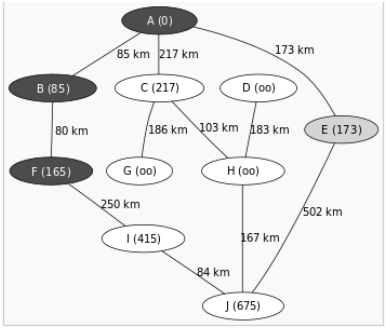
En effet, le sommet E est rajouté au sous graphe et non le sommet I car la distance à parcourir entre A et E est plus petite que entre A et I.

Il faut souligner que cet algorithme possède le même inconvénient qu'A*.



(a) Mise à jour initiale

(b) Mise à jour et construction du sous-graphe



(c) Mise à jour et graphe final

FIGURE 4.3 – Représentation d'une éxécution de Dijkstra [wik13c]

Annexe 4.A Implémentation du déplacement en Lua

4.A.1 Evitement *greedy*

Listing 4.1 – Initialisation

```
function init()
  robot.distance_scanner.enable()
  robot.distance_scanner.set_rpm(SCANNER_RPM)
  obstaclesTable={}
  for i=-PI+PI/DIR_NUMBER, PI-PI/DIR_NUMBER, 2*PI/DIR_NUMBER do
    obstaclesTable[i]=151
  end
  goalX=SOURCEX
  goalY=SOURCEY
end
```

Listing 4.2 – Structure générale

```
function step()
  odometry()
  obstaclesTable=updateObstaclesTable(obstaclesTable)
  move(goalX,goalY,obstaclesTable)
end
```

Listing 4.3 – Rafraîchir la table des mesures à chaque pas

```
function updateObstaclesTable(tabl, which)
  --tabl: the obstacleTable to refresh
  --(obstaclesTable or shortObstaclesTable)
  --which (string): which sensor to use
  --("short_range" or "long_range")
  local sensor, reading, angle, value, rAngle, rDistance
  for angle, value in pairs(tabl) do
    newValue=false
    for sensor, reading in pairs(robot
                                 .distance_scanner
                                 [which]) do
      rAngle = reading.angle
      rDistance=reading.distance
      if rDistance == -2 then rDistance=151 end
      if rDistance == -1 then rDistance=0 end
      if abs(angle-rAngle)<PI/DIR_NUMBER then
        if value>rDistance or not newValue then
          tabl[angle]=rDistance
          newValue = true
        end
      end
    end
  end
  return tabl
end
```

Listing 4.4 – Fonction move

```
function move(goalX,goalY,obstaclesTable)
  local goalDirection=findGoalDirection(posX,posY,goalX,goalY)
  local goalAngle=findGoalAngle(goalDirection, alpha)
  obstacleAvoidance(goalAngle, obstaclesTable)
end
```

Listing 4.5 – Trouver la direction du goal vu du footbot

```
function findGoalDirection(posX, posY, goalX, goalY)
  local deltaX=goalX-posX
  local deltaY=goalY-posY
  local goalDirection=math.atan(deltaY/deltaX)
  if deltaX<0 then
    goalDirection=goalDirection+PI
  end
  if goalDirection<0 then
    goalDirection=goalDirection+2*PI
  end
  return goalDirection
end

function findGoalAngle(goalDirection,alpha)
  local goalAngle=goalDirection-alpha
  if goalAngle>PI then
    goalAngle=goalAngle-2*PI
  end
  return goalAngle
end
```

Listing 4.6 – Trouver la direction optimale et la suivre

```
function obstacleAvoidance(goalAngle, obstaclesTable)
  local bestAngle, bestDistance, angle, distance
  bestDistance = -1
  for angle, distance in pairs(obstaclesTable) do
    if distance>bestDistance
       or (distance==bestDistance and not bestAngle)
       or (distance==bestDistance
         and abs(angle-goalAngle)<abs(bestAngle-goalAngle)) then
      bestDistance = distance
      bestAngle = angle
    end
  end
  getToGoal(bestAngle, CONVERGENCE)
end
```

