

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Mention Électronique
Spécialité Système de vision et robotique

présenté par

ABIDAT Razika

Contribution a l'implémentation de la localisation et cartographie de l'environnement d'un robot mobile

Proposé par : Mr B.KAZED

Année Universitaire 2016-2017

Remerciements

Je remercie avant tout, le bon Dieu tout puissant de nous avoir donné la volonté et le courage pour accomplir ce travail.

A travers ce modeste travail, je tiens à :

Remercier vivement mon encadreur MR B.kazed pour l'intéressante documentation qu'il a mis à ma disposition, pour les précieux conseils et pour toutes les commodités qu'il m'apportées durant notre étude et réalisation de ce projet.

Mes remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer mon travail.

J'exprime également mes gratitudes à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à ma formation durant mon cycle universitaire.

Sans omettre bien sûr de remercier profondément tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation du présent travail.

ABIDAT RAZIKA

Je dédie ce modeste travaille à ma famille.

A ma mère que je lui dis :

Maman je pense à toi car tu fais tout pour moi, c'est toi qui me soutient quand j'ai du chagrin tu m'aides à bien grandir et à m'épanouir je t'écris ces quelques mot pour te dire que je t'aime que dieu te garde pour nous tes enfants.

Cela fait exactement cinq ans que tu es partie personne ne te oublier chaque jour tu es au cœur de mes pensées bien que ton manque me fait mal je trouve que c'est terrible quand on perd ses parents à l'âge de dix ans, vingt ans et plus de quarantaine, aujourd'hui l'émotion est toujours là car quoi qu'on fasse un papa ça ne se remplace pas, que Dieu le tout puissant l'accueille dans son vaste paradis.

La plus belle chose qui me soit jamais arrivée c'est d'avoir rencontré des sœurs et des frères comme vous, vous avez été rentré dans ma vie pour j'espère ne jamais en sortir, que Dieu nous garde réuni.

A mon mari, à mes chères amours enfants Akram, Serine Imane, Nour et le petit Mohamed hamza, sachez que vous compté beaucoup pour moi que dieu vous protège, je vous aime.

Merci

ABIDA7 Razika

ملخص:

خوارزميات التعريب ورسم الخرائط المتزامنة (سلام). مسارات التخطيط للروبوت المحمول يتطلب خريطة وخوارزمية توطين وتختلف النهج الأساسية، سواء من حيث التمثيلية التي تم بناؤها، والتقنيات الحاسوبية. تجعل من الممكن بناء هذه الخرائط بشكل مستقل وأجهزة الاستشعار

كلمات المفاتيح : الروبوت ،خوارزميات التعريب ورسم الخرائط المتزامنة (سلام)، أجهزة الاستشعار

Résumé :

Planifier les déplacements d'un robot nécessite une carte et une méthode de localisation. Les algorithmes de SLAM (Simultaneous Localisation and Mapping) permettent de construire ces cartes de manière autonome. Les techniques employées sont variées, tant au niveau des représentations produites, des techniques algorithmiques que des capteurs utilisés.

Mots clés : robot, SLAM, capteurs.

Abstract :

Planning trajectories for a mobile robot requires a map and a localization algorithm. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) algorithms make it possible to construct these maps autonomously. The underlying approaches are varied, both in terms of constructed representations, algorithmic techniques and sensors.

Keywords : mobile robot, SLAM, sensors.

Glossaire

SLAM : Simultaneous localisation and mapping (localisations et cartographie simultanée).

$R = (o, x, y, \alpha)$: Reppert orthogonaux.

$R' = (o', x', y', \alpha')$: Reppert mobile lie au robot.

o' : le centre de l'axe des roues motrices.

M : l'espace.

m : dimension dans l'espace.

T : temps(s).

$x(t)$: equation de la posture du mobile par apport à xx' .

$Y(t)$: equation de la posture du mobile par apport à yy' .

$\theta(t)$: equation de la position angulaire dans le temps.

ε_o : Valeurs des mesures proprioceptives (odométrie) de la posture du robot.

ε_r : Valeurs des mesures extéroceptives (recalage) de la posture du robot.

ε : la position du robot par le moyennage.

σ : la variance.

d : distance réel.

d^* : distance mesurée.

$P()$: probabilité.

$P(d)$: normalisation.

P_f : Probabilité de mesures extéroceptives.

P_e : Probabilité de mesures contraintes.

Liste des figures :

1.1-Capteurs typiques d'un robot.....	05
1.2- Les robots mobiles.....	08
1.3-robot manipulateur.....	09
1.4-robot télémanipulateur.....	10
1.6- robot didactique.	12
1.7- robot mobile autonome.....	13
2.1 encodeur de points par tour.....	18
2.2 principe du systeme de localisation.....	19
2.3 – Gyroscope mécanique.....	20
2.4-une boussole.....	21
2.5 - télémètre infrarouge type Sharp.....	23
2.6-Télémètres ultrasonores.....	24
2.7 principe d'un Télémètres laser.....	25
3.1Repérage d'un robot mobile.....	28
3.2-déplacement d'un robot mobile dans le repère (x,y).....	32
3.3- déplacement d'une roue.....	33
3.4- position de l'obstacle dans les trois repères.....	35
3.5- architecture générale du SLAM.....	37
3.6-Recalage de données 3D projetées par l'algorithme ICP.....	38
3.7- Méthodes de triangulation à deux balises, avec mesure des angles de gisement...40	

3.8- Méthodes de triangulation à trois balises, sans mesure des angles de gisement.....	41
3.9 – Décomposition en cellules de taille fixe ou variable.....	47
3.10-montre un exemple d'une carte en nuage de points.....	52
3.11 -un exemple d'une carte des primitives géométriques (feature-based).	53
3.12-carte basé sur une grille d'occupation.	56
4.1- image du robot réalisé.....	61
4.3-illustration d'un moteur à courant continu.....	62
4.5- description de la carte arduino méga.....	63
4.6- schéma simple du positionnement de la carte.....	65
4.10- schéma significatif du principe d'un capteur infrarouge.....	66
4.11- la boussole cmpr03.....	68
4.12- batterie 12 volts.....	69
4.13- la courbe $d=k/v$	73
4.14- segmentation du graphe $d=k/v$	73
4.15- alignement de la fonction $d=k/v$	74
4.16- résultats obtenus après une rotation de 360°	78

TABLES DES MATIERES

Remerciement

Dédicaces

Glossaire

Résumé

Listes des figures

Tables des matières

Introduction générale.....01

CHAPITRE1. Définition et généralités

1.1-Definition d'un robot:.....04

1.2-Definition de la robotique :.....04

1.3-Composantes d'un robot mobile :.....05

1.4-Présentation des robots mobiles :07

1.5-Classification des robots :.....08

1.6-Caractéristiques d'un robot :.....14

1.7-conclusion :.....15

CHAPITRE2. Perception d'un robot

2.1-Introduction :.....17

2.2-Capteurs en robotique mobile.....17

2.3-conclusion :.....26

CHAPITRE3 MODELISATION :

3.1-definition :	28
3.2-Localisation :	29
3.3- Construction de carte :	45
3.4-Localisation et cartographie simultanées (SLAM)) :	48
3.5-le SLAM VISUEL :	57
3.6-conclusion :	58

CHAPITRE 4 TESTS ET RESULTATS :

4.1- Introduction :	60
4.2- composition du robot mobile :	60
4.3-programmation :	69
4-4-les avantages d'arduino :	75
4-5filtre médian.....	76
4-6-les étapes du programme arduino :	76
4.7-conclusion :	79
4.8-CONCLUSION Générale.....	80
Référence.....	82
Bibliographie.....	83

Introduction générale

Un robot mobile se caractérise par l'absence de lien mécanique avec un objet de référence ce qui ouvre librement la porte aux applications potentielles, se mouvoir dans un environnement suivre une trajectoire donnée détecter des objets, éviter les obstacles se comptent parmi les tâches courantes pour lesquelles un robot mobile est conçu ; un robot mobile doit être doté de la fonction perception dont le rôle est de fournir un ensemble d'informations nécessaires pour la partie pratique de notre étude.

Dans cette étude, nous décrivons la méthodologie et les approches techniques utilisées pour effectuer des localisations et la cartographie simultanée (SLAM) en utilisant un robot mobile mené d'une carte arduino et un capteur.

Localisation et cartographie simultanées (SLAM) est une partie très importante en robotique. SLAM aborde le problème de la construction d'une carte d'un environnement à partir d'une séquence de mesures historiques obtenues à partir des capteurs d'un robot mobile. Puisque le mouvement du robot est sujet à l'erreur, le problème de la cartographie induit nécessairement un problème de localisation de ce dernier.

Le but de notre étude est de tracer une cartographie des obstacles présent dans un environnement par l'application Matlab à l'aide des informations fournis par les capteurs passant par la carte arduino, ce travail comporte quatre chapitres :

Le premier comporte des définitions et des généralités sur les robots.

Le deuxième déduit les différents composants d'un robot.

Le troisième, il s'agit de l'étude odométrique du robot.

Le quatrième chapitre c'est la partie pratique de notre étude avec la réalisation de se
derniers et les différents manipulations exécuté avec des résultats.

Et nous terminant notre travaille avec une conclusion générale de notre sujet

Localisation et cartographie simultanées (SLAM).

CHAPITRE 1

Définitions et généralités

Chapitre1 Définitions et généralités

1.1 -DEFINITION D'UN ROBOT :

Un robot est un dispositif mécatronique (alliant mécanique, électronique et informatique) conçu pour accomplir automatiquement des tâches dans un domaine précis. La conception de ces systèmes et l'objet d'une discipline scientifique, branche de l'automatisme nommé robotique.

Le terme robot apparaît pour la première fois dans la pièce de théâtre (science-fiction) de l'auteur Karel Čapek . Le mot a été créé par son frère Josef à partir du mot tchèque « *robota* » qui signifie « travail, besogne, corvée ».

Les premiers robots industriels apparaissent, malgré leur coût élevé, dans le début des années 1970. Ils sont destinés à exécuter certaines tâches répétitives, éprouvantes ou toxiques pour un opérateur humain : peinture ou soudage des carrosseries automobiles. Aujourd'hui, l'évolution de l'électronique et de l'informatique permet de développer des robots plus précis, plus rapides ou avec une meilleure autonomie. Industriels, militaires ou spécialistes chirurgicaux rivalisent d'inventivité pour mettre au point des robots assistants les aidant dans la réalisation de tâches délicates ou dangereuses. Dans le même temps apparaissent des robots à usages domestiques : aspirateur, tondeuses, etc.

1.2-DEFINITION DE LA ROBOTIQUE :

La robotique peut être définie comme l'ensemble des techniques et études tendant à concevoir des systèmes mécaniques, informatiques ou mixtes, capables de se substituer à l'homme dans ses fonctions motrices, sensorielles et intellectuelles.

1.3-COMPOSANTES D'UN ROBOT MOBILE :

Un robot mobile est constitué de composantes matérielles et logicielles. Parmi les composantes matérielles, on retrouve une plateforme mobile à laquelle sont rattachées toutes les autres composantes comme les capteurs, les actionneurs et une source d'énergie (batteries).

1.3.1- Capteurs :

Les capteurs ont pour fonction d'acquérir des données provenant de l'environnement. Les capteurs typiquement installés sur un robot mobile sont des sonars à ultrasons, un capteur laser de proximité, des encodeurs de roues (odomètres), une ou deux caméras optiques et des microphones. Les types d'informations perçues ainsi que leur précision varient beaucoup d'un capteur à l'autre.

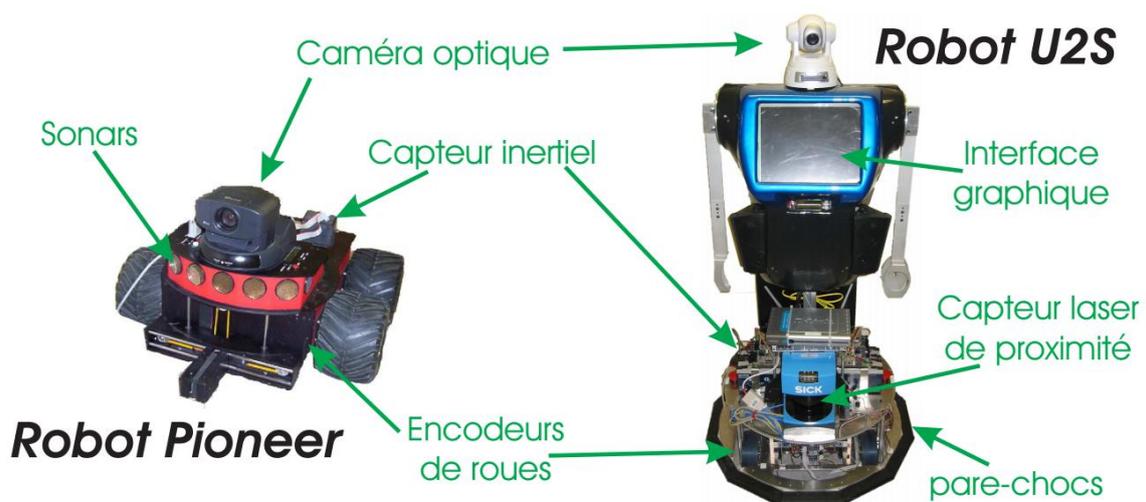


Figure 1.1-Capteurs typiques d'un robot.

Chapitre1 Définitions et généralités

1.3.2-Actionneurs :

Pour bouger à l'intérieur de son environnement et interagir avec celui-ci, un robot est équipé d'actionneurs. Par exemple, un robot est muni d'un ou de plusieurs moteurs pouvant faire tourner ses roues afin d'effectuer des déplacements. Généralement, les roues du robot sont contrôlées par deux commandes motrices, soit une vitesse d'avancement et un taux de rotation. Habituellement, ces commandes s'expriment en mètres par seconde (m/s) et en degrés de rotation par seconde (deg/s).

1.3.3-Modules logiciels :

Afin de faire fonctionner un robot mobile, plusieurs modules logiciels sont mis à contribution. Ces modules peuvent servir à interpréter les données perçues par les capteurs afin d'en extraire des informations, ou à traiter des commandes de haut niveau pour générer d'autres commandes à un niveau inférieur. Les modules les plus fréquemment utilisés sont les modules de localisation, de navigation, de vision, d'audio et de séquençement d'activités du robot.

1.3.4-Localisation :

L'une des fonctions les plus importantes pour un robot est celle d'être capable de se localiser dans son environnement. À partir des données fournies par les capteurs, le module de localisation estime la position courante du robot. Cette position est exprimée par un triplé (X, Y, θ) représentant une position et une orientation sur un plan à deux dimensions.

Chapitre1 Définitions et généralités

1.3-5-Vision :

En analysant les images captées par les caméras, on peut extraire une multitude d'informations. Par exemple, à l'aide d'un algorithme de segmentation, on peut reconnaître des objets de couleur en plus d'estimer leur position relative (angle) par rapport à la vue de la caméra. À l'aide de techniques de vision tridimensionnelle, il est aussi possible d'estimer certaines distances dans l'environnement. On peut aussi reconnaître des symboles, des caractères et lire des messages, comme des affiches dans un corridor, des signaux de direction, ou des badges de conférence.

1.3-6-Navigation :

Un module de navigation est responsable de déplacer un robot de sa position courante vers une destination désirée de façon sécuritaire et efficace. En plus d'inclure des fonctions de perception de l'environnement et de localisation, le module de navigation a aussi la responsabilité de trouver un chemin reliant la position d'origine et la destination, formé d'une liste de points intermédiaires à atteindre, et de guider le robot à travers ce chemin.

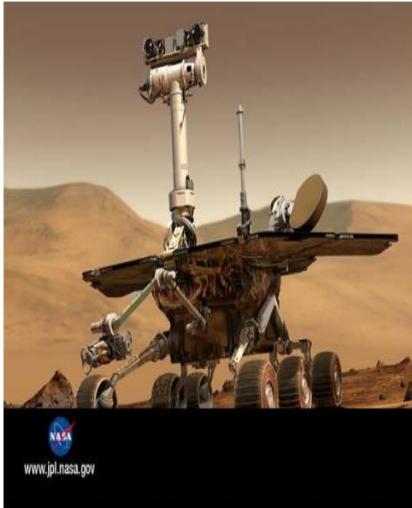
1.4-Présentation des robots mobiles :

Généralement on désigne par l'appellation '*robots mobiles*' l'ensemble des robots à base mobile à roues. Les autres robots mobiles sont en effet le plus souvent désignés par leur type de locomotion, qu'ils soient marcheurs, sous-marins ou aériens.

L'intérêt indéniable de la robotique mobile est d'avoir permis d'augmenter considérablement nos connaissances sur la localisation et la navigation des systèmes autonomes. La gamme des problèmes potentiellement soulevés par le plus simple des robots mobiles à roues en fait un sujet d'étude à part entière et forme une excellente base

Chapitre1 Définitions et généralités

Pour l'étude de systèmes mobiles plus complexes.



1.2- Les robots mobiles

1.5-Classification des robots :

On distingue 3 types de robot :

Chapitre1 Définitions et généralités

1.5.1- Les manipulateurs :

- Les trajectoires sont non quelconques dans l'espace,
- Les positions sont discrètes avec 2 ou 3 valeurs par axe,
- La commande est séquentielle.



Figure1.3 robot manipulateur

Chapitre1 Définitions et généralités

1.5.2- Les télémanipulateurs :

Appareils de manipulation à distance (pelle mécanique, pont roulant), apparus

Vers 1945 aux USA.

- Les trajectoires peuvent être quelconques dans l'espace.
- Les trajectoires sont définies de manière instantanée par l'opérateur.

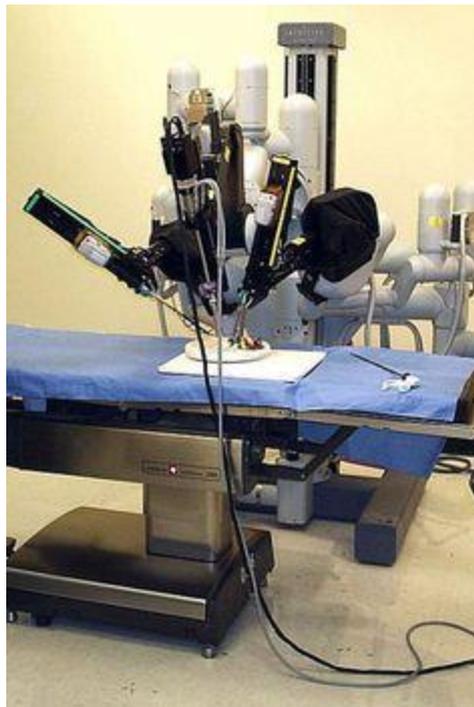


Figure1.4 robot télémanipulateur

1.5.3- Les robots :

- Les trajectoires peuvent être quelconques dans l'espace.
- L'exécution est automatique.
- Les informations extéroceptives peuvent modifier le comportement du robot.

Pour cette dernière classe, on peut distinguer :

a- Les robots manipulateurs industriels :

Chargés de manipuler, soient :

*Des pièces :

Stockage – déstockage,

Chargement – déchargement de machine-outil,

Manipulation d'éprouvettes,

Assemblage de pièces, ...

*Des outils :

Soudure en continu ou par points,

Peinture,

Collage,...

Chapitre1 Définitions et généralités

b- Les robots didactiques :

Qui sont des versions au format réduit des précédents robots. La technologie est différente, de même que les constructeurs. Ils ont un rôle de formation et d'enseignement, ils peuvent aussi être utilisés pour effectuer des tests de faisabilité d'un poste robotisé.

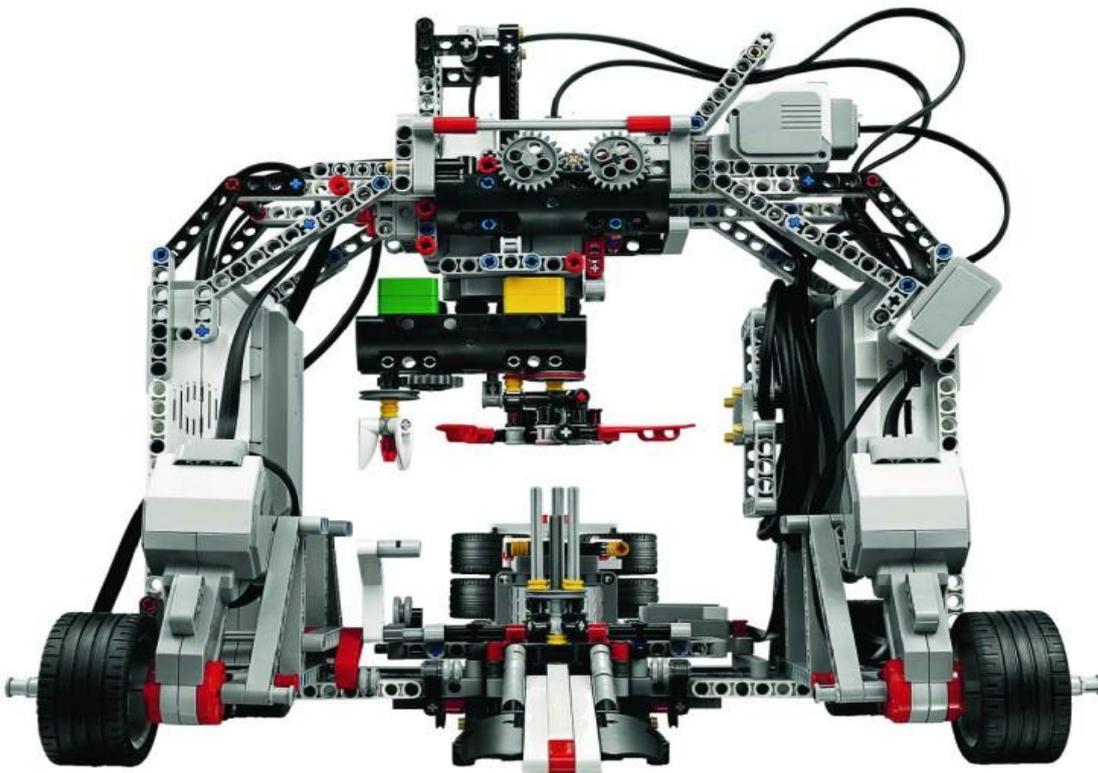


Figure1.6- robot didactique

Chapitre1 Définitions et généralités

c- Les robots mobiles autonomes :

Ils peuvent être utilisés en zone dangereuse (nucléaire, incendie, sécurité civile, déminage), inaccessible (océanographie, spatial). De tels robots font appel à des capteurs et à des logiciels sophistiqués. On peut distinguer 2 types de locomotion :

Les robots *marcheurs* : qui imitent la démarche humaine.

Les robots *mobiles* : qui ressemblent plus à des véhicules.

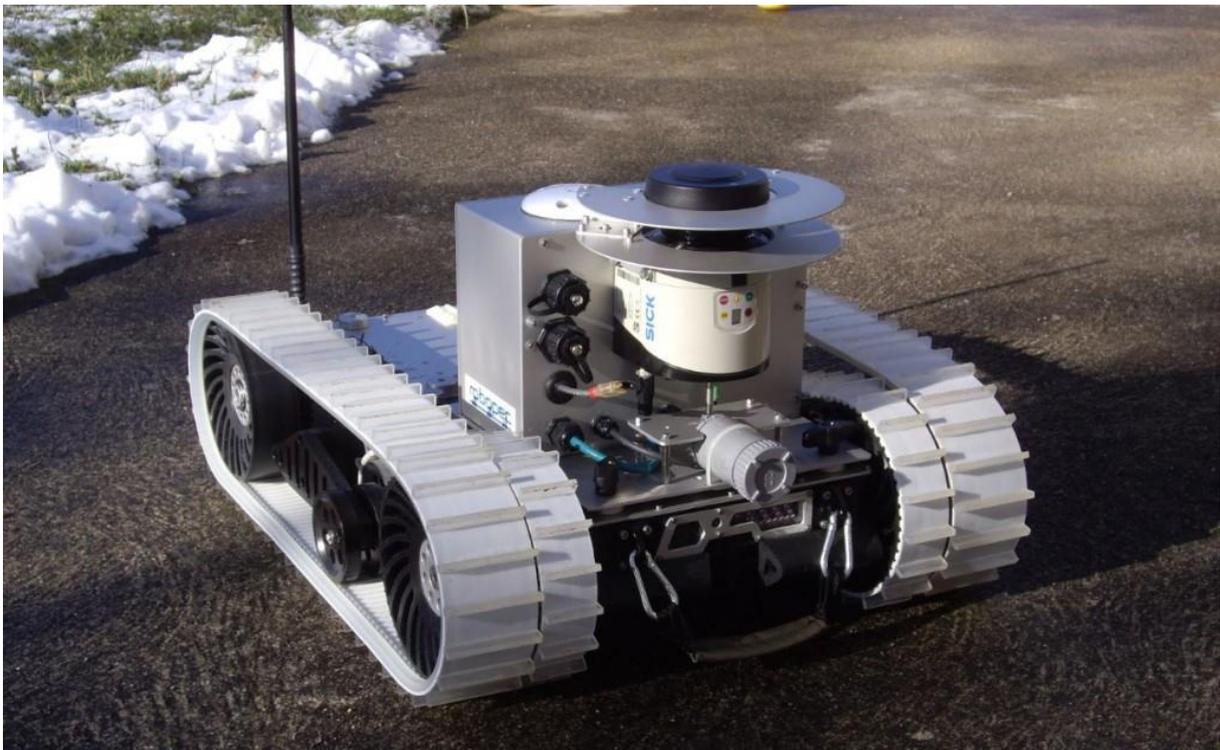


Figure1.7 robot mobile autonome.

1.6-Caractéristiques d'un robot

Un robot doit être choisi en fonction de l'application qu'on lui réserve, en compte :

- La charge maximum transportable (de quelques kilos à quelques tonnes).
- L'architecture du S.M.A. (Le **systeme mécanique articulé**) est un mécanisme ayant une structure plus ou moins proche de celle du bras humain), le choix est guidé par la tâche à réaliser.
- Le volume de travail, défini comme l'ensemble des points atteignables par l'organe terminal.
- Le positionnement absolu, correspondant à l'erreur entre un point souhaité (réel). En général, l'erreur de positionnement absolu, également appelée précision, est de l'ordre de 1 *mm (millimètres)*.
- La répétabilité, ce paramètre caractérise la capacité que le robot a à retourner vers un point (position, orientation) donné. En général, la répétabilité est de l'ordre de 0,1 *mm (millimètres)*.
- La vitesse de déplacement (vitesse maximum en élongation maximum), accélération.
- La masse du robot.
- Le coût du robot.
- La maintenance, ...

Chapitre1 Définitions et généralités

1.7-Conclusion :

Dans la vie quotidienne l'homme à des taches inaccessible pour cela il a recoure a réalisé un sousi qui peut le remplacé dans ces conditions, où a été réalisé le fameux robot avec ces différents types et caractéristiques selon les besoins a exécuté avec bien sur la commande de l'homme de loin ou de prêt comme on la traité ci-dessus dans ce premier chapitre de généralité.

CHAPITRE 2

Perception d'un robot

Chapitre2 perception d'un robot

2.1- introduction :

La notion de perception en robotique mobile est relative à la capacité du système à recueillir, traiter et mettre en forme des informations utiles au robot pour agir et réagir dans le monde qui l'entoure. Alors que pour des tâches de manipulation on peut considérer que l'environnement du robot est relativement structuré. Pour extraire les informations utiles à l'accomplissement de sa tâche, il est nécessaire que le robot dispose de nombreux capteurs mesurant aussi bien son état interne que l'environnement dans lequel il évolue. Le choix des capteurs dépend bien évidemment de l'application envisagée, Pour se focaliser sur le problème de localisation.

2.2-Capteurs en robotique mobile

En robotique mobile, on classe traditionnellement les capteurs en deux catégories selon qu'ils mesurent l'état du robot lui-même ou l'état de son environnement.

Dans le premier cas, à l'image de la perception chez les êtres vivants, on parle de « *proprioception* » et donc de *capteurs proprioceptifs*. On trouve dans cette catégorie les capteurs de position ou de vitesse des roues et les capteurs de charge de la batterie.

Les capteurs renseignant sur l'état de l'environnement, donc de ce qui est extérieur au robot lui-même, sont appelés '*capteurs extéroceptifs*'. Il s'agit de capteurs donnant la distance du robot à l'environnement, la température, signalant la mise en contact du robot avec l'environnement, ...etc.

2.2.1-Mesure de l'angle de la rotation des roues :

Chaque roue motrice d'un robot mobile est généralement associée à un servomoteur.

Celui-ci est équipé d'un dispositif de mesure de rotation à l'aide d'un capteur disposé sur l'axe lui-même. Il s'agit d'un capteur proprioceptif, car il renseigne sur la position, c'est-à-dire sur l'état interne du système.

Pratiquement dans le cas des robots mobiles la mesure utile est généralement la vitesse de rotation et non la position angulaire ; Cette mesure de vitesse peut être obtenue par une mesure directe, à l'aide d'une « *génératrice tachymétrique* ». Cependant, pour des raisons évidentes (moindre cout, moindre encombrement, moindre entretien), elle est le plus souvent réalisée de manière indirecte. La technologie la plus classique consiste à utiliser des codeurs optiques, délivrant des impulsions carrées lorsque l'arbre tourne. On peut estimer que le comptage de ces impulsions suffit à déterminer la vitesse de rotation des roues, qui découle de la fréquence des impulsions. Cette mesure est nécessairement entachée d'un bruit de quantification, qui peut être important, notamment aux basses vitesses. Pour réduire ce bruit, on choisit des codeurs de meilleure résolution, possédant un nombre élevé de points par tour (*PPT*), c'est-à-dire mesurant des incréments angulaires très petits (typiquement 2000 *PPT*). Une alternative est d'utiliser des synchro résolveurs, qui utilisent des signaux sinusoïdaux et dont la précision est bien meilleure.

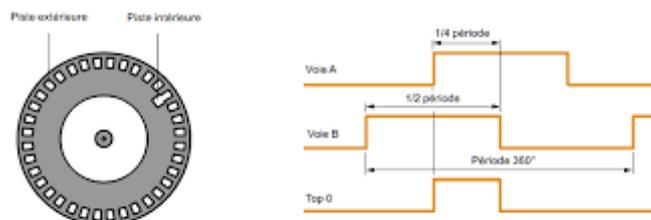


Figure 2.1 encodeur de points par tour

2.2.2-Mesure d'orientation et de position

a) Mesure de la position : le GPS

Il existe très peu de systèmes donnant la position absolue d'un point dans un repère fixe donné. Le *GPS* (Global Positioning System), initialement développé pour les applications militaires américaines est actuellement à la disposition du grand public. On peut cependant considérer que son utilisation dans ce cadre n'est pas garantie.

Le GPS fonctionne avec un ensemble de satellites, qui effectuent des émissions synchronisées dans le temps. Par recoupement des instants d'arrivée des signaux et de la position des satellites émetteurs, les récepteurs peuvent calculer leur position. Le principe de calcul de la position est basé sur une triangulation, à l'aide de quatre signaux reçus simultanément (le quatrième signal assure la robustesse de la mesure). [1]

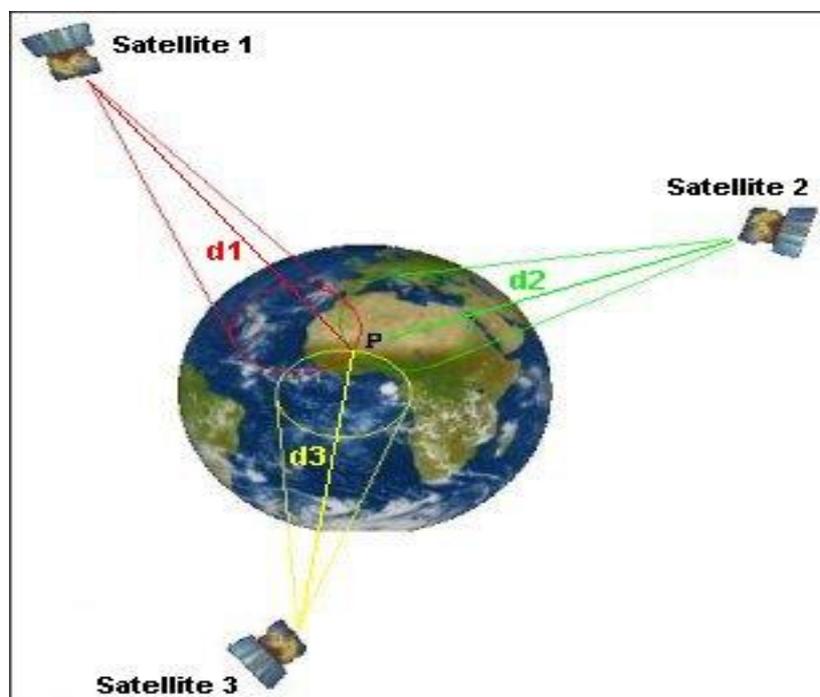


Figure2.2 principe du système de localisation.

b) Mesure de l'orientation :

b-1-Gyromètres :

Les gyromètres sont des capteurs proprioceptifs qui permettent de mesurer l'orientation du corps sur lequel ils sont placés, ceci par rapport à un référentiel fixe et selon un ou deux axes. Montés sur un robot mobile plan, un gyromètre à un axe permet donc de mesurer son orientation. Il existe plusieurs sortes de gyromètres : mécaniques et optiques pour les plus connus, mais aussi à structures vibrantes, capacitifs, ...etc.

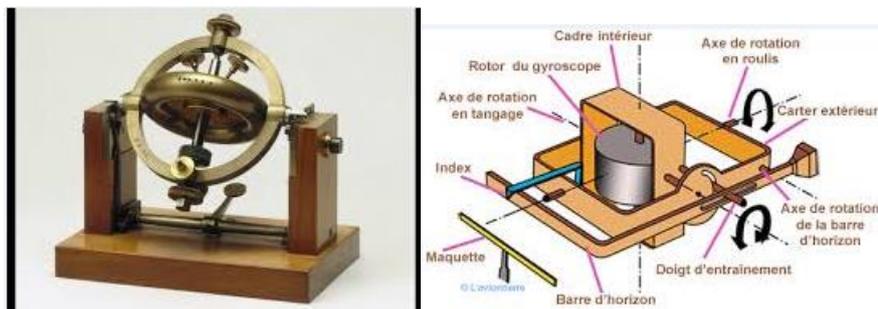


Figure2.3 – Gyroscope mécanique

Les gyromètres optiques exploitent le fait que la vitesse de la lumière reste inchangée dans tout référentiel. Deux faisceaux lasers sont émis depuis une même source, pour parcourir des chemins identiques, l'un dans le sens des aiguilles d'une montre, l'autre en sens opposé.

Chapitre2 perception d'un robot

Lors de la mise en rotation du gyromètre, il existe une différence de marche des deux rayons et des interférences apparaissent. On peut alors déduire la vitesse de rotation du système de cette mesure.

b-2) Compas et boussoles :

Les *compas* et les *boussoles* fournissent une information d'orientation par rapport à une référence fixe (nord magnétique typiquement). Ils sont donc extéroceptifs.

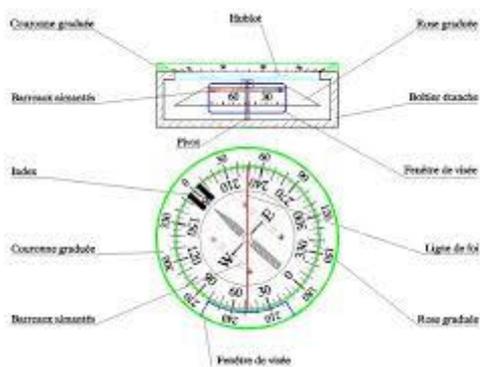


Figure2.4 une boussole.

b-3) Autres capteurs :

*Inclinomètres :

Sont des capteurs mesurant des inclinaisons par rapport à la gravité terrestre.

Chapitre2 perception d'un robot

***Accéléromètres :**

Il existe une grande diversité de méthodes pour obtenir l'accélération d'un système en mouvement. Les principales techniques utilisées sont :

*mécaniques (jauges de contraintes).

* électromécaniques (effets piézoélectrique).

* électriques (effet capacitif ou reluctance variable), ou encore optique.

Ces capteurs haut de gamme demeurent peu répandus en robotique mobile et restent plutôt destinés à la navigation précise de systèmes rapides, essentiellement dans le domaine aéronautique et spatial.

2.2.3-Mesure de proximité et de distance :

On appelle télémétrie toute technique de mesure de distance par des procédés acoustiques, optiques ou radioélectriques. L'appareil permettant de mesurer les distances est appelé « *télémètre* ». De même qu'il existe différentes techniques de mesure de distance (mesure du temps de vol d'une onde, triangulation), il existe différentes technologies pour réaliser des télémètres. Nous présentons ici Quelques-uns, Tous les capteurs télémétriques, bases sur des mesures de l'environnement, sont bien évidemment actifs et extéroceptifs.

a)Capteurs infrarouges

Les capteurs infrarouges sont constitués d'un ensemble émetteur/récepteur fonctionnant avec des radiations non visibles, dont la longueur d'onde est juste inférieure à celle du rouge visible. La mesure des radiations infrarouges étant limitée dont la qualité très dégradée au-delà d'un mètre, ces dispositifs ne servent que rarement de télémètres. On les rencontrera le plus souvent comme détecteurs de proximité.