Listing 4.7 – Fonction getToGoal

```
function getToGoal(angle, conv)
   if angle>=0 then --goal is to the left
      vLeft=speed*((PI-angle)/PI)^conv
      vRight = 2*speed-vLeft
```

```
  else --goal is to the right
    vRight=speed*((PI+angle)/PI)^conv
    vLeft = 2*speed - vRight
  end
  robot.wheels.set_velocity(vLeft, vRight)
end
```

4.A.2 Evitement d'obstacles proches

Listing 4.8 – Capteur supplémentaire

```
function step()
  ...
  emerProx, emerDir=readProxSensor()
  if emerProx>0 then
    emergencyAvoidance(emerProx, emerDir)
  else
  ...
end
```

Listing 4.9 – lecture du *proximity sensor*

```
function readProxSensor()
  local emerDir = 1
  local emerProx = robot.proximity[1].value
  for i=2,24 do
    if emerProx < robot.proximity[i].value
       or (emerProx == robot.proximity[i].value
           and abs(12-emerDir)<abs(12-i)) then
      emerDir = i
      emerProx = robot.proximity[i].value
    end
  end
  return emerProx, emerDir
end
```

Listing 4.10 – Fonction emergencyAvoidance

```
function emergencyAvoidance(emerProx,emerDir)
  local vLeft, vRight
  if emerDir <= 12 then --Obstacle is to the left
    vRight=((1-emerProx)^EMER_PROX_DEP*emerDir
            -EMER_DIR_DEP)
          *speed/11
    vLeft=2*speed-vRight
  else --Obstacle is to the right
    vLeft=((1-emerProx)^EMER_PROX_DEP*(25-emerDir)
           -EMER_DIR_DEP)
         *speed/11
    vRight=2*speed-vLeft
  end
  robot.wheels.set_velocity(vLeft, vRight)
```

```
end
```

Annexe 4.B Ajout d'une composante aléatoire à l'évitement

Chapitre 5

Comportement

Après s'être initialisé, chaque footbot éxécute a chaque pas une séquence d'opérations communes à tous les états possibles, suivie d'une séquence s'opérations propre à l'état courant.

Listing 5.1 – Fonction step

```
function step()
  local obstacleProximity, obstacleDirection, onSource,
        foundSource, backHome, gotSource,
        emerProx, emerDir
  obstacleProximity, obstacleDirection, onSource,
  foundSource, backHome, gotSource,
  emerProx, emerDir = doCommon()
  if emerProx>0 then
    emergencyAvoidance(emerProx, emerDir)
  elseif explore then
    doExplore(obstacleProximity, obstacleDirection,
              foundSource, gotSource)
  else
    doMine(obstacleProximity, obstacleDirection,
           onSource, backHome, foundSource)
  end
end
```

5.1 Opérations Communes

Les opérations communes à tous les états sont

- L'écoute des capteurs «vitaux» c'est-à-dire qu'ils peuvent complètement écraser l'état courant : capteur de proximité (déclenche l'évitement d'urgence) et batterie (force le footbot à rentrer au nid)
- L'écoute des autres capteurs qui par essence doivent toujours être consultés : capteur de position, de couleur du sol (permet au footbot d'enregistrer des nouvelles sources à tout moment) et communication entre robots (idem).

– Lecture du capteur *distance scanner (short range)* parce qu'il est utilisé en pratique quel que soit l'état du robot.

A part pour l'évitement d'urgence, toutes les décisions sont donc uniquement prises par les fonctions *doMine* et *doExplore*. La fonction *doCommon* se contente de leur envoyer des signaux sous la forme des diverses variables *onSource, backHome,...*.

L'implémentation détaillée de la fonction doCommon est donnée dans l'annexe 5.A. L'évitement d'urgence est celui présenté dans la section 4.4, tandis que pour retourner le plus rapidement possible au nid, le footbot utilise simplement le déplacement présenté au chapitre 4 avec pour goal le centre du nid.

5.2 Exploration

Tous les robots sont initialisés dans l'état *explore*. Dans cet état, ils se déplacent selon une méthode d'exploration donnée jusqu'à recevoir le signal *foundSource* ou *gotSource*. Le premier signal signifie que le footbot a lui-même trouvé une nouvelle source, tandis que le second signal indique qu'une nouvelle source lui a été transmise. C'est la fonction *doCommon* qui s'assure qu'une source potentielle est effectivement originale et la stocke alors dans la liste des sources connues. Cette liste est partagée avec les autres robots (voir section 5.4) et utilisée lorsque le robot est dans l'état *exploite*.