Il faut noter que ce type de détection est sensible aux conditions extérieures, notamment à la lumière ambiante, à la sécularités des surfaces sur lesquelles se réfléchissent les infrarouges, a la température et même à la pression ambiante. Ces capteurs ne sont pas complètement directionnels et leur caractéristique présente une zone de détection conique a l'origine d'incertitudes. L'alternance de phases d'émission et de réception impose une distance de détection minimale.

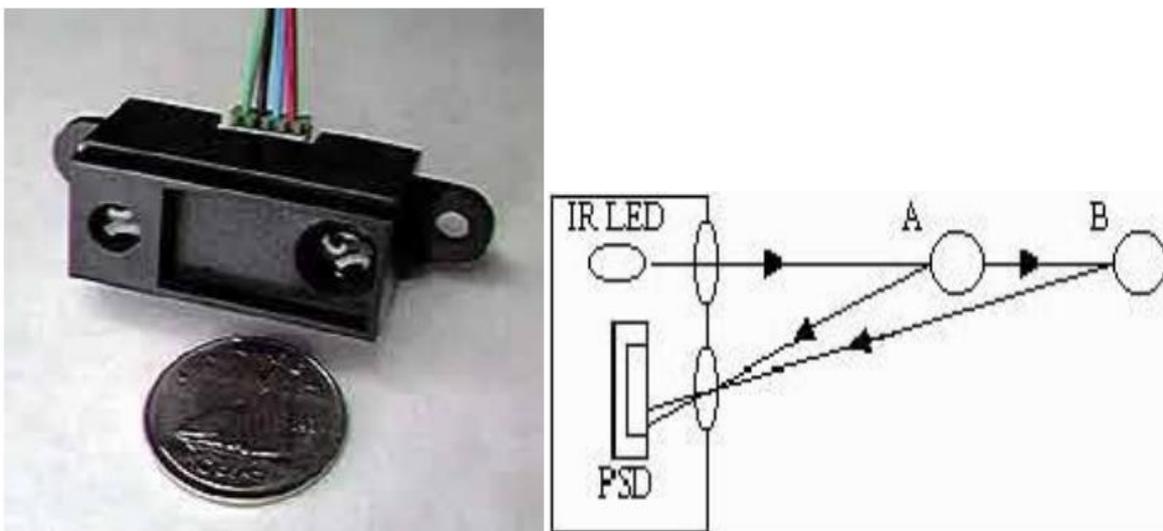


Figure2.5 télémètre infrarouge type Sharp.

b) Capteurs ultrasonores

Utilisent des vibrations sonores dont les fréquences ne sont pas perceptibles par l'oreille humaine. Les fréquences couramment utilisées dans ce type de technologie vont de 20 *kHz* à 200 *kHz*. Les ultrasons émis se propagent dans l'air et sont réfléchis partiellement lorsqu'ils heurtent un corps solide, en fonction de son impédance acoustique. L'écho en retour prend la forme d'une onde de pression à l'image des vaguelettes circulaires déformant la surface de l'eau lorsqu'on y jette une pierre. La distance entre la source et la cible peut être déterminée en mesurant le temps de vol séparant l'émission des ultrasons du retour de l'écho.

Les systèmes ultrasonores présentent un certain nombre de défauts. Le premier d'entre eux résulte d'une émission imparfaite : au lieu d'être canalisées dans une seule direction, les ondes se propagent selon un cône dont le sommet est la source d'émission. Plus l'angle d'ouverture du cône est grand, plus cela influe sur la détection des objets.



Figure2.6 Télémètres ultrasonores.

Chapitre2 perception d'un robot

c) Télémètres laser

Sont à ce jour le moyen le plus répandu en robotique mobile pour obtenir des mesures précises de distance. Leur principe de fonctionnement est le suivant.

A un instant donné, une impulsion lumineuse très courte est envoyée par l'intermédiaire d'une diode laser de faible puissance. La réflexion de cette onde donne un écho qui est détecté au bout d'un temps proportionnel à la distance capteur-obstacle. La direction des impulsions est modifiée par rotation d'un miroir, l'angle de balayage couvrant généralement entre 100 et 180 degrés sur des produits commerciaux. La portée du capteur dépend de la réflectivité des milieux rencontrés.

Les télémètres lasers ne sont néanmoins pas sans défauts. On peut noter tout d'abord qu'un balayage complet sur 180 degrés prend quelques secondes, si bien que ces capteurs ne sont généralement utilisables qu'en mode recalage.

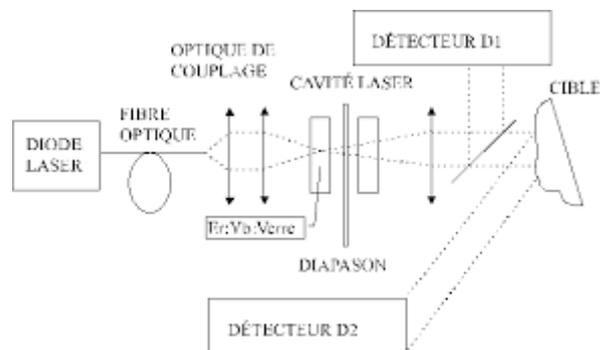


Figure2.7 principe d'un Télémètres laser.

Chapitre2 perception d'un robot

2.3-Conclusion :

Il existe différents type de robot à différents composants pour différents taches, dans ce chapitre on a cité quelque composant standard d'un robot avec le principe de fonctionnement illustrant par des images.

CHAPITRE 3

MODELISATION

3-1-Definitions :

On note $R = (o, x, y, \alpha)$ un repère fixe quelconque, $R' = (o', x', y', \alpha')$ un repère mobile lié au robot. On choisit généralement pour o' un point remarquable de la plate-forme, typiquement le centre de l'axe des roues motrices, comme illustre la figure suivante :

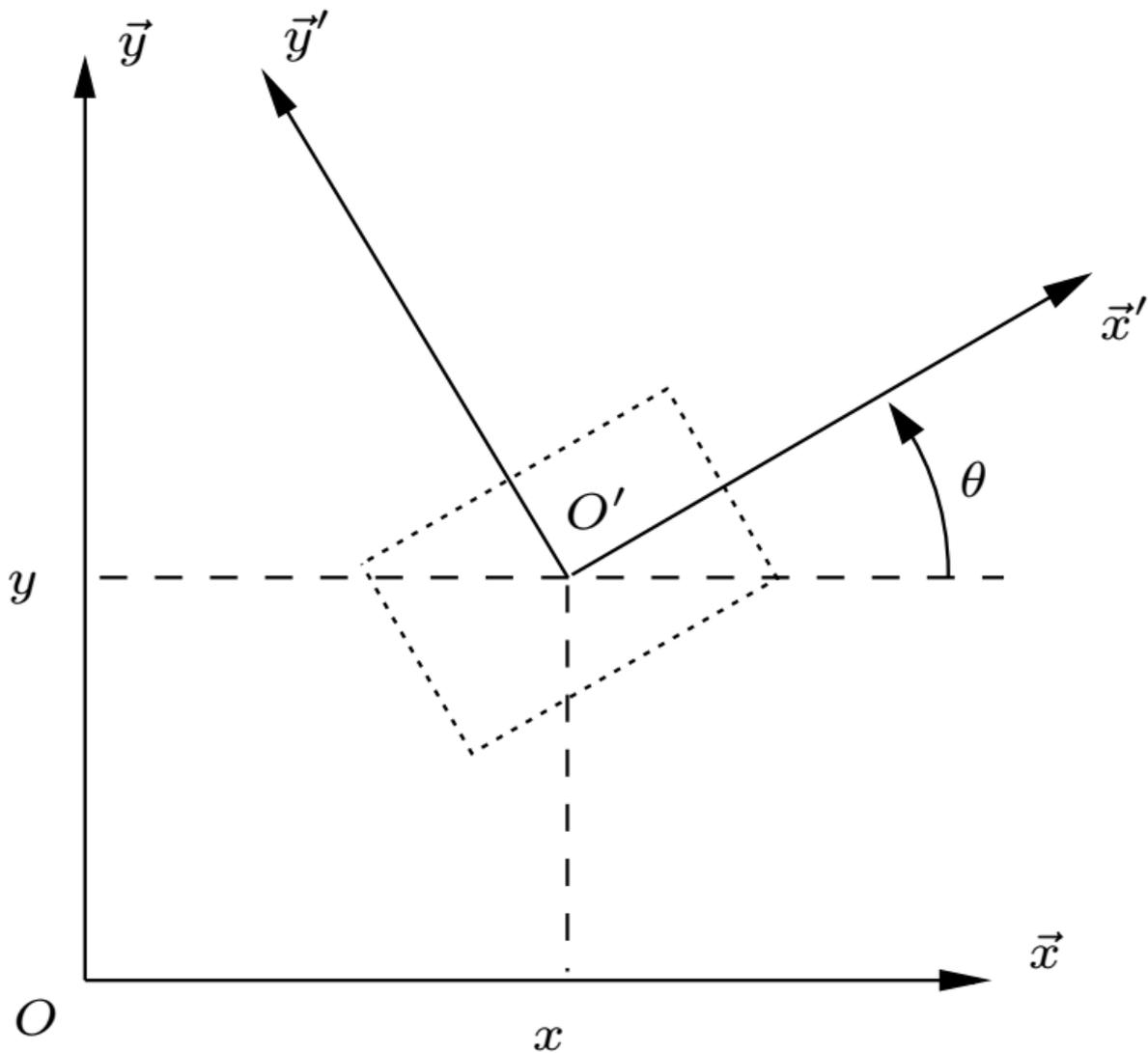


Figure3.1 Repérage d'un robot mobile.

Ou x et y sont respectivement l'abscisse et l'ordonnée du point o' dans R et θ l'angle (\vec{x}, \vec{x}') . La situation du robot est donc définie sur un espace M de dimension $m = 3$, comparable à l'espace opérationnel d'un manipulateur plan. D'un système mécanique est connue quand la position de tous ses points dans un repère donné est connue.

3.2-Localisation :

Afin de remédier aux faiblesses des capteurs, on a tendance à les multiplier. Cette redondance d'information, nécessaire à bien des égards, implique bien évidemment un recoupement cohérent de l'information. Or les capteurs ne fournissent pas tous le même type d'informations. Il s'agit principalement, pour les capteurs présents, de la posture absolue ou relative et de la distance aux corps présents dans l'environnement.

3.2.1-Odometrie :

a) Principe :

On se pose ici le problème de déterminer la posture du robot de la manière la plus simple, c'est-à-dire l'aide de capteurs proprioceptifs disposés sur les roues elles-mêmes. Les hypothèses de roulement sans glissement (*r.s.g.*) permettent de relier les commandes cinématiques des roues du robot à la dérivée de sa posture. Pour déterminer la posture du robot à l'instant « t » il reste alors à intégrer cette dérivée :

$$x(t) = \int_0^t \dot{x}(t) dt$$

$$Y(t) = \int_0^t \dot{y}(t) dt$$

$$\theta(t) = \int_0^t \dot{\theta}(t) dt$$

Bien qu'il soit évidemment possible de connaître également la position angulaire des roues, celle-ci n'est pas utile pour connaître la posture du robot, ni d'ailleurs pour commander le robot. En effet, à une même position instantanée des roues correspondent une infinité de postures.

A l'inverse, la posture ne peut s'obtenir qu'en utilisant l'évolution du robot sur sa trajectoire, d'un instant à un autre. Ceci justifie l'appellation d'*odométrie* (du grec *odos* : chemin).

L'odométrie ne donne qu'une posture relative du robot.

L'odométrie est un mode de localisation d'une simplicité remarquable, il s'agit aussi d'un mode de mesure particulièrement imparfait. Le calcul de la posture est fait en supposant qu'il n'y a pas de glissement et que les paramètres géométriques du robot sont parfaitement connus, notamment le diamètre des roues et la longueur de l'entraxe.

b) Erreurs et correction

La validité de l'odométrie est basée sur l'hypothèse de roulement sans glissement (*r.s.g.*), qui permet de supposer que la rotation propre d'une roue engendre une translation à vitesse connue de son centre.

Un certain nombre d'erreurs viennent entacher la précision de l'odométrie :

– des erreurs systématiques : erreur sur le diamètre des roues par rapport à la valeur nominale attendue, diamètres différents, erreurs sur la disposition des roues, résolution des codeurs.

– des erreurs non systématiques : sol ou plan non irrégulier, glissements divers (dus à la nature du sol, a une accélération trop brutale, a un obstacle, un défaut mécanique, etc.), contact au sol non ponctuel.

La propagation des erreurs systématiques au travers de l'odométrie est très gênante car elle est cumulative. En environnement d'intérieur, les erreurs non systématiques auront moins d'importance, notamment parce qu'elles ne s'accumulent pas constamment, comme c'est le cas des erreurs systématiques.

Quantitativement, l'estimation de l'incertitude de l'odométrie d'un robot mobile peut être donnée par la matrice de covariance de bruit associée à la posture du robot. Sa détermination n'est cependant pas une tâche facile. La matrice de covariance de bruit dépend du véhicule, du type de mouvement effectuée, des capteurs et de leur modélisation.

On notera simplement qu'il n'est pas possible de prendre en compte les erreurs non systématiques, leur amplitude imprévisible ne permettant pas une prédiction. Quant aux erreurs systématiques, il est souvent préférable de les identifier préalablement et de les corriger.

3.2.2- études d'odométrie :

Les systèmes odométriques fournissent la position du système mobile pendant son mouvement, par intégration des rotations élémentaires de ses roues. Pour les applications de robotique mobile, les mesures de rotation des roues sont effectuées dans la plupart des cas par des codeurs.

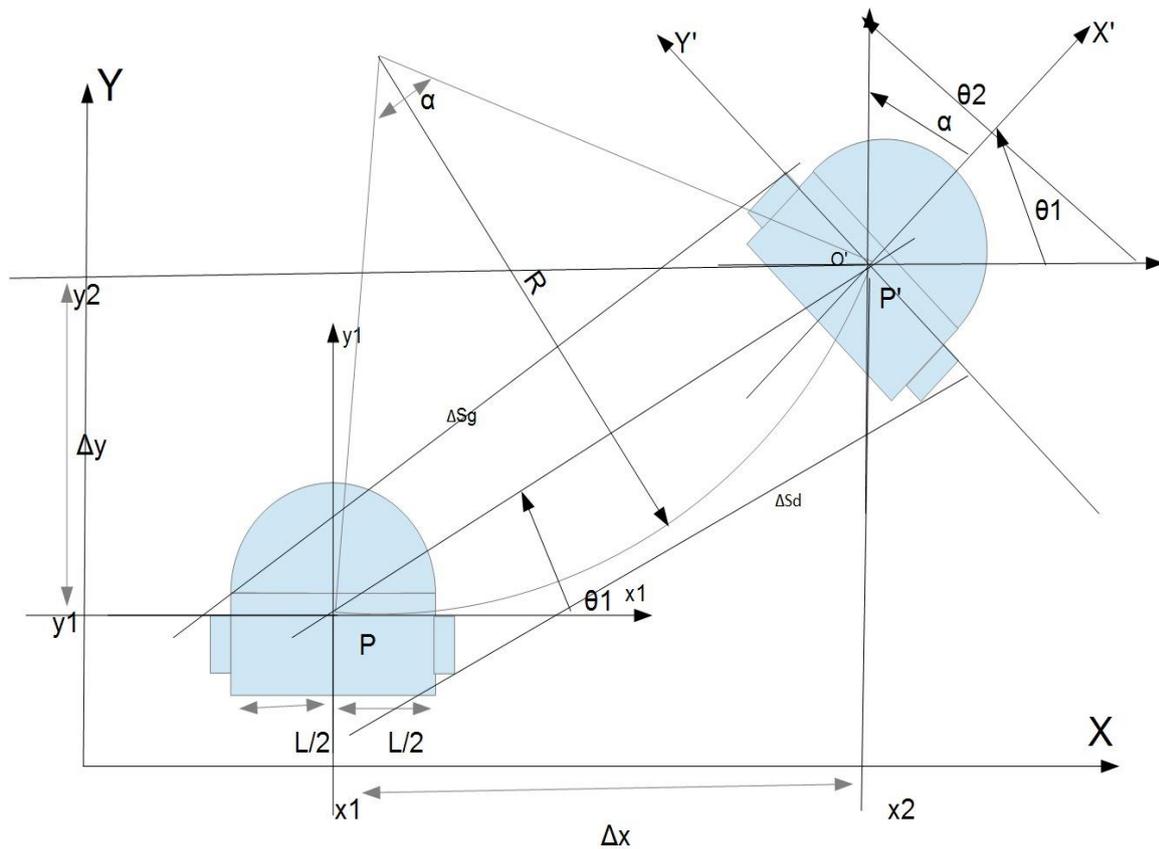


Fig 3.2-déplacement d'un robot mobile dans le repère (x,y)

L : distance entre les deux roues gauche et droite.

CRI : centre de rotation initial.

P : position du robot initial.

P' : position du robot seconde.

Δx : déplacement sur x_1x_2 .

Δy : déplacement sur y_1y_2 .

R : diamètre du cercle de la trajectoire.

r : rayon de la roue.

ΔS : déplacement de la roue.

α :l'angle de déplacement.

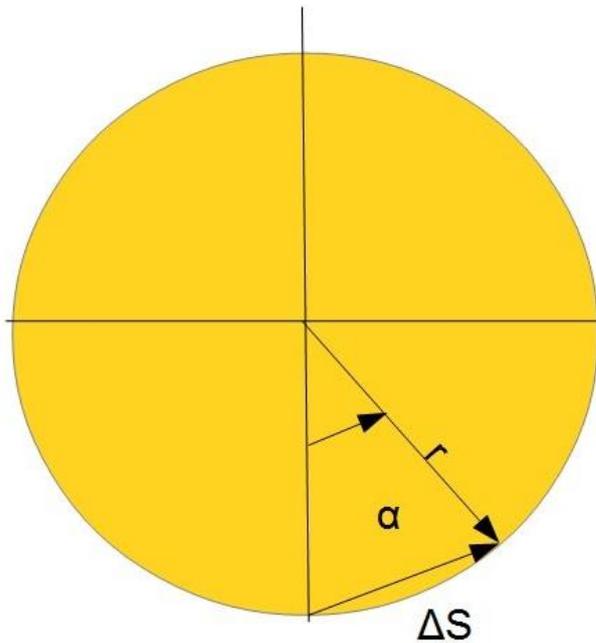


fig 3.3-Déplacement d'une roue.