Dans le cas où le robot a trouvé une source, il passe directement dans l'état exploite. Par contre, dans le cas où le robot reçu une nouvelle source, il décide aléatoirement s'il continue à explorer ou s'il se met à exploiter la ou les ressources qu'il connaît. La communication entre robot étant relativement efficace, ceci permet d'éviter que tous les robots se contentent d'une unique source dès qu'un seul individu en a fait la découverte. Une amélioration possible serait de permettre au robot de passer de l'état *explore* à l'état *exploite* même en l'absence de découverte originale s'il estime avoir déjà passé trop de temps à explorer.

Le parcours d'exploration pris par le robot est une composante importante et complexe de l'efficacité de la phase d'exploration. Malheureusement, par manque de temps, nous avons dû nous limiter à un simple modèle de diffusion : les robots se déplacent en ligne droite et rebondissent sur tous les obstacles qu'ils rencontrent à la manière de simples particules. Ceci permet d'assurer que les robots migrent des zones les plus concentrées en footbots vers les zones les moins concentrées et que, plus globalement, les robots occupent tout l'espace disponible.

Ce modèle est assez satisfaisant en théorie et en pratique mais n'est pas tout à fait adapté pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la gestion de l'autonomie entraîne bien évidemment des retours fréquents des robots

vers le nid, ce qui annule en partie l'effet désiré d'homogénéiser la concentration de robots. Ceci devrait être mieux pris en compte. D'autre part, ce modèle permet d'éviter relativement bien l'exploration d'une même zone par un nombre élevé de robots, mais ne permet pas de réellement privilégier d'éventuelles «zones d'ombres» qui n'ont encore jamais été explorées. Cependant, le principal facteur limitant semble bien être la portée extrèmement limitée des capteurs de couleur de sol.

L'implémentation du modèle de diffusion est détaillée en annexe 5.B

5.3 Exploitation

Une fois passé dans l'état *exploite*, le footbot fait simplement des allers-retours entre une des ressources connues et le nid en suivant le modèle de déplacement présenté au chapitre 4. Les opérations communes ont toujours lieu et le footbot continue donc à communiquer avec les autres robots et à lire la couleur du sol. Il reste donc à traiter du choix de la source à exploiter.

A chaque fois qu'il est de retour au nid, le robot effectue ce choix avant de repartir exploiter une source. Pour ce faire, un indice de qualité est associé à chaque source connue. Le score d'une ressource influe sur la probabilité qu'a le robot de la choisir et cet indice est réévalué à chaque fois que le robot atteint la source en utilisant le pourcentage de batterie restant à ce moment (qui est directement lié au temps qu'à mis le robot à atteindre la source).

Listing 5.2 – Choix de la ressource à exploiter

```
function chooseNewSource(rscList)
  local sourceChosen=false
  local pickSource
  while not sourceChosen do
    pickSource=robot.random.uniform_int(1,#rscList+1)
    sourceChosen=robot.random.uniform()<rscList[pickSource].score
  end
  local x=rscList[pickSource][1]
  local y=rscList[pickSource][2]
  return pickSource,x,y
  --return ressource index as well to make
  --ressource evaluation easier later
end
```

Cette implémentation permettrait en plus très facilement au robot de recommencer à explorer l'arène si les sources disponibles sont estimées peu rentables. En effet, il suffit d'ajouter un compteur à la boucle while et de repasser dans l'état *explore* si cette ce compteur est atteint sans qu'une source ait été choisie. Cependant, il faudrait alors aussi permettre au footbot de changer d'état dans l'autre sens à d'autres occasions que seulement s'il

trouve ou reçoit une nouvelle source, comme il a été évoqué dans la section 5.2.

Les autres fonctions nécessaires à l'évaluation et au choix des ressources sont présentées dans l'annexe 5.C

5.4 Communication

5.5 Gestion de l'autonomie

Une condition sur l'autonomie des robots a été imposée : l'autonomie est fixée dans le temps, ce qui signifie que leur batterie se décharge de manière constante à chaque pas d'ARGoS. Une valeur chiffrée n'a pas été imposée, mais les robots doivent juste être capables d'effectuer un aller-retour vers un point le plus éloigné de leur nid de départ à leur vitesse de régime. Une fois la batterie écoulée, le robot est rendu incapable de se déplacer mais pourra peut-être être dépanné par un autre membre de l'essaim dans le futur.

Puisque pour le moment le seul but d'un robot est d'exploiter une ressource, celui-ci peut avorter un aller retour dès qu'il estime qu'il n'est plus capable d'atteindre son but et de revenir ensuite à son nid.

Algorithm 5.1 Battery handling

Require: $0 \leq battery \leq 100 :=$ the battery left of the robot
Ensure: footbot tries to get back to nest when current goal judged not safely reachable

1 **while** goal not reached **do**
2 update footbot position and battery
3 $cost \leftarrow evaluate\ cost(position,\ goal,\ [battery])$ ▷*The cost of what is left to do*
4 **if** $cost > battery$ **then**
5 $goal \leftarrow nest$ ▷*Get back to the nest. If the footbot is already on its way back, this doesn't do anything. Appropriate to try to get to the nest when you know you don't have enough to get there ?*
6 **end if**
7 **end while**

Où evaluate cost(position, goal, [battery]) est la fonction qui évalue l'énergie nécessaire à l'accomplissement du reste du trajet. On peut par exemple utiliser la distance à vol d'oiseau restante à parcourir accompagnée d'un facteur de sécurité, ou alors utiliser une approche heuristique utilisant le rapport entre la batterie utilisée jusqu'au step courant et le déplacement net parcouru vers le but.

En vue de la prochaine étape (la non omniscience des robots), le choix d'implémentation de la batterie autorise des sacrifices, c'est à dire, si un robot, étant à une position, estime devoir aller à une autre position et si sa batterie le lui permet, il ira à cette nouvelle position, sans toutefois vérifier qu'en y allant il pourra rentrer à la base recharger sa batterie. Ce choix favorise l'exploration de l'arène en mettant en avant la réussite de l'ensemble du groupe et non la réussite personnelle, pouvant être interprété comme la recharge de la batterie. Cependant des modifications doivent encore être apportées car nous ne pouvons nous permettre de sacrifier l'ensemble des robots, faute de quoi l'objectif ne sera pas atteint.

Annexe 5.A Opérations communes

5.A.1 Appels faits par *doCommon*

L'implémentation des fonctions appelées est donnée dans les sections traitant de ce que font ces fonctions (fonction *listen* ⇒ communication, . . .) à l'exception de *checkGoalReached*, qui détecte de nouvelles sources et qui est présentée ci-dessous.

Listing 5.3 – fonction doCommon

```
function doCommon()
  local obstacleProximity, obstacleDirection,
        onSource, foundSource, backHome, gotSource,
        emerProx, emerDir

  odometry()
  onSource, foundSource, backHome = checkGoalReached()
  gotSource = listen()
  shortObstaclesTable = updateObstaclesTable("short_range",
                                             shortObstaclesTable)
  obstacleProximity, obstacleDirection
  =closestObstacleDirection(shortObstaclesTable)

  battery=battery-BATT_BY_STEP
  backForBattery = backForBattery
                   or battery-batterySecurity
                              *BATT_BY_STEP
                              *math.sqrt(posX^2+posY^2)
                              /BASE_SPEED<10

  emerProx, emerDir=readProxSensor()
  if battery==0 then
    BASE_SPEED=0
    logerr("batt␣empty")
  end
  if currentStep%5000==0 then
    log(travels)
  end
  return obstacleProximity, obstacleDirection,
         onSource, foundSource, backHome,
         gotSource, emerProx, emerDir
end
```

5.A.2 Détection de nouvelle sources et du nid

Listing 5.4 – fonction checkGoalReached

```
function checkGoalReached()
  local foundSource, onSource, backHome=false,false,false
  if floorIsBlack() and math.sqrt((posX)^2+(posY)^2)>=90 then
```

```
    if  sourceIsOriginal(posX,posY, ressources) then
      ressources[#ressources+1]={posX,posY,score=.5}
      foundSource=true
    end
    onSource=true
  elseif  floorIsBlack() and math.sqrt((posX)^2+(posY)^2)<=70 then
    if  goalX==0 and goalY==0 then
      backHome=true
    end
    if  backForBattery then
      batterySecurity=updateBattCoeff(battery,batterySecurity)
      backForBattery=false
    end
    battery=100
  end
  return  onSource, foundSource, backHome
end
```