ΔS : déplacement de la roue tel que :

$$\Delta S_G = r * \alpha_G.$$

$$\Delta S_D = r * \alpha_D.$$

Donc du schéma on a :

$$\Delta S_G = (R - \frac{L}{2}) * \alpha \dots \dots \dots (1)$$

Et

$$\Delta S_D = (R + \frac{L}{2}) * \alpha \dots \dots \dots (2)$$

Et le déplacement de P à P' :

Chapitre3 Modélisation

$$\Delta S = R * \alpha \dots \dots \dots (3)$$

Si on veut déduire ΔS des deux équations (1) et (2) on aura :

$$\Delta S_G = R * \alpha - \frac{L}{2} * \alpha.$$

$$\Delta S_D = R * \alpha + \frac{L}{2} * \alpha.$$

$$\Delta S_G = \Delta S - \frac{L}{2} * \alpha \dots \dots \dots (4)$$

$$\Delta S_D = \Delta S + \frac{L}{2} * \alpha \dots \dots \dots (5).$$

On déduit ΔS de (4) et (5) on aura :

$$(4) \rightarrow \Delta S = \Delta S_G + \frac{L}{2} * \alpha \dots \dots \dots (6)$$

$$(5) \rightarrow \Delta S = \Delta S_D - \frac{L}{2} * \alpha \dots \dots \dots (7)$$

On somme les deux équations (6)+(7) on aura :

$$2 \Delta S = \Delta S_G + \Delta S_D$$

$$\rightarrow \Delta S = \frac{\Delta S_G + \Delta S_D}{2} \dots \dots \dots (8)$$

Le déplacement de la roue :

*le déplacement PP' :

$$P'_x = x + \Delta x \sin(\alpha)$$

$$P'_y = y + \Delta y \cos(\alpha)$$

$$\alpha' = \alpha + \frac{\Delta S_G + \Delta S_D}{L}$$

$$\text{Donc on aura : } \begin{cases} P'_x = x + \Delta S \sin \alpha \\ P'_y = y + \Delta S \cos \alpha \\ \alpha' = \alpha + \frac{\Delta S}{2L} \end{cases}$$

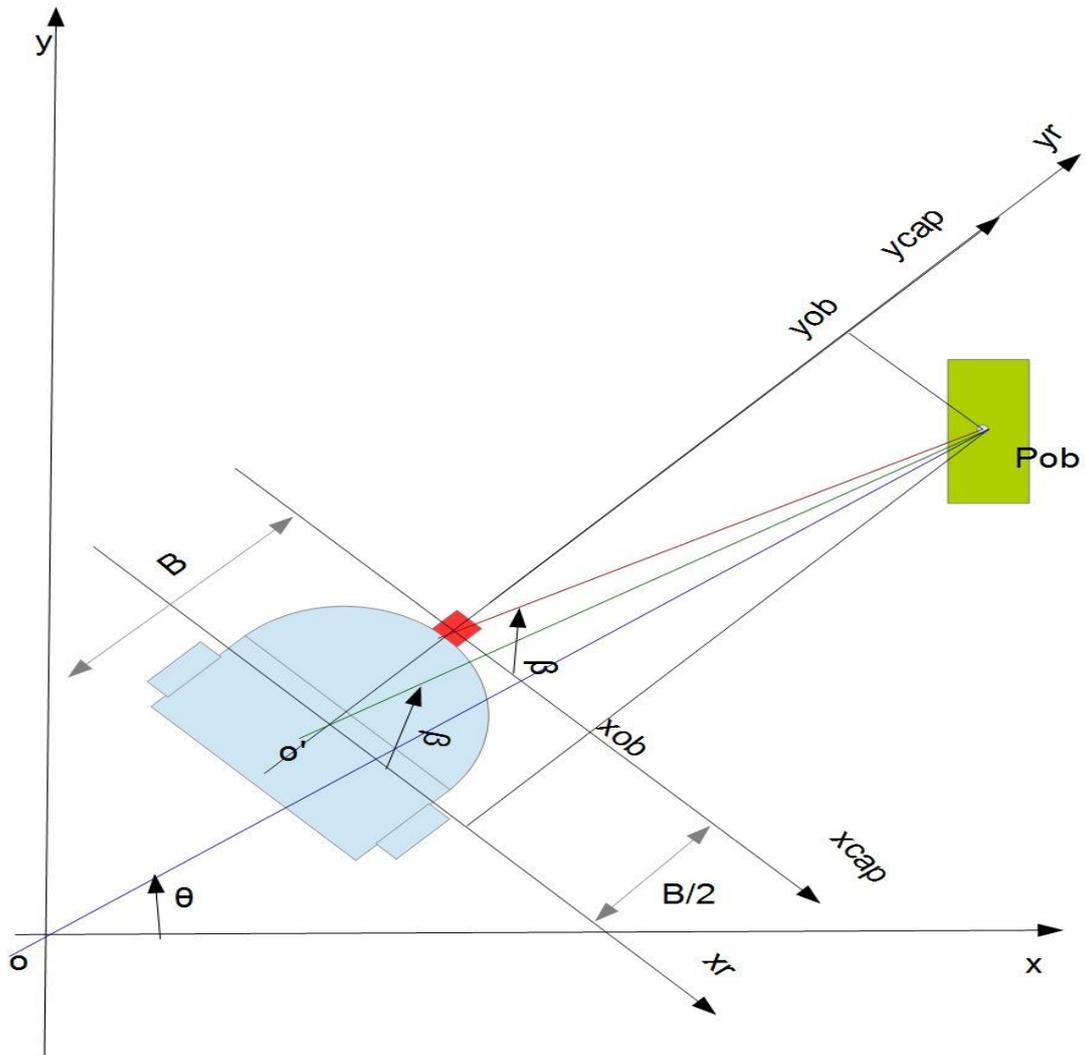


Fig3.4 position de l'obstacle dans les trois repères.

Les différentes postures de l'obstacle :

*par rapport au repère du capteur :

$$P_{ob/cap} \begin{cases} x_{ob} \cos \beta \\ y_{ob} \sin \beta \\ \beta \end{cases}$$

*par rapport au repère du robot :

$$P_{ob/r} \begin{cases} x_{ob} \cos \beta \\ y_{ob} \sin \beta + \frac{B}{2} \\ \beta \end{cases}$$

*par rapport au repère fixe(x,y) :

$$P_{ob/o} \begin{cases} x_{ob} \cos \theta \\ y_{ob} \sin \theta \\ \theta \end{cases}$$

*Cartographie des systèmes de robotique mobile

Même en présence d'une bonne localisation, un robot qui ne possède a priori aucune information sur l'environnement, dans lequel il doit se déplacer et agir, doit être capable de modéliser son environnement grâce à l'ensemble de ses capteurs.

Un robot autonome doit être capable de réagir à des modifications inattendues dans son Environnement. La construction d'une telle carte devra être incrémentale, en fusionnant les Perceptions successives acquises par les capteurs du robot au cours de son déplacement.

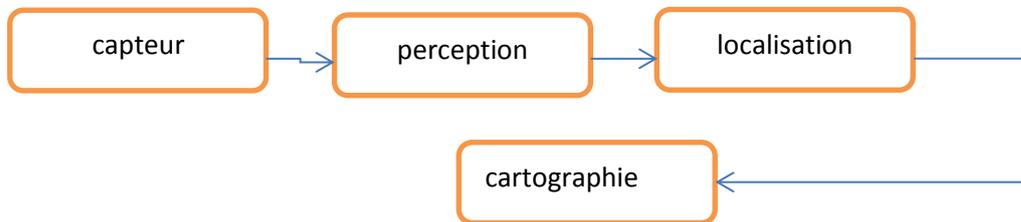


Fig3.5- Architecture générale du SLAM

3.2.3-Téléométrie :

Quelle que soit la technologie utilisée pour effectuer la mesure téléométrique, Le capteur retourne généralement deux informations. La première donne l'angle de gisement, c'est-à-dire la direction dans laquelle a été faite la mesure.

La seconde donne la distance au corps ayant réfléchi l'onde émise.

Cette technique de mesure permet donc de positionner les objets présents dans la scène par rapport au robot. Elle se prête très bien aux environnements d'intérieur, structures, comportant des formes régulières et statiques comme des murs, qui par ailleurs, possèdent généralement de bonnes propriétés de réflexion.

a) Recalage :

Si l'on dispose d'une connaissance a priori de l'environnement, le recalage des mesures sur le modèle permet de déduire la posture du robot. Pour cela deux possibilités :

- soit on utilise directement le nuage de points de mesure.
- soit on extrait des primitives dans ce nuage, typiquement des segments représentant les surfaces planes et des coins, représentant l'intersection des segments.

Chapitre3 Modélisation

Dans le premier cas, chaque point devra être apparié à un point de l'environnement. Ceci peut être réalisé à l'aide d'un algorithme dédié comme l'algorithme *ICP* (itérative closest point) [2].

Cette technique permet d'obtenir de bons résultats, au prix d'une complexité de calcul relativement élevée.

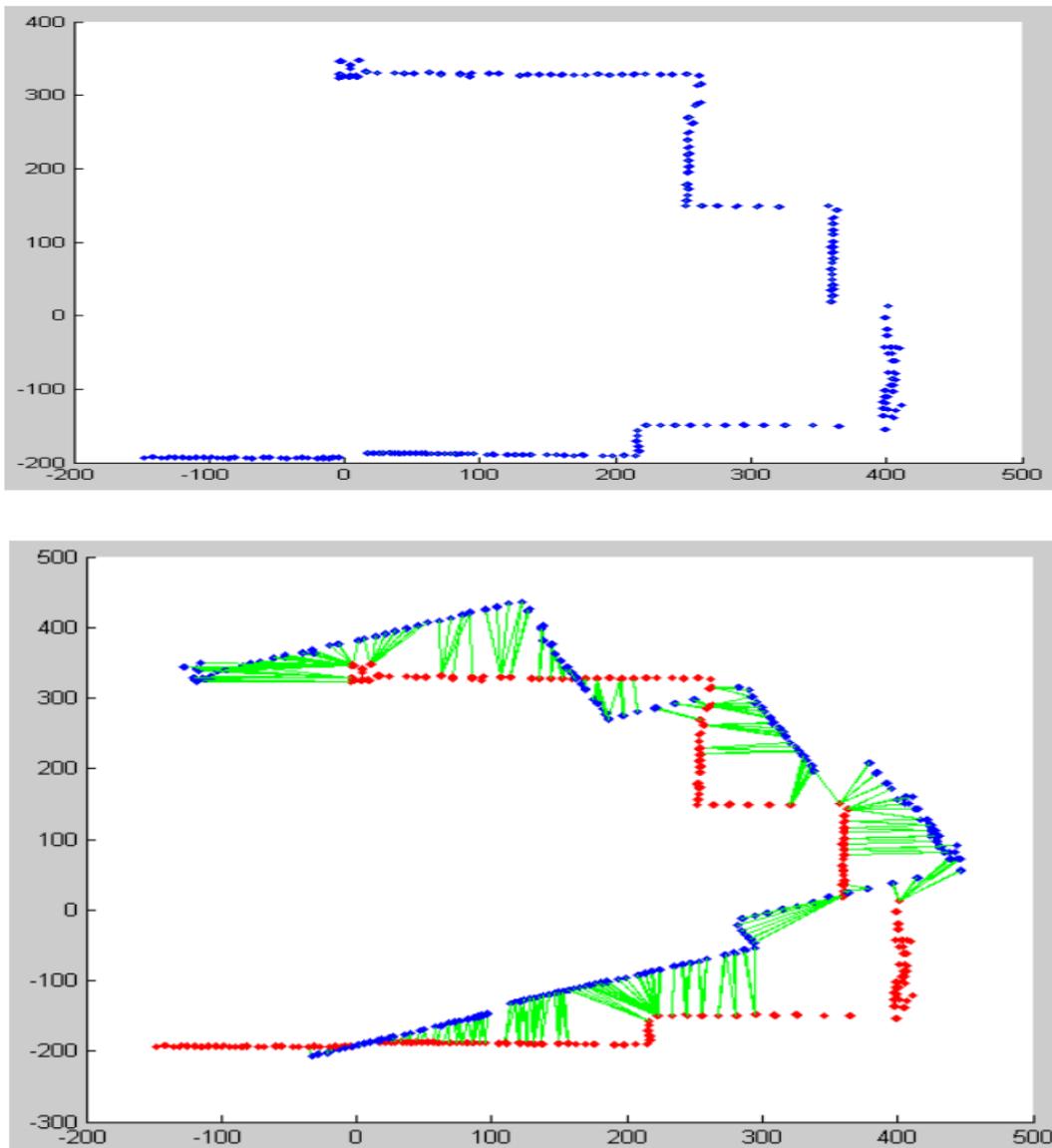


Figure3.6-Recalage de données 3D projetées par l'algorithme ICP.

Dans le second cas, une représentation sera obtenue en appareillant des segments extraits sur une carte.

Le choix du type de données a segmentés est en fonction de la carte initiale de l'environnement que l'on possède a priori ou que l'on construit a posteriori, à partir des mesures.

La représentation classique, utilisant des segments de droite, présente l'avantage de permettre un pré filtrage des données aberrantes. Idéalement, l'extraction des primitives doit tenir compte de l'incertitude du capteur utilise. Les primitives obtenues peuvent alors être analysées pour extraire des éléments caractéristiques. Typiquement, il est utile de détecter des intersections de droites, qui forment des angles dans une pièce ou sur un objet. Cette technique est évidemment bien plus efficace pour construire une carte de l'environnement statique que pour représenter un obstacle imprévu, dont la forme est généralement peu régulière et potentiellement dynamique.

Les mesures de distance fournies par des capteurs télémétriques présentent cependant un certain nombre de défauts.

b) Localisation sur balises

A l'aide de balises localisées simultanément dans l'environnement il est possible de déduire la posture du robot par télémétrie, puis triangulation. Cette technique doit être adaptée aux informations retournées par la balise.

On peut estimer que l'on dispose généralement de la distance robot-balise, de l'angle de gisement référence par rapport à la base et des positions des balises. Si l'on dispose de

l'angle de gisement absolu de deux balises ou des angles de gisement relatifs de trois balises, on peut déterminer la posture du robot, comme on le constate graphiquement à la figure.

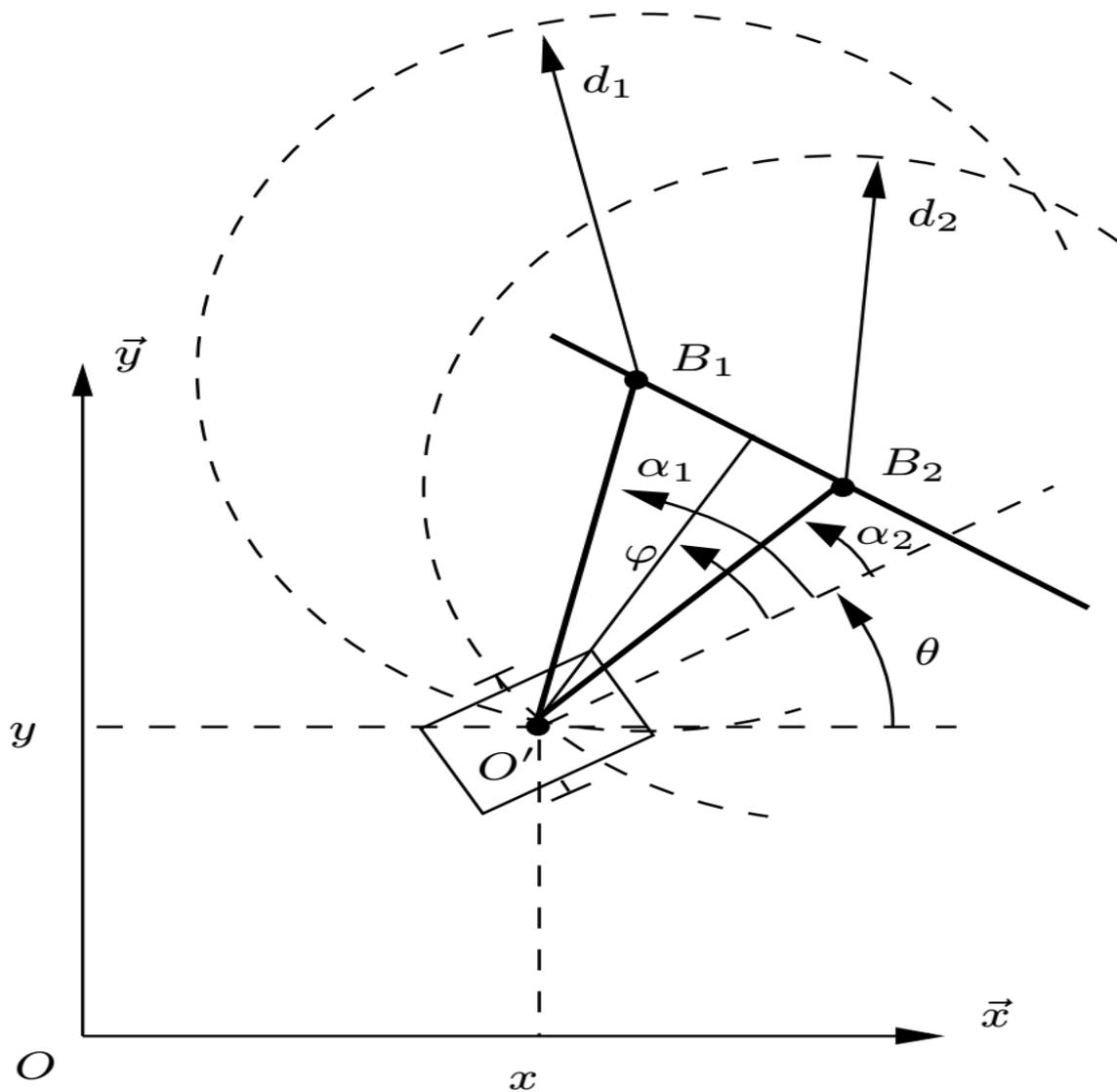


Figure3.7- Méthodes de triangulation à deux balises, avec mesure des angles de gisement.

Il est toutefois plus robuste d'utiliser trois balises, la position de l'intersection des rayons réfléchis étant très sensible à une faible erreur angulaire si les angles de gisement sont faibles.

Si l'on ne dispose que des distances aux balises, et pas de l'angle de gisement, il faut alors trois balises pour déduire la position du robot. On ne peut alors rien dire sur l'orientation du robot, comme le montre la figure.