Listing 5.5 – Vérifier l'originalité de la source

```
function  sourceIsOriginal(x, y, rsc)
  local  i=1
  local  orgn=true
  while  i<=#ressources and orgn do
    orgn=(math.sqrt((rsc[i][1]-x)^2 + (rsc[i][2]-y)^2)>ORGN_SRC_DST)
    --just check if it's far enough from sources you already know
    i=i+1
  end
  return  orgn
end
```

Annexe 5.B Implémentation du modèle de diffusion

Listing 5.6 – Déplacement *gaslike*

```
function gasLike(obstacleProximity, obstacleDirection)
  local goalAngle
  if obstacleProximity < 30
     and not(obstacleDirection<-PI/2 or obstacleDirection>PI/2)
     and not wasHit then
    wasHit = true --/!\Not local: allows footbot to remember
                  --if it's already trying to reach an angle
    newDirection = alpha+rebound(alpha,obstacleDirection)
    newDirection=setCoupure(newDirection) --sets angle in [-PI,PI]
  end
  if wasHit then
    if abs(alpha-newDirection)<0.2 then --checks if angle is reached
      wasHit=false
    else
      goalAngle=newDirection-alpha
      goalAngle=setCoupure(goalAngle) --sets angle in [-PI,PI]
      getToGoal(goalAngle, EXPL_CONV)
      --EXPL_CONV is really high because we want to do sharp turns
    end
  else
    robot.wheels.set_velocity(BASE_SPEED,BASE_SPEED)
  end
end

function rebound(alpha, obstacleDirection)
  if obstacleDirection<=12 then --obstacle is to the left
    newAngle = -2*(PI/2-obstacleDirection)
  else
    newAngle = 2*(PI/2-obstacleDirection)
  end
  newAngle=setCoupure(newAngle) --sets angle in [-PI,PI]
  return newAngle
end
```

Annexe 5.C Implémentation du choix de ressource à exploiter

Listing 5.7 – fonction doMine

```
function doMine(obstacleProximity, obstacleDirection,
                onSource, backHome, foundSource)
  if onSource then
    if goalX~=0 and goalY~=0 then
    --if we don't check for this then
    --we reevaluate at every step we're on the source
      evalSource(sourceId, battery)
    end
    goalX=0
    goalY=0
  elseif backHome then
    sourceId,goalX,goalY=chooseNewSource(ressources)
    travels=travels+1
  end
  if backForBattery then
    move(obstaclesTable, obstacleProximity, obstacleDirection,0,0)
  else
    obstaclesTable = updateObstaclesTable("long_range",obstaclesTable)
    move(obstaclesTable, obstacleProximity, obstacleDirection,goalX,goalY)
  end
end
```

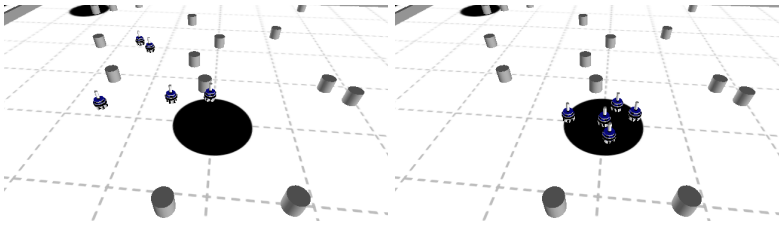
Listing 5.8 – Evaluation de la qualité de la source

```
function evalSource(sourceId, battery)
  if battery>70 then
    ressources[sourceId].score=ressources[sourceId].score
                              +(1-ressources[sourceId].score)
                                *battery/100
    --Ensures score<1
  else
    ressources[sourceId].score=ressources[sourceId].score
                              -ressources[sourceId].score
                                *(100-battery)/100
    --Ensures score>0
  end
end
```

Chapitre 6

Résultats obtenus

La première partie du projet consiste à installer ARGoS, guider un robot à un point donné et remplir l'objectif lorsque les robots sont omniscients comme le présente le cahier des charges [cah13]. Celle-ci a, en effet, été achevée. L'installation a été réalisée avec succès par tous les membres du groupe. Les robots parviennent aux points désignés tout en évitant les obstacles. De plus, ils peuvent, étant omniscients, faire des allers-retours entre le source et le nid. Les robots ont aussi la faculté de détecter une source grâce à ses senseurs et de tenir compte de l'épuisement de leur batterie. Ceci est illustré sur la figure 6.1. Dans le cas de la figure 6.1b, on peut observer les robots qui se dirigent vers la source. Sur l'autre figure, les robots sont de retour au nid.



(a) footbots allant à la source (b) footbots dans le nid

FIGURE 6.1 – Exécution d'ARGoS avec le comportement produit

La création d'une collaboration au sein de l'essaim, le choix et l'intégration d'une communication entre robots, font partie de la seconde partie du projet. A ce niveau, grâce à une études des déplacements de base, la non-omniscience des robots peut déjà être gérée et des recherches sur la communication entre robots ont déjà été faites comme présenté au chapitre 2.

Chapitre 7

Fonctionnement du groupe

7.1 Général

Le groupe est composé de 5 membres. Chaque membre a sa manière de travailler, de comprendre, de communiquer. Une des difficultés d'un travail d'équipe est de pouvoir combiner tous ces caractères pour que le projet se déroule dans les meilleures conditions et que chacun puisse trouver sa place. Donc pour comprendre le fonctionnement de chacun, chaque membre a dû présenter ses points forts et ses points faibles. Le but de cette démarche est de mettre en avant ses points forts et d'améliorer ses points faibles durant le projet. Des tensions sont tout de même survenues. En effet, le manque de communication a souvent mené de groupe à mal se coordonner.

7.2 Organisation

Le groupe se fixe une réunion par semaine. Les tâches à effectuer pour la prochaine réunion sont distribuées à la fin de celle-ci et notées dans les PV qui sont généralement envoyés dans les 48h. De rôles d'animateur et secrétaire sont réattribués toutes les 4 semaines. Pour diriger au mieux le projet, un diagramme de Gantt (cf. : annexe) a été conçu pour avoir une vision globale de l'avancé de celui-ci et également se fixer des dates butoirs.

7.3 Communication

Dans un premier temps, un groupe sur facebook a été créé. C'est un moyen simple et rapide de se communiquer les informations mais une communication par mail reste préférable. Pour le partage, des codes, des fichier et des sources des recherches, les dispositifs github, dropbox et zotero ont été mis en place. L'emploie de ces 3 dispositifs n'a pas encore

été exploité au mieux mais son apprentissage est bénéfique non seulement dans le cadre de ce projet mais également pour plus tard.

Chapitre 8

Conclusion

En conclusion, une compréhension de l'intelligence artificielle, du fonctionnement des robots et l'apprentissage de Lua ont permis d'atteindre les objectifs du 1er quadrimestre, ceux-ci étant de guidé les robots du nid à la source et de les programmer pour qu'ils puissent y faire des allers-retours. Les prochains objectifs à atteindre sont la mise en place d'un moyen de communication et d'exploration optimale l'environnement. Quelques options vont probablement être ajoutées dont l'introduction d'un système de priorité, dans le cas ou 2 robots cherchent à s'éviter, et une batterie se déchargeant de manière différente suivant l'état du robot (au repos ou en mouvement). De plus, une étude du comportement en essaim généré par notre code sera menée afin d'évaluer l'«intelligence de l'essaim».

Algorithmes

Listings

Table des figures

Bibliographie

[cah13] Cahier des charges project BA 2 – robots en essaim : explorez !, October 2013.

[CMFL10] C.Pinciroli, V.Trianni, R.O'Grady, G.Pini, A.Brutschy, M.Brambilla, N.Mathews, E.Ferrante, G.Di Caro, F.Ducatelle, T.Stirling, A.Gutiérrez, and L.M.Gambardella and M.Dorigo. ARGoS : a pluggable, multi-physics engine simulator for heterogeneous swarm robotics. Technical Report Technical Report No. TR/IRIDIA/2010-026, IRIDIA, Institut de Recherches Interdisciplinaires et de Développements en Intelligence Artificielle Université Libre de Bruxelles Av F. D. Roosevelt 50, CP 194/6 1050 Bruxelles, Belgium, December 2010.