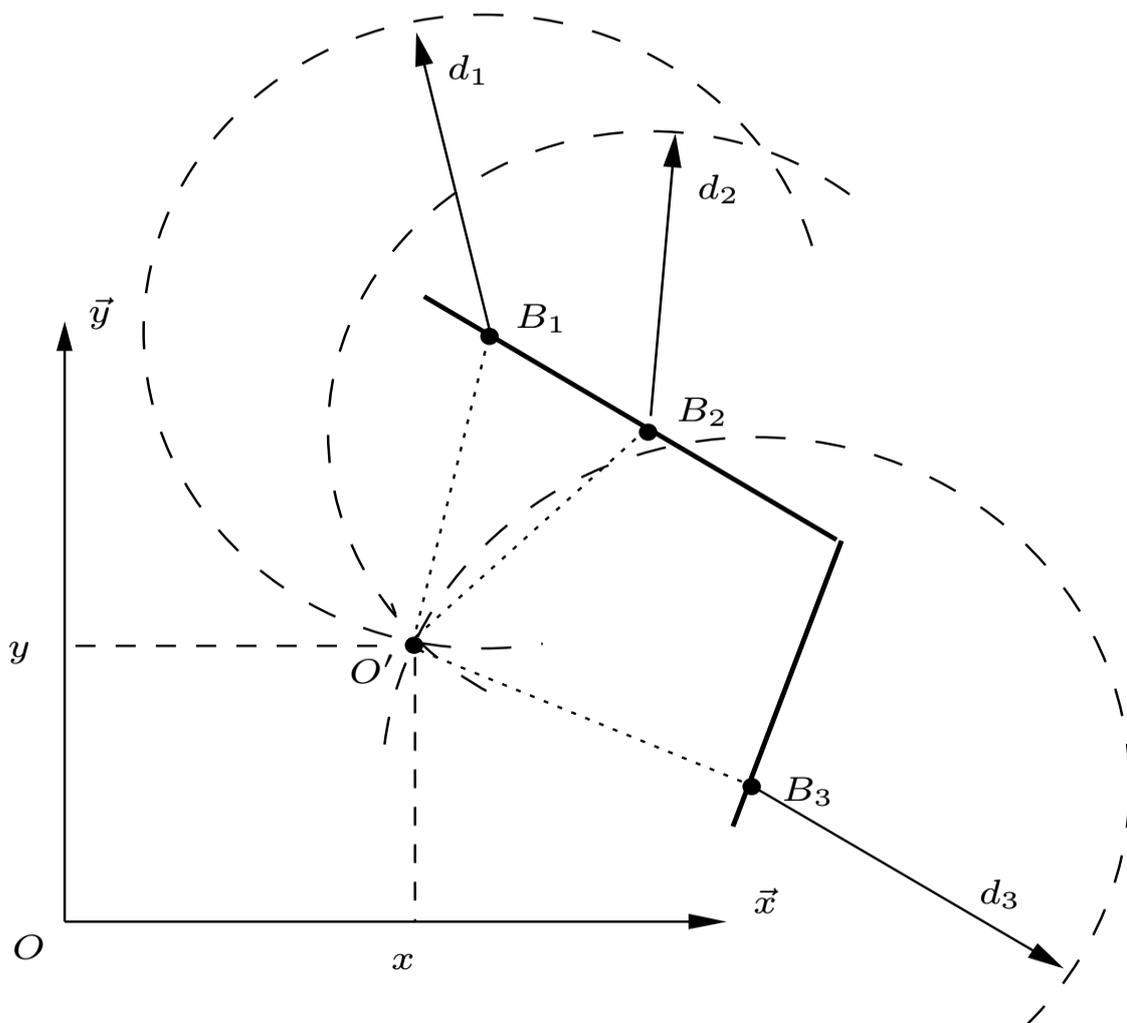


Figure3.8- Méthodes de triangulation a trois balises, sans mesure des angles de gisement.

3.2.4-Localisation multi capteur :

Le processus de localisation classique en robotique mobile consiste à combiner les mesures proprioceptives et extéroceptives, fournissant respectivement des informations relatives et absolues sur la posture.

Pour ce qui est de la posture relative on suppose qu'elle est donnée par l'odométrie.

Pour la mesure extéroceptive de la posture du robot on peut envisager les modalités suivantes pour assurer un positionnement relativement précis, de l'ordre de un à quelques centimètres :

- localisation d'amers (motifs, balises) dont les positions dans un repère absolu sont connues.
- localisation externe du robot par des capteurs disposés dans l'environnement (par exemple détection de la posture aux alentours d'une position de stationnement à l'aide de caméras placées au plafond).
- mise en correspondance de la carte acquise par le système avec une carte préexistante du lieu pour déduire la posture du robot.

Il faut alors envisager le problème de *fusion des données* capteurs pour obtenir une représentation unique cohérente. Nous allons détailler trois modalités pour effectuer cette fusion, en allant de la technique la plus élémentaire à la plus évoluée. Le choix dépendra notamment de la confiance que l'on accorde d'une part à l'odométrie et d'autre part aux capteurs extéroceptifs.

a) Recalage simple

La méthode de combiner les informations la plus simple consiste à utiliser exclusivement l'odométrie, les capteurs extéroceptifs étant uniquement utilisés lors de l'initialisation au démarrage du robot. Cette technique simple revient à accorder une grande confiance tant au système de recalage absolu qu'à l'odométrie. Des recalages ponctuels peuvent permettre de réévaluer la posture dans le repère de la scène est d'annuler l'erreur accumulée constamment par l'odométrie au cours du trajet du robot.

b) Fusion de données par moyenne pondérée

La première technique pour utiliser conjointement (et non successivement) les données issues de plusieurs capteurs consiste à les fusionner en pondérant leurs contributions respectives. Cette fusion tient compte des incertitudes sur les mesures effectuées, représentées par leurs variances respectives.

Soit ε_o et ε_r les valeurs des mesures proprioceptives (indice o pour odométrie) et extéroceptives (indice r pour recalage) de la posture du robot. On peut estimer la position par le moyennage pondéré issu de la loi de Bayes :

$$\varepsilon = \frac{\sigma_r^2}{\sigma_o^2 + \sigma_r^2} \varepsilon_o + \frac{\sigma_o^2}{\sigma_o^2 + \sigma_r^2} \varepsilon_r \quad (1)$$

Dont la variance est donnée par

$$\frac{1}{\sigma^2} = \frac{1}{\sigma_o^2} + \frac{1}{\sigma_r^2} \quad (2)$$

On constate d'après (1) et (2) que si la mesure des capteurs extéroceptifs est faible (donc la variance associée importante) les mesures correspondantes n'affectent que peu l'estimation de posture.

A l'inverse, si la variance des mesures données par l'odométrie augmente trop, les mesures issues des capteurs extéroceptifs deviendront prépondérantes.

Par ailleurs, on constate d'après (2) que la variance de l'estimation pondérée est meilleure que celle des mesures séparées.

Vu des nombreux progrès effectués en localisation des robots mobiles dans les quinze dernières années, on peut considérer cette technique d'estimation comme obsolète. La seule raison valable de l'utiliser est liée à un manque de ressources de calcul pour mettre en œuvre une fusion plus efficace des données. Un des défauts majeurs de cette méthode réside dans le fait qu'elle ne tient pas compte des mesures passées pour réaliser l'estimation. Pour cela on met généralement en œuvre une technique d'estimation plus évoluée par *filtrage de Kalman*.

c) Fusion de données par filtrage de Kalman

Le problème de localisation à partir de différents capteurs peut être traité comme un problème d'estimation de l'état du système à partir d'observations, dont des solutions sont bien connues en Automatique. En robotique mobile, on fait le plus souvent appel à la technique du filtrage de Kalman. [3]

3.3- Construction de carte :

La construction d'une carte locale de l'environnement est un problème dual du problème de localisation. Dans le cas de la localisation, à partir de mesures d'un environnement connu a priori, le problème consistait à estimer la localisation courante du robot.

Ici, il s'agit de déterminer une représentation de l'environnement, en supposant connue la position du robot. La modélisation de l'environnement obtenue apparaît généralement sous la forme d'une carte géométrique ou d'une carte d'occupation.

3.3.1- Cartes géométriques

a) Segmentation

Que ce soit pour se localiser ou pour planifier une trajectoire, il est utile de disposer d'un environnement structure, dont le modèle peut être issu d'une connaissance a priori, sous la forme d'une carte ou d'un plan enrichie par l'acquisition de mesures. La construction d'une carte géométrique de primitives représentant localement l'environnement peut être obtenue par traitement de mesures télémétriques.

Les problématiques sont les mêmes que pour la localisation. Néanmoins, pour effectuer une cartographie qui contienne un nombre important de primitives significatives, il faut examiner où ces primitives se trouvent et éventuellement les utiliser.

b) Grilles d'occupation

Une grille d'occupation est une carte discrète de l'environnement. Pour l'obtenir, on divise l'environnement en cellules. On associe à chaque cellule une probabilité d'occupation qui est calculée à partir des mesures, du modèle du capteur et d'une connaissance a priori de l'environnement.

On utilise la loi de Bayes pour estimer la présence d'obstacles dans l'espace des configurations. Considérons le cas d'un télémètre fournissant une mesure « d » de la distance. Il est probable que la mesure ne correspondra pas parfaitement à la grandeur mesurée « d^* », à cause des imperfections du capteur. Un modèle du capteur permettra d'estimer la probabilité $P\left(\frac{d}{d^*}\right)$ d'obtenir la mesure « d » si la grandeur à mesurer est « d^* ». Alors, en accord avec la loi de Bayes :

$$P\left(\frac{d}{d^*}\right) = P(d^*)P\left(\frac{d}{d^*}\right) / P(d)$$

Où le terme de normalisation $P(d)$ peut se calculer par :

$$P(d) = \int_{d_{min}^*}^{d_{max}^*} P(x)P\left(\frac{d}{x}\right) dx$$

La valeur la plus probable d'avoir la distance « d^* » Pour une mesure « d » est la valeur qui maximise l'expression précédente.

Un certain nombre de raffinements peuvent être apportés au schéma de principe des grilles d'occupations. Par exemple, on peut choisir d'adapter la taille des cellules localement, pour ne raffiner que les zones utiles, comme cela est représenté à la figure

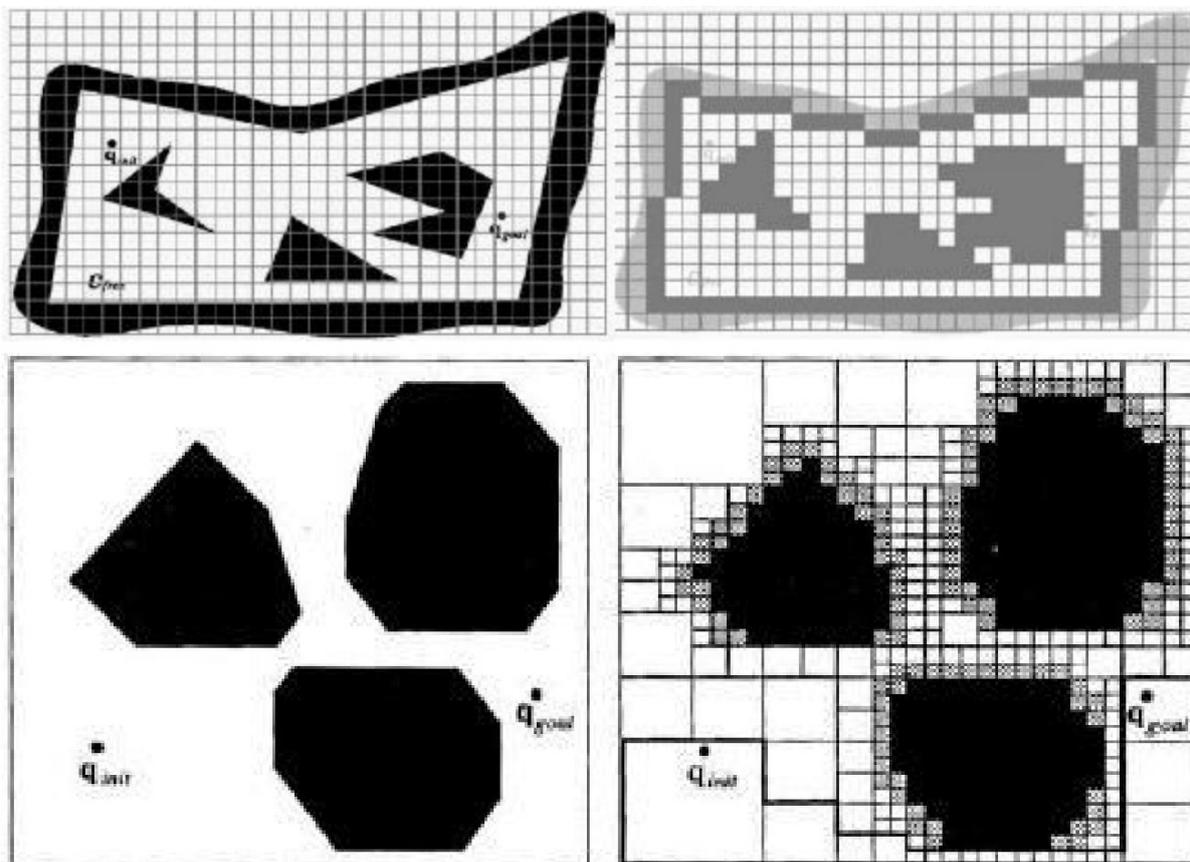


Figure3.9 – Décomposition en cellules de taille fixe ou variable

On peut également faire intervenir le temps, pour diminuer la validité des mesures associées à des cellules dont l'état n'a pas été mesuré récemment.

3.3.2- Cartes topologiques

Dans le cas d'environnements de grande taille, la construction d'une représentation purement géométrique peut s'avérer insuffisante et trop lourde à manipuler.

Il est alors pertinent d'ajouter une information topologique, correspondant typiquement à un graphe discret représentant différentes zones et donc différentes cartes géométriques locales dans lesquelles évolue le robot. La décision d'utiliser une nouvelle carte locale peut être prise pour plusieurs raisons, par exemple parce qu'on rencontre une configuration particulière de l'environnement, comme un passage, ou parce que l'erreur de localisation dans la carte précédente est grande. La rencontre d'une boucle dans le graphe peut permettre une remise à jour des différentes cartes géométriques locales

3.4-Localisation et cartographie simultanées (SLAM) :

3.4.1-Définition :

a) Les origines :

Le problème de localisation et cartographie simultanées (SLAM) traite deux questions importantes dans la robotique mobile. La première question est : Où suis-je?

La réponse à cette question déduit la localisation du robot.

La deuxième question concerne les caractéristiques de l'environnement du robot c'est : à ce qu'il existe un obstacle où je me trouve?

Dans un système de SLAM, un robot mobile placé dans un environnement inconnu, dans une position inconnue, doit construire la carte de l'environnement tout en essayant de se localiser par rapport à cette carte. Le robot dispose de plusieurs capteurs qui l'aident à récupérer les informations dont il a besoin. La réalisation de cette tâche peut paraître impossible dans la mesure où le robot a besoin d'une carte pour se localiser, mais en même temps il doit connaître sa position (se localiser) pour pouvoir construire la carte.

Afin de faciliter le traitement de cette relation, on unie les deux questions précédentes en une seule question : Où suis-je dans la carte et ou se positionne les obstacles observé ?

3.4.2-Formulation du problème de SLAM :

Le SLAM est composé d'un ensemble de méthodes permettant à un robot de construire une carte d'un environnement et en même temps de se localiser en utilisant cette carte.

La trajectoire du robot et la position des obstacles dans la carte sont estimées au fur et à mesure, sans avoir besoin de connaissances a priori.

Considérons un robot se déplaçant dans un environnement inconnu, en observant un certain nombre d'obstacle grâce à un capteur embarqué sur le robot.

3.4.3-La localisation :

Le problème de localisation du robot et les obstacles consiste à estimer sa position dans un environnement donné, en utilisant l'historique de ses observations, l'historique des commandes et la connaissance de l'environnement.

3.4.4-La cartographie :

Le problème de cartographie consiste à déterminer la carte d'un environnement, en utilisant les données des capteurs et l'historique des positions réelles du robot et des obstacles.

3.4.5-Résolution du SLAM :

De nombreuses recherches tentent de résoudre le problème de la localisation et la cartographie simultanées, communément appelé SLAM.

Chapitre3 Modélisation

Les principales méthodes de SLAM sont basées sur des méthodes d'estimation statistiques. Il s'agit de filtrage statistique permettant d'estimer l'état d'un système dynamique à partir des données en provenance d'un ou plusieurs capteurs. On cherche à connaître l'état courant qui correspond le mieux aux données récupérées et, éventuellement, aux informations a priori dont on dispose. Les algorithmes développés peuvent être classés selon plusieurs critères :

- * les types de capteurs utilisés.
- * les méthodes de calcul adoptées.
- * les types de cartes représentant l'environnement.

On trouve ainsi des algorithmes basés sur la vision par ordinateur en utilisant une caméra ou plusieurs caméras, et des algorithmes qui utilisent un (ou plusieurs) capteur laser ou sonar.

Concernant les méthodes de calcul, deux grandes familles existent :

1-les algorithmes basés sur l'utilisation du filtrage de Kalman .

les algorithmes utilisant des filtres à particules, ou des filtres particuliers Rao-Blackwellisés (un mélange de filtrage particulaire et de filtrage de Kalman -comme FastSLAM)[4].

On peut également classer les systèmes de SLAM suivant l'environnement de travail.

On trouve ainsi le SLAM terrestre à l'intérieur et à l'extérieur, le SLAM aérien ainsi que le SLAM sous-marin. La majorité des travaux de recherche se concentre sur le SLAM par des systèmes robotisés terrestres dans des environnements internes, mais de plus en plus de travaux traitent le cas de robots aériens ou sous-marins.

Certaines recherches ont porté sur la comparaison des différents algorithmes au niveau des performances et de la vitesse de calcul. Les résultats de ces comparaisons montrent que le problème n'est toujours pas universellement résolu.

3.4-6-Représentation de la carte

Le choix de la représentation de la carte de l'environnement est une étape importante dans le SLAM. Il existe trois approches fondamentales de représentation de l'environnement :

- * L'approche directe.
- * L'approche basée sur les caractéristiques géométriques (feature-based).
- * L'approche basée sur une grille d'occupation (grid-based) .

La carte de l'environnement peut aussi être représentée par une approche topologique. Mais cette méthode n'est pas analysée, dans la mesure où elle est basée sur un partitionnement des cartes de types L'approche des primitives géométriques (feature-based) ou L'approche en cellules rectangulaires (grid-based) en régions cohérentes.