[Dor07] Marco Dorigo. Swarm intelligence, October 2007. Available from : http://www.scholarpedia.org/article/Swarm_Intelligence.

[IFC06] Roberto Ierusalimschy, Luiz Henrique de Figueiredo, and Waldemar Celes. *Lua 5.1 reference manual*. Lua.org, Rio de Janeiro, 2006.

[LD06] Pierre Lambert and Alain Delchambre. *Mécanique rationelle II*. Presses Universitaire de Bruxelles, Bruxelles, 5ème edition, 2006.

[MAU13] Michel MAUNY. Langages de scripts. *Techniques de l'ingénieur Langages de programmation*, base documentaire : TIB304DUO.(ref. article : h3118), 2013. fre. Available from : http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/langages-de-programmation-42304210/langages-de-scripts-h3118/.

[MS08a] Kurt Mehlhorn and Peter Sanders. Graph traversal. In *Algorithms and Data Structures*, pages 175–189. Springer Berlin Heidelberg, January 2008. Available from : http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77978-0_9.

[MS08b] Kurt Mehlhorn and Peter Sanders. Shortest paths. In *Algorithms and Data Structures*, pages 191–215. Springer Berlin Heidel-

berg, January 2008. Available from : http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77978-0_10.

[Pat07a] Srikanta Patnaik. Navigation using a genetic algorithm. In *Robot Cognition and Navigation*, Cognitive Technologies, pages 59–76. Springer Berlin Heidelberg, January 2007. Available from : http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-68916-4_4.

[Pat07b] Srikanta Patnaik. Path planning. In *Robot Cognition and Navigation*, Cognitive Technologies, pages 39–58. Springer Berlin Heidelberg, January 2007. Available from : http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-68916-4_3.

[Pat07c] Srikanta Patnaik. Program for wandering within the workspace. In *Robot Cognition and Navigation*, Cognitive Technologies, pages 163–173. Springer Berlin Heidelberg, January 2007. Available from : http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-68916-4_10.

[Pin] Carlo Pinciro. Swarm intelligence course (INFO-H-414). Available from : http://iridia.ulb.ac.be/~cpinciroli/extra/h-414/.

[RND10] Stuart J Russell, Peter Norvig, and Ernest Davis. *Artificial intelligence : a modern approach*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2010.

[Rob07] Thomas G. Robertazzi. Fundamental deterministic algorithms. In *Networks and Grids Technology and Theory*, Information Technology : Transmission, Processing, and Storage, pages 161–191. Springer New York, January 2007. Available from : http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-68235-8_4.

[SER13] Manuel SERRANO. Langage c++. *Techniques de l'ingénieur Langages de programmation*, base documentaire : TIB304DUO.(ref. article : h3078), 2013. fre. Available from : http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/langages-de-programmation-42304210/langage-c-h3078/.

[Sha07] Amanda J. C. Sharkey. Swarm robotics and minimalism. *Connection Science*, 19(3) :245–260, 2007.

[TLD04] Vito Trianni, Thomas H. Labella, and Marco Dorigo. Evolution of direct communication for a swarm-bot performing hole avoidance. In Marco Dorigo, Mauro Birattari, Christian Blum, Luca Maria Gambardella, Francesco Mondada, and Thomas Stützle, editors, *Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence*, number 3172 in Lecture Notes in Computer Science, pages 130–141. Springer Berlin Heidelberg, January 2004. Available from : http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-28646-2_12.

[wik13a] A* search algorithm from wikipedia, the free encyclopedia, October 2013. Page Version ID : 579529277. Available from : http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=A*_search_algorithm&oldid=579529277.

[wik13b] Algorithme de colonies de fourmis from wikipedia, the free encyclopedia, November 2013. Page Version ID : 98616505. Available from : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Algorithme_de_colonies_de_fourmis&oldid=98616505.

[wik13c] Algorithme de dijkstra from wikipedia, the free encyclopedia, December 2013. Page Version ID : 98428897. Available from : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Algorithme_de_Dijkstra&oldid=98428897.