3.4.7-L'approche directe :

La méthode de représentation directe de la carte de l'environnement est généralement adaptée à l'utilisation des capteurs Laser. Cette méthode utilise les données brutes des mesures du capteur pour représenter l'environnement sans aucune extraction d'obstacle ou de caractéristiques prédéfinies (lignes, coins...).

Dans le cas d'un capteur laser, chaque mesure est constituée d'un ensemble de points d'impact du faisceau laser sur les objets de l'environnement. On peut ainsi construire une

carte simplement en superposant les différents points de mesure. On obtient ainsi une représentation en nuage de points.

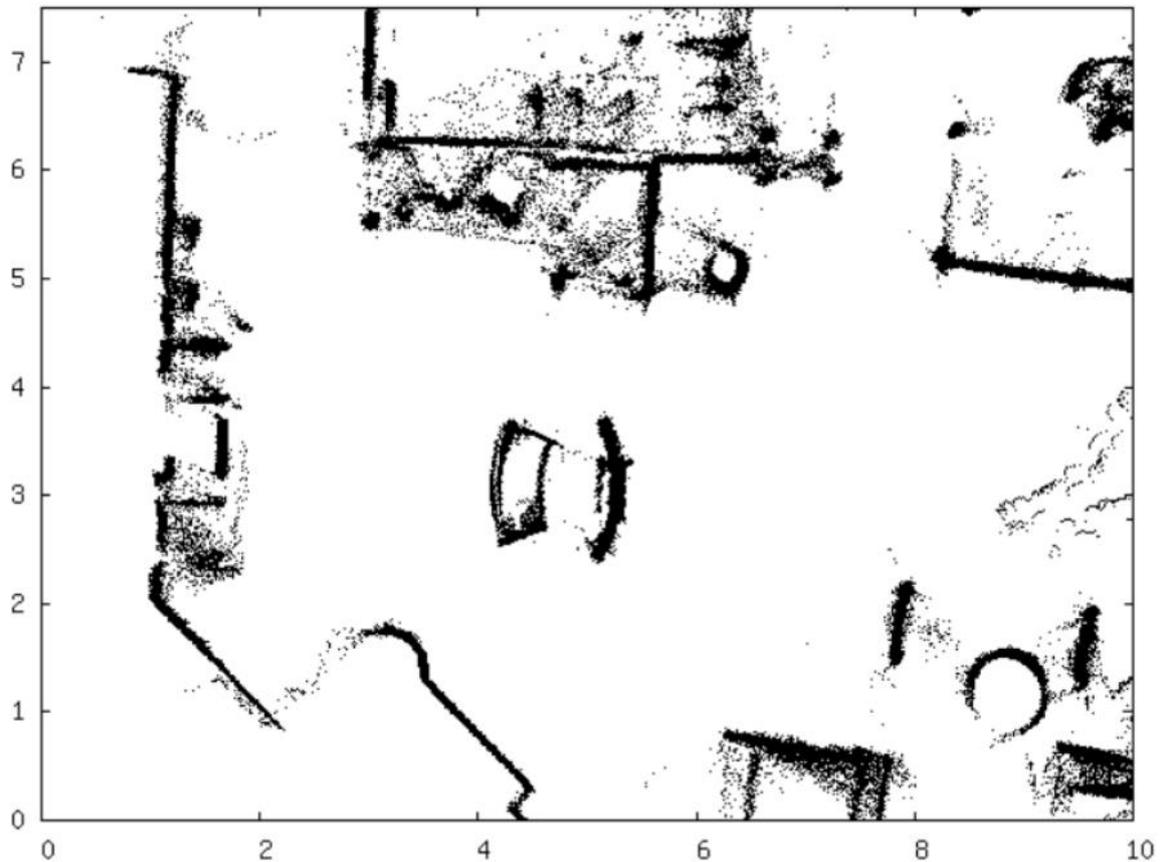


figure3.10 montre un exemple d'une carte en nuage de points.

3.4.8-L'approche des primitives géométriques (feature-based) :

Cette méthode réduit les données des mesures en caractéristiques prédéfinies. On utilise généralement des primitives géométriques, comme des lignes, des cercles ou des

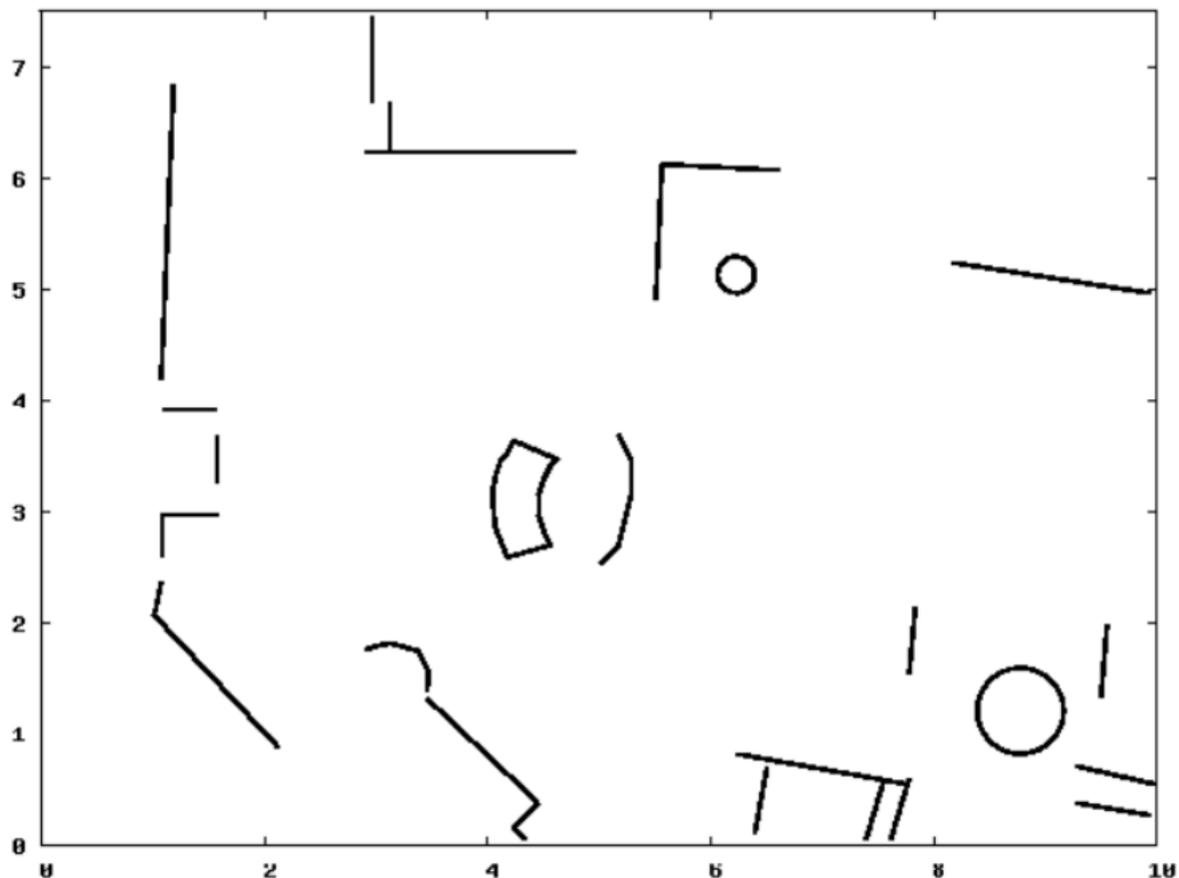
coins. La création de la carte consiste ensuite à estimer les paramètres des primitives afin qu'ils correspondent au mieux aux observations.

Pour détecter les caractéristiques géométriques, plusieurs méthodes existent. Les plus connues sont :

* La méthode split-and-merge pour la détection des segments de lignes [5].

*La transformation de Hough pour la détection des lignes ou des cercles [6].

*RANSAC pour la détection des lignes ou des cercles aussi [7].



La figure3.11 un exemple d'une carte des primitives géométriques (feature-based).

Ce type de cartes est limité aux objets et formes modélisés et prédéfinis. Il est donc incompatible avec les environnements trop complexes et non structurés.

Contrairement à la méthode directe de représentation, où on reproduit fidèlement la structure de l'environnement, les approches feature-based sont des approximations seulement.

3.4.9-L'approche en cellules rectangulaires (grid-based) :

Dans cette représentation, l'environnement est divisé en cellules rectangulaires. La résolution de la représentation de l'environnement dépend directement de la taille des cellules. En plus de cette discrétisation de l'espace, une mesure de probabilité d'occupation est estimée pour chaque cellule indiquant si celle-ci est occupée ou non.

La mise à jour de l'état de chaque cellule se fait à la réception de nouvelles données.

On trouve plusieurs méthodes pour réaliser cette opération :

* Le filtrage bayésien : cette méthode a notamment été utilisée par Thrun afin de modéliser la connaissance sur l'état de la cellule. Dans cette approche, on attribue à chaque cellule une probabilité entre 0 et 1.

Une probabilité de 0 signifie que la cellule est libre. La probabilité de 1 signifie qu'elle est occupée.

* La théorie de Dempster-Shafer : dans cette approche on associe à chaque cellule deux poids probabiliste, P_f et P_e .

P_f : est une mesure de l'importance des informations fournies par les capteurs extéroceptifs qui indique la cellule est occupée.

Chapitre3 Modélisation

P_e : mesure l'importance des informations contraires (cellule vide).

P_f et P_e varient entre 0 et 1, et leur somme est toujours inférieure ou égale à 1. Ainsi, un couple $(P_f, P_e) = (0,0)$ indique l'absence d'information sur la cellule (c'est la valeur d'initialisation de la carte).

Alors que le couple $(P_f, P_e) = (1,0)$ indique que la cellule est occupée.

*La logique floue : l'état d'occupation de la cellule est modélisé par un ensemble flou. Chaque cellule peut exprimer à la fois deux états partiels ($E = \text{vide}$ et $O = \text{occupée}$) et le degré d'appartenance entre eux se détermine en utilisant la théorie des possibilités. Dans cette approche, chaque cellule peut avoir des données conflictuelles ($E \cap O$) fournies par le capteur, elle sera considérée comme une cellule ni libre ni occupée.

Afin d'éliminer l'ambiguïté sur l'état de ce type de cellule, on a besoin de plus de données en provenance des capteurs.

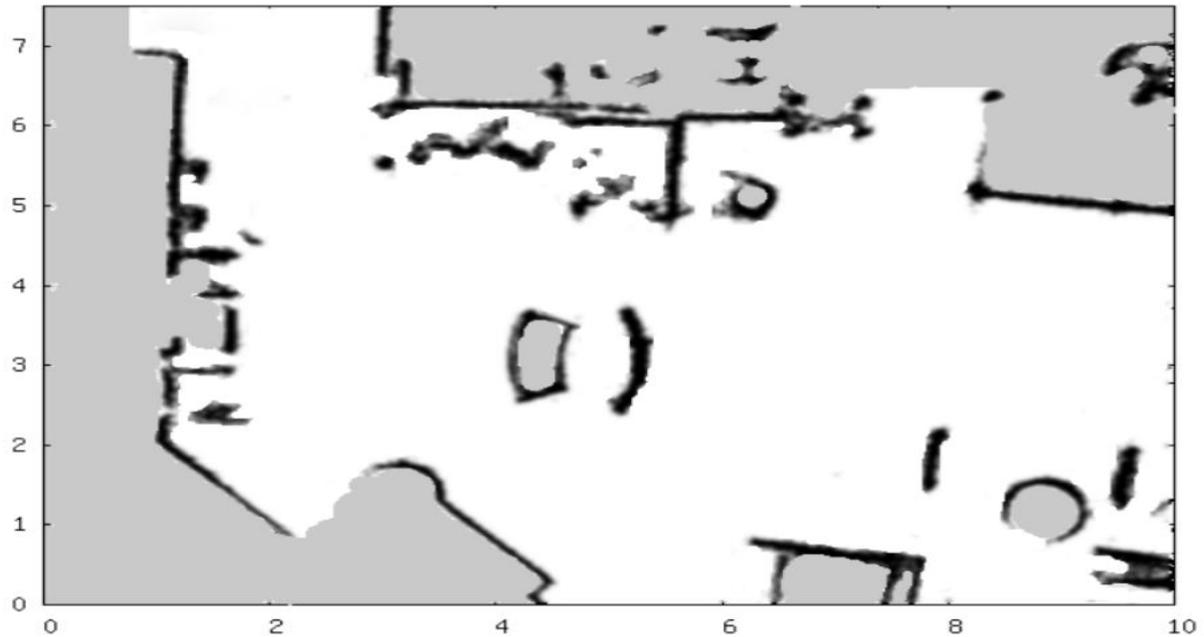


Figure3.12 Carte base sur une grille d'occupation.

La figure présente un exemple d'une carte basée sur une grille d'occupation.

Les cellules en blanc représentent l'espace libre, tandis que les cellules en noir indiquent la présence d'obstacles. L'approche basée sur une grille d'occupation est efficace lorsqu'il s'agit de modéliser l'incertitude ou fusionner les mesures de différents capteurs.

3.4.10-Comparaison entre les types de cartes :

-Malgré sa simplicité, l'approche directe peut représenter tous les types des environnements. Mais elle présente l'inconvénient d'une grande consommation de mémoire et d'un manque de précision concernant la représentation de l'incertitude dans les mesures des capteurs.

-Les cartes des primitives géométriques (feature-based) constituent une représentation compacte de l'environnement. Elles sont néanmoins basées sur l'extraction de caractéristiques connues et prédéfinies, ce qui limite leur utilisation aux environnements structurés et internes.

-Les grilles d'occupation utilisent aussi une grande quantité de mémoire, mais elles offrent la possibilité de représenter tous les types d'environnements avec une prise en charge des caractéristiques des capteurs. Ce type d'approches est le mieux adaptés aux capteurs de profondeur comme les lasers ou les sonars.

3.5-LE SLAM VISUEL :

L'utilisation de capteur de vision en fournissant une information dense et riche va permettre d'un cote, de simplifier certains aspects du problème du SLAM (association de données) mais d'un autre cote, va introduire des difficultés supplémentaires dues au caractère projectif du capteur (observabilité) et a la densité des informations (complexité et cout calculatoire).

3.5.1- Spécificités du SLAM visuel :

Les caractéristiques qui distinguent le SLAM visuel du SLAM avec un capteur télémétrique sont :

– richesse d'information qui permet de simplifier les problèmes d'association de données et

de relocalisation,

- information projective dans le cas monoculaire qui nécessite un traitement approprié de l'information partielle obtenue,
- une caméra permet d'estimer les 6 degrés de liberté du mouvement d'un robot (une fois le facteur d'échelle fixe),
- fréquence d'acquisition élevée (~ 30-100 Hz habituellement).

3.6-Conclusion :

dans ce chapitre on traite l'odométrie c'est-à-dire les calculs qui permettent de localiser le robot mobile et les différents obstacles par les mesures fournies par les capteurs dans la mesure de construire une cartographie de l'environnement du robot, on cite quelques types de cette dernière ; avec le principe de Localisation et cartographie simultanées (SLAM).

CHAPITRE 4

TESTS ET RESULTATS

4.1-Introduction :

Plusieurs techniques ont été développées pour connaître, de façon autonome, la position d'un robot mobile dans son environnement. Parmi celles-ci, les méthodes connues sous l'acronyme SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) qui fournissent simultanément la position du robot mobile et une carte fiable et précise de l'environnement d'évolution. Car une carte précise et détaillée représente une source d'information indispensable pour réaliser une bonne localisation du robot mobile, et les obstacles qui font face, Mais, pour élaborer une carte correcte, une localisation du robot mobile dans son environnement et aussi importante. La localisation et cartographie simultanées SLAM , permet au robot de mettre en place une base de connaissances, grâce à la construction progressive de la carte, en utilisant les données de ses capteurs, tout en estimant sa localisation sur la carte. Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre précédent, il existe plusieurs techniques pour l'estimation des postures des amers.

Dans notre projet, on utilise le programme de l'arduino en collaboration avec Matlab pour atteindre notre but est de tracer une cartographie.

Ceci fait l'objet de ce chapitre. Mais, on commence d'abord par la

Présentation du robot utilisée :

4.2 Composition du robot mobile :

4.2.1-partie mécanique :

a- La plateforme utilisée :

Le robot mobile que nous avons utilisé est une plateforme expérimentale construite au laboratoire de l'université, pouvant se déplacer dans un milieu intérieur. Conçu spécialement pour la localisation et la cartographie.

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

Le robot construit se déplace grâce à ses deux roues disposées de part et d'autre, sous une plateforme demie ovale. De 28cm x 35cm, il pèse environ (1.5kg) avec batterie et peut supporter une charge supplémentaire de (2kg), la distance entre les deux roues est de 20cm.

Ce robot mobile est aussi muni d'odomètre qui sert à mesurer sa position et son l'orientation et la posture et l'orientation des obstacles par apport a lui. Les données provenant de ces Capteurs sont présentés sous des équations sur X et Y ainsi que son orientation. De ce fait la position de ces derniers peut être directement lue.

Les vitesses (rotation et translation) du robot à traction synchrone (synchro drive) peuvent être positives ou négatives. Cela signifie qu'il peut se déplacer en avant ou en arrière, Tourner sur lui-même ou en suivant un virage.

Les capteurs et les actionneurs sont connectés à la carte arduino et contrôlé par un ordinateur extérieur.

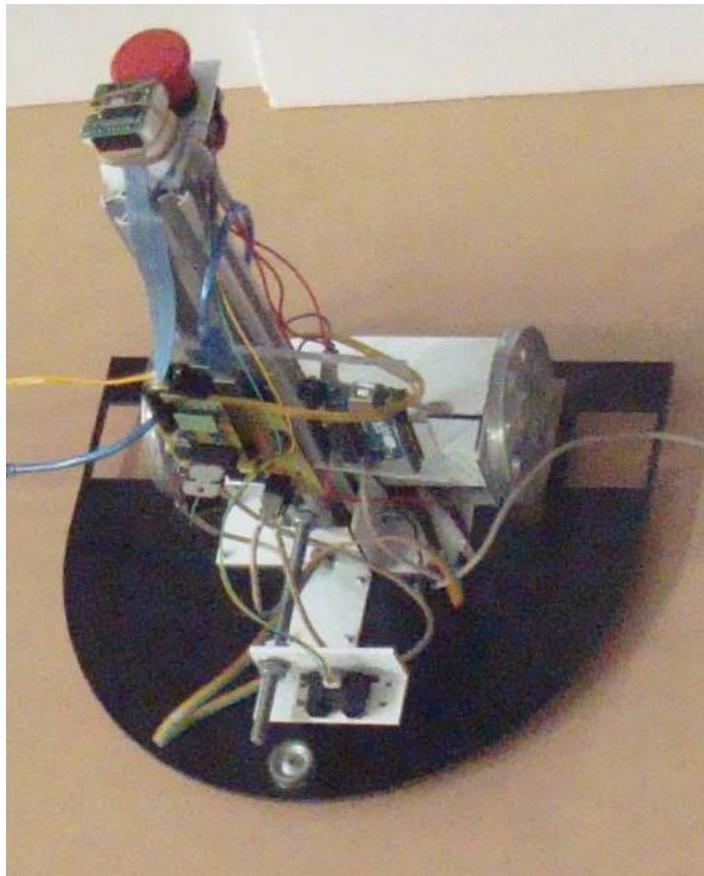


Fig4.1-image du robot réalisé.

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

b -le bloc moteur :

Chacune des deux roues du robot mobile est couplée à un moteur à courant continu ou l'énergie électrique est transformée en une énergie mécanique.

*Le principe de fonctionnement :

Un moteur à courant continu se compose :

*de l'inducteur ou du stator

*de l'induit ou du rotor

*du collecteur et des balais

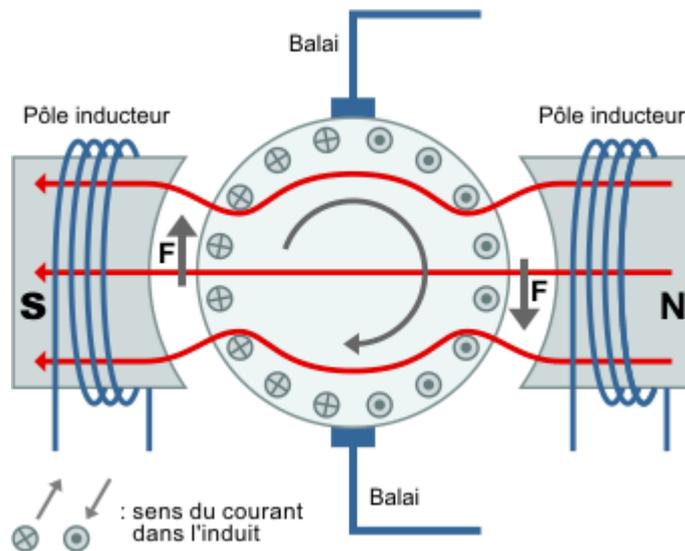


Fig4.3-illustration d'un moteur à courant continu

4.2.2-la partie électronique :

Pour la mise en marche du système mécanique du robot on doit disposer de plusieurs cartes électroniques qui assurent le bon fonctionnement de ce dernier, telles que la carte de commande et la carte de puissance et les différents capteurs utilisés.

a- la carte de commande :

La carte de commande permet le contrôle et la gestion de toutes les autres carte, elle récupère les informations des capteurs puis elle effectue des traitements en fonction de ces informations, elle délivre les commandes adéquates aux cartes pilotant les différents moteurs du robot.

Dans notre réalisation nous avons choisis un microcontrôleur pour la commande du robot il s'agit de la carte arduino méga

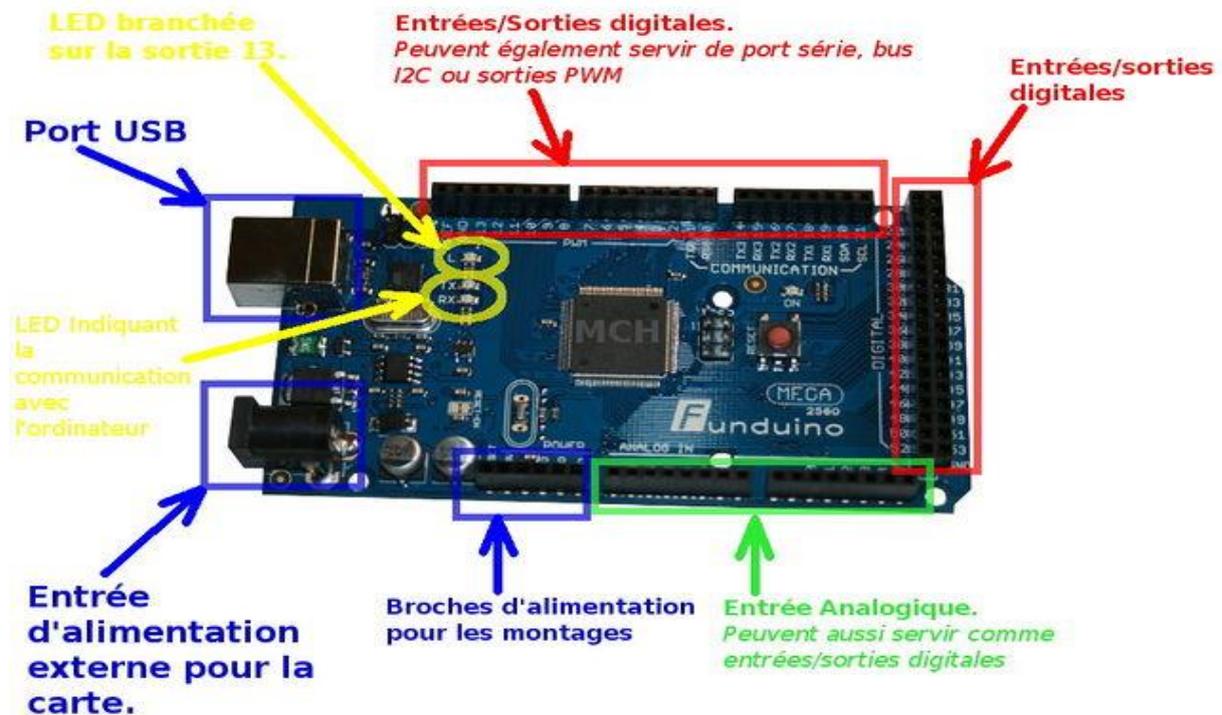


Fig4. 5—description de la carte arduino mega

s Chapitre 4 TESTS ET

RESULTATS.

Les éléments importants sont:

- Le port USB
- Le LED de communication RX/TX
- La LED branché sur la sortie 13

***Le Port USB**

Ce dernier est utilisé:

1. Pour alimenter la carte s'il n'y a pas d'alimentation extérieure. Il n'est pas possible d'alimenter des projets gourmands en énergie via le port USB.
2. Programmer la carte à l'aide de l'environnement de développement Arduino IDE.
3. Communiquer avec un ordinateur par l'intermédiaire d'une connexion série (via le convertisseur USB / Série se trouvant sur la carte juste à côté du port USB).

***Les LED RX/TX**

Permet de savoir que votre ordinateur communique bien avec votre Arduino.

Ces LEDS clignotent aussi pendant la programmation de la carte.

***La LED Pin 13**

C'est cette dernière que nous allons utiliser pour se familiariser avec l'environnement Arduino.

B -la carte de puissance :

La carte de puissance joue le rôle d'une carte d'interface entre la carte de commande et la partie motrice comportant des composants mécaniques, elle nous permet de

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

Commander les moteurs à courant continu suivant les ordres fournis par la carte de commande.

Notre carte de puissance est composée de quatre ponts en H, ce dernier est constitué de quatre transistors qui travaillent comme des interrupteurs et permettent d'obtenir quatre états selon la façon dont ils sont commandés.

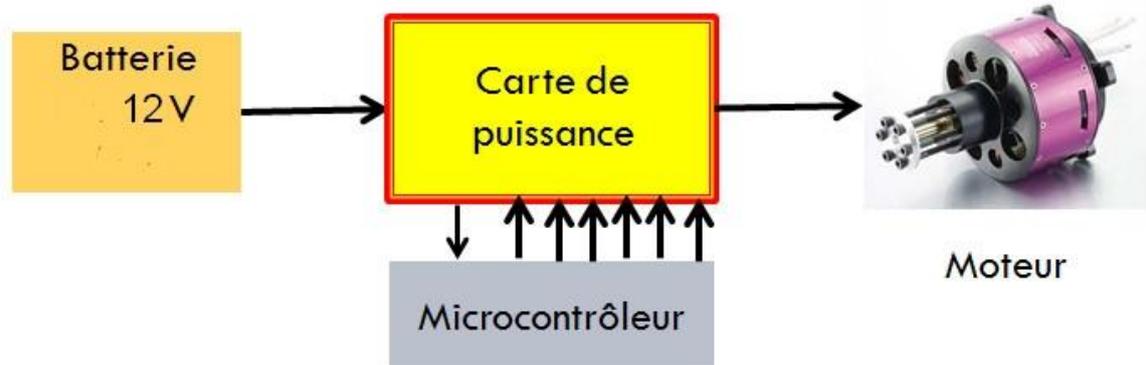


Fig 4.6 schéma simple du positionnement de la carte de puissance

b.1- le pont en H :

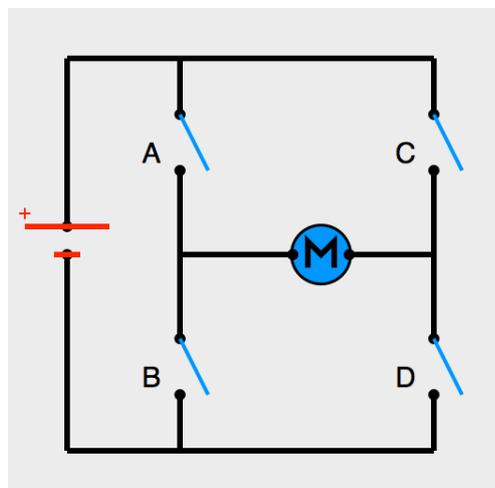


Fig4.7- le pont H

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

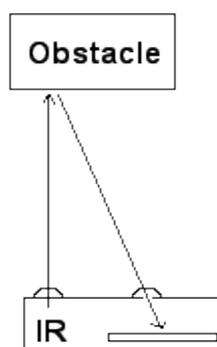
La première fonction du pont H est de fournir des courants suffisants aux moteurs en permettant leur contrôle par le microcontrôleur, et aussi de pouvoir inverser la tension aux bornes du moteur pour inverser le sens de rotation.

b.2- les capteurs :

Les capteurs ont une place importante dans le système de traitement d'un robot, ils peuvent à la fois informer le robot sur le milieu extérieur et sur ses propres actions en vérifiant l'état de ses actionneurs, donc ils sont indispensables pour un robot autonome.

Dans notre travail, on a choisi un capteur infrarouge.

Le capteur infrarouge peut aussi être utilisé en capteur de distance en mesurant l'angle avec lequel le rayon réfléchi arrive sur le récepteur. En fonction de la distance entre l'émetteur et le récepteur, on peut en déduire la distance de l'obstacle.



Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

Un capteur infrarouge permettra une meilleure précision mais au détriment d'une largeur de cône de détection moins importante et d'une portée plus faible. Le capteur infrarouge est sensible aux sources de lumière qui contiennent un fort rayonnement infrarouge et également à la couleur et la nature des obstacles.

b.3- Boussole Magnétique CMPS03 :

Un capteur boussole est très utile pour un robot mobile. Cela lui donne un repère fixe lui permettant de s'orienter de manière absolue. Couplé à d'autres capteurs comme les encodeurs et des capteurs de distance, vous pourrez obtenir des robots mobiles capables de se déplacer et de se repérer de manière autonome et efficace dans un environnement.

Boussole magnétique avec 0.1 degré de résolution et une erreur variant de 3 à 4 degrés.

- Très pratique lorsque le roboticien entreprend une tâche de navigation
- Fournit l'orientation par PWM ou par I2C

Ce petit module est capable de détecter le "nord" grâce à l'emploi de 2 capteurs spécialisés montés en angle à 90° et par déduction de vous indiquer son orientation par le biais d'un échange d'information via un bus I2C™ ou d'un signal "PWM".

Le signal PWM fournit une impulsion comprise entre 1 ms (0°) et 36,99 ms (359,9°) avec une résolution d'environ 100 us / °).

Pour une plus grande facilité, le bus "I2C™" pourra également être utilisé pour récupérer les informations sous forme d'un mot binaire compris entre 0 et 255 ou 0 et 3599 (correspondant ici à 0 et 359,9 °).

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

Caractéristiques techniques:

- Alimentation: + 5 Vcc.
- Consommation: 20 mA.
- Résolution: 0.1 °.
- Précision: 3 à 4 ° env.
- Dimensions: 32 x 35 mm.

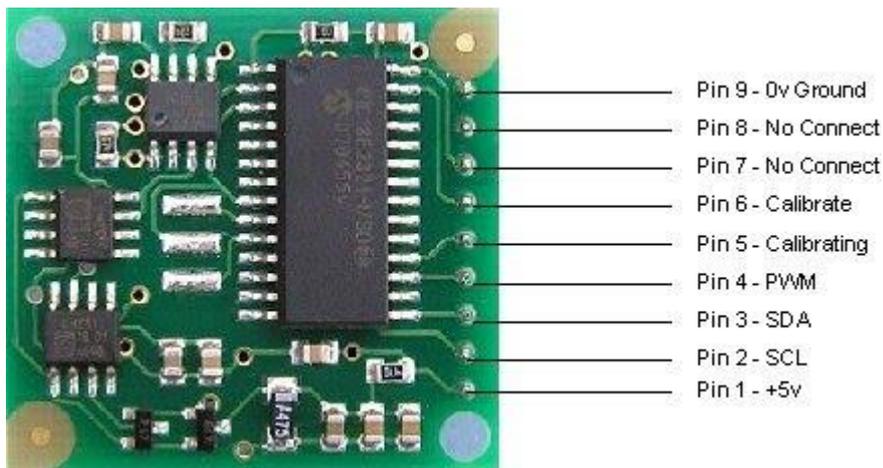


Figure 4.11-boussole cmeps03

B.4- I2C :

I2C est un bus série permettant de transmettre des informations de façon asynchrone entre divers circuits connectés sur le bus. Le protocole de la liaison est du type MAITRE/ESCLAVE. Chaque circuit est reconnu par son adresse et peut être soit transmetteur soit receveur de l'information. Ces circuits peuvent être : Un ordinateur, un microcontrôleur, un microprocesseur, une mémoire, un périphérique (clavier, écran,...) etc.

Dans le protocole du bus I2C le circuit maître est celui qui demande un transfert d'information sur le bus et qui génère le signal d'horloge qui permet le transfert. Ainsi un circuit adressé est considéré comme un esclave.

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

Le bus I2C est un bus multi maître, cela signifie que plusieurs circuits peuvent contrôler le bus.

C – batterie 12 Volts :

Pour rendre un robot autonome il faut bien une batterie, celle utilisé est de 12 volts, dans le but de fournir la puissance au besoin de notre carte et d'avoir l'autonomie adéquate pour la durée du parcours.



Fig4.12-Batterie12 volts

4-3-Programmation :

4-3--1-Programmation avec Matlab :

Matlab est un langage de programmation et un environnement de développement, et un outil qui permet de faire des calculs numériques d'algèbre linéaire de façon assez simple et d'afficher des courbes sur des quantités de données relativement conséquentes. et peut interfacer avec d'autres langages

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

comme le c, c++, java ; Matlab peut s'utiliser seul ou bien avec des toolbox .

On retrouve le Matlab dans tous les domaines qui mélangent une bonne dose de math et d'informatique, c'est un outil pratique et puissant.

Avec Matlab nous avons un simulateur qui permettait de produire les entrées / sorties de chaque sous fonctions du système et de les tester unitairement avant de toutes les intégrer.

Dans notre étude ont utilisé le Matlab pour tracer la courbe des valeurs délivré par le capteur infrarouge selon les distances donnée ; les valeurs des axes (x,y) sont entrés -140 et 600 ,le

port série est nommé (S1) qui est relié au com (10) la vitesse de transmission est au max 115200 (nombre de bits transmis par seconde),on utilise la boucle while on analyse la chaîne d'entrée data de gauche à droite en renvoyant la totalité de cette chaîne en [th,r] tel que :

Th : est l'angle de rotation du robot (la boussole, sonar) en degré.

r : la distance des amers par rapport du capteur infrarouge en centimètre.

On convertit les coordonnées polaires reçues en coordonnées cartésiennes, l'angle reçu est en degré et on le convertit en radian selon l'équation suivante :

$$(x,y)=\text{poly2cart}[(2\pi*\text{th}/360),r].$$

Et à la fin on obtient l'image de la cartographie de l'environnement à proximité du robot.

On réalise ce test pour le capteur infrarouge on donnant des valeurs de distance de l'obstacle et on reçoit les valeurs correspondant fournis par ce dernier :

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

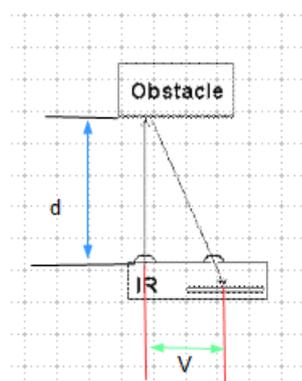


Fig 4. -Schéma illustrant d et v

Les différents valeurs de « d » et « v » reçus :

d	v
13	570
15	556
17	539
19	518
21	493
23	472
25	442
27	417
29	396
31	374
33	356
35	337
37	321
39	307
41	292
43	280
45	269
47	258
49	250
51	238
53	229
55	221
57	215
59	209
61	200
63	192
65	188
67	185
69	181
71	174
73	172
75	167
77	164
79	160
81	155
83	150
85	146
87	142

89	140
91	140
93	136
95	133
97	132
99	129
101	125
103	118
105	115
107	114
109	111
111	110
113	105
115	104
117	101
119	100
121	99
123	96
125	95
127	92
129	91
131	88

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

d : distance donnée (centimètre).

V : la valeur fournis (une tension en volte).

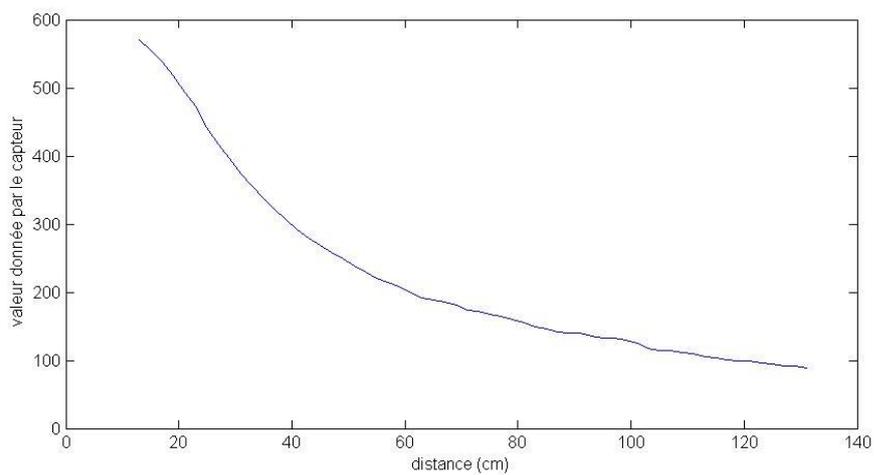


fig4.13 la courbe $d=k/v$

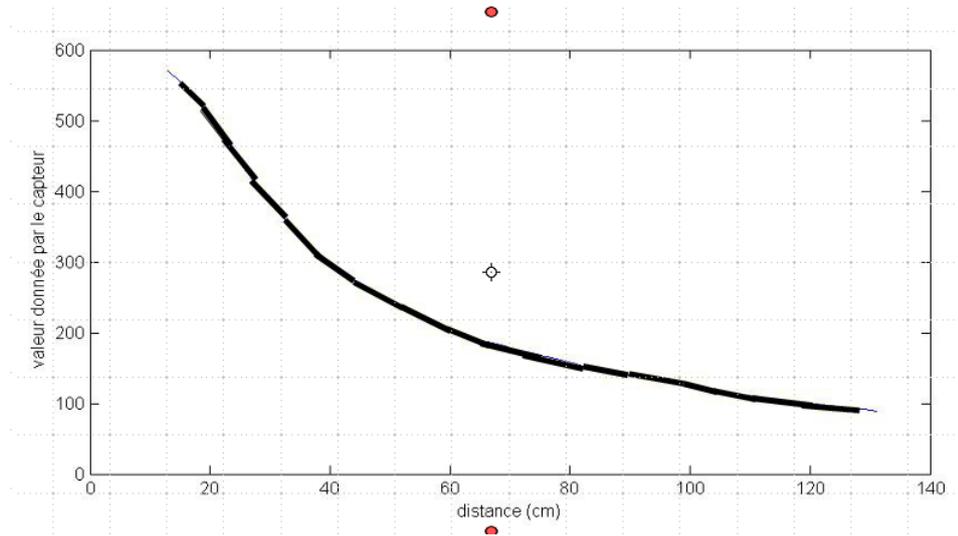


fig4.14- Segmentation du graphe $d=k/v$

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

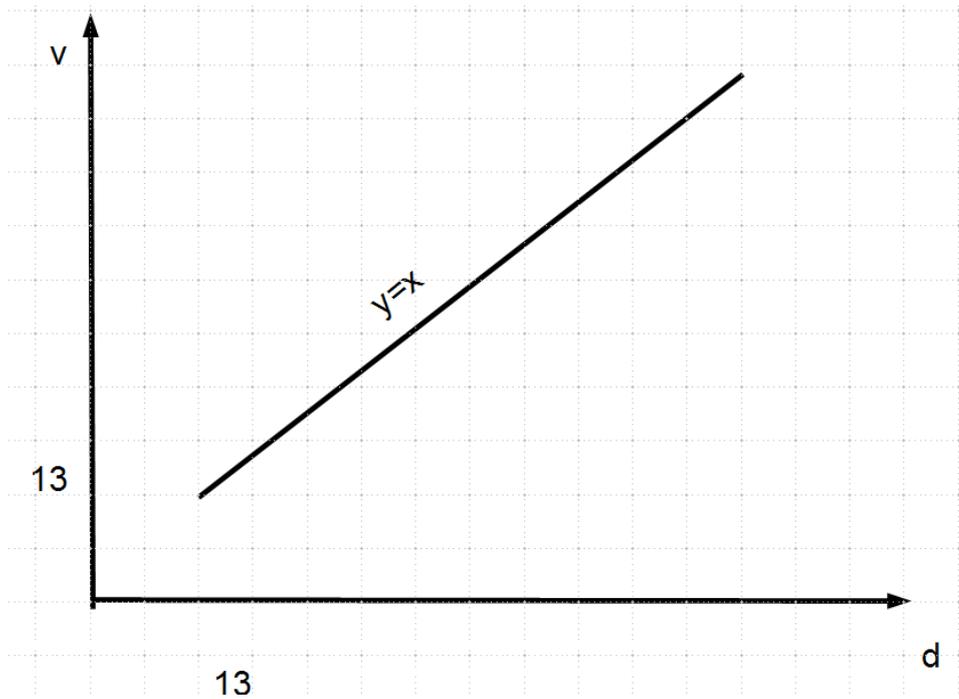


Fig4.15-Alignement de la fonction $d=k/v$

4-3-2-Programmation de l'arduino :

L'expression Arduino englobe l'univers de l'électronique et de la programmation pour nous offrir un monde créatif. C'est une carte électronique qui est un croisement entre un ordinateur très simplifié et un automate programmable, c'est une carte prête à l'emploi et qui peut être programmée pour piloter tout ce que l'on souhaite.

Une Arduino possède généralement :

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

- un microcontrôleur pour stocker notre programme appelé « sketch » et l'exécuter.
- un port USB pour interagir avec la carte grâce à un ordinateur pour pouvoir charger notre « sketch » dans le microcontrôleur appelé aussi le téléversement. Le port USB est également un moyen d'alimentation de la carte
- une alimentation 7-12v pour la mise sous tension de la carte si on ne veut pas passer par l'USB
- des broches délivrant une tension pour alimenter d'autres composants électroniques en 3.3v ou 5v
- des broches analogiques/numériques pour y connecter tout un tas de capteurs/composants (capteur de température, son, ultrason, luminosité, écran LCD, LED ou tactile)

4-4-Les avantages d'Arduino :

- * La communauté, qui est très importante. Cela facilite les échanges entre les utilisateurs sur les différentes cartes pour surmonter les problèmes que nous pourrions rencontrer.
- * La simplicité. Arduino rime avec la simplicité. Pour que des débutants en électronique et en programmation puissent concevoir des prototypes très rapidement.
- * Le multiplateforme. Pour programmer une carte Arduino et lui faire ce que nous avons en tête, il faut pour cela la connecter à un ordinateur et utiliser l'IDE Arduino, le logiciel permettant de programmer toutes les cartes Arduino. L'IDE est multiplateforme en étant disponible sous Windows et Linux.
- * Les « shields ». Ce sont des cartes supplémentaires qui se connectent directement et facilement sur une carte Arduino pour augmenter ses possibilités en rajoutant par exemple un GPS, une interface Ethernet ou Wifi, un écran LCD, un capteur, etc...

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

* Aucune limite. Utiliser une Arduino c'est l'adopter. Aucune limite dans les projets de conception sur Arduino.

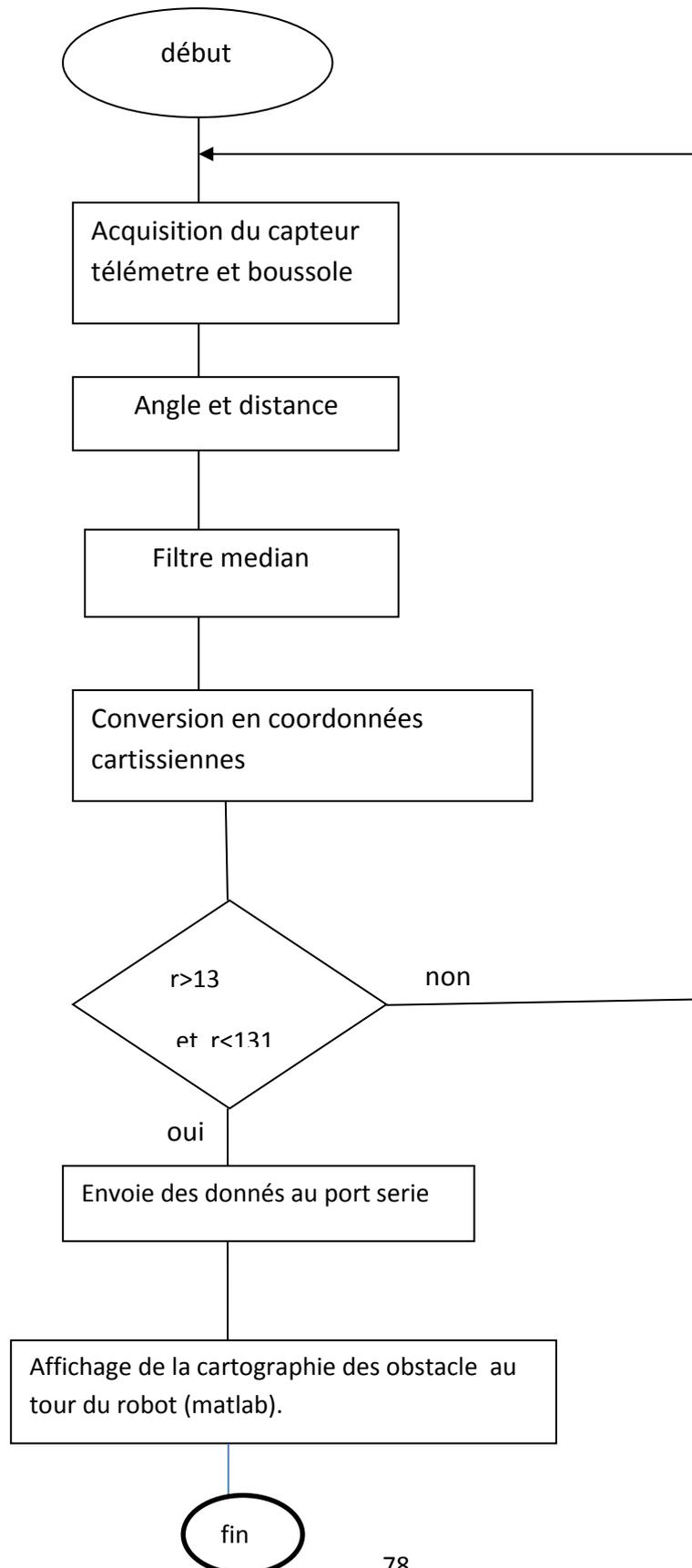
4-5-Filtre médian

Le filtre médian est un filtre numérique non linéaire, souvent utilisé pour la réduction de bruit. La réduction de bruit est une étape de prétraitement classique visant à améliorer les résultats de traitements futurs (détection de bords par exemple).

4-6-Les étapes du programme arduino :

Ce programme contient 03 étapes on utilisant un filtre médian, en premier il accueille la distance et l'angle grâce à une boussole et un télémètre sachant que ce dernier ne donne pas des mesure direct c'est selon une fonction $d=k/v$, on passe en suite à la segmentation du graphe en reliant entre 3 points successive pour avoir à la fin 20valeurs en reliant entre les segments on obtient une droite qui commence de la première valeur (13) de cette finalité on peut avoir l'affichage de la distance et l'angle d'une manière direct

4-6-1-L'organigramme du programme arduino :



Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

4-6-2-Résultat final des logiciels utilisés :

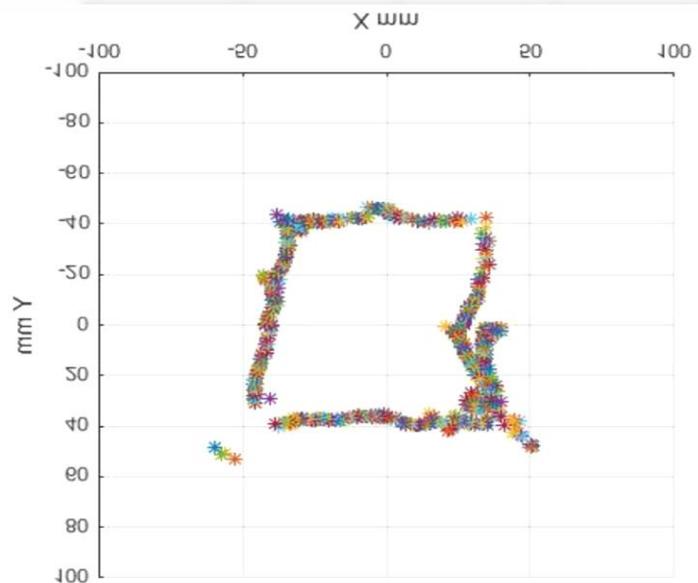
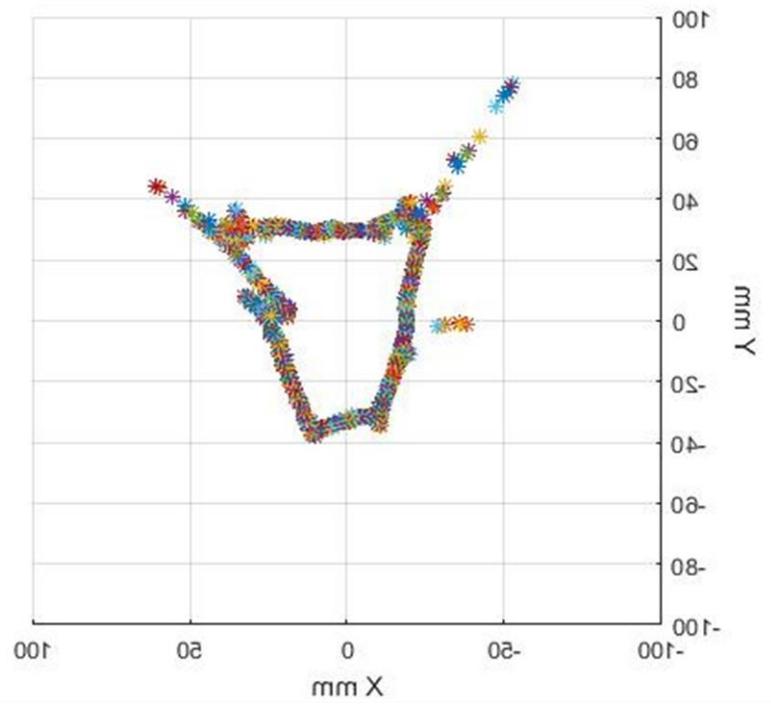
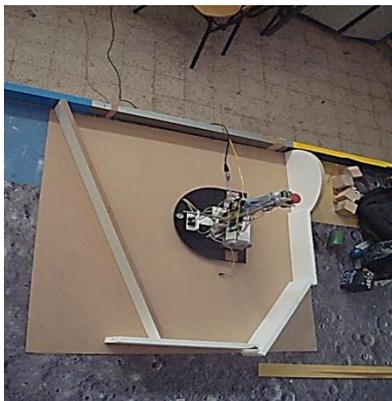


Figure 4.15 : Résultats obtenus après une rotation de 360°

Chapitre 4 TESTS ET RESULTATS.

Les figures précédentes nous donnent un aperçu sur la fonctionnalité de notre système. En effet en observant les deux exemples nous pouvons constater que les graphes obtenus à partir du programme Matlab représentent, d'une manière assez claire l'environnement entourant le robot. Nous pouvons ainsi conclure que nous sommes arrivés à reconstituer cet environnement dans le sens où le robot peut déduire sa position à partir des obstacles qui l'entourent. Les imperfections observées sont dues au fait que le robot n'a pas effectué une rotation parfaite autour de son centre, les variations du centre de rotation ont fait que certaines parties des cotés observées sur la photo ont été légèrement déformés.

4-7-Conclusion :

Dans ce chapitre nous présentons le matériel et les techniques utilisés dans le projet qui ont permis le bon fonctionnement de notre système.

Conclusion générale

4-8-Conclusion générale :

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire, concerne la localisation et la cartographie simultanée de l'environnement d'un robot mobile. Tel que nous le montrent les exemples de la figure 4.15 nous pouvons considérer que nous sommes arrivés à produire les résultats escomptés tel prévus par le cahier des charges. Le problème de la localisation est bien connu des chercheurs dans le domaine de la robotique, il n'y a pas de solution parfaite permettant à un robot de connaître sa position instantanée avec une grande précision, cela est essentiellement due à l'imperfection des capteurs utilisés et le caractère dynamique de l'environnement dans lequel évolue le robot. Les méthodes connues sous l'appellation « SLAM » tentent de résoudre ce problème en se basant sur des calculs de probabilité pour estimer d'une manière aussi optimale que possible les positions des obstacles autour du robot lors de ses mouvements. La majorité des travaux récents utilisent ces algorithmes en exploitant les routines déjà implémentés sur le système ROS (Robotics Operating System), ce dernier est disponible gratuitement et comprend l'essentiel des algorithmes utilisés dans le domaine de la robotique y compris ceux concernant la vision artificielle. Il faut noter que l'exploitation de ROS demande l'utilisation d'un processeur et une mémoire assez importante pour faire fonctionner le système.

En ce qui concerne notre travail nous avons entamé ce projet avec une approche pédagogique, dans le sens où nous avons partagé cette tâche en deux parties ; La première concerne celle embarquée sur le robot et dont le rôle est de mettre les données des capteurs du robot, à la disposition de la deuxième tâche installée sur le PC et dont le rôle est de calculer et afficher les coordonnées cartésiennes du robot sur un repère fixe.

En dépit des difficultés rencontrées lors de la réalisation de ce projet nous pouvons conclure cela nous a été très bénéfique dans le sens où nous avons acquis une certaine expérience dans le domaine pratique et surtout la manière de profiter les connaissances théoriques disponible en abondance pour réaliser un système fonctionnel.

Conclusion générale

Avant de terminer ce mémoire nous espérons que ce travail va servir de base pour entamer un autre projet allant vers le même sens ; c'est-à-dire utiliser les encodeurs déjà installés sur le robot pour introduire un calcul de la position du robot à partir des équations du modèle cinématique et envoyer cette information vers le PC pour afficher l'allure de l'environnement du robot lorsque ce dernier effectue non seulement des rotations mais aussi des translations.

REFERENCE

- [1] eduscol.education.fr/orbito/system/navstar/gps1.htm.
- [2] <https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00106684/document>
- [3] tourneret.perso.enseeiht.fr/MODAP/Kalman.pdf.
- [4] www-public.tem-tsp.eu/~desbouvr/papiers-web/cr_petetin334.pdf.
- [5] <https://www.developpez.net/forums/d81537/.../split-and-merge-croissance-regions>.
- [6] Voir : <https://fr.slideshare.net/khaledfayala/dtection-des-droites-par-la-transforme-de-hough>
- [7] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/RANSAC>

Bibliographie

1- Belhouchet Khaled et Khammar Kamelia « Robot Mobile avec Suivi Visuel de ligne »2013

<http://www.memoireonline.com/01/16/9373/Robot-mobile-avec-suivi-visuel-de-ligne.html>

2-Didier ROY « Optimisation des parcours d'apprentissage à l'aide des technologies numériques »2015.

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01252695/document>

3-Faites réagir votre robot avec des capteurs 2016

<https://openclassrooms.com>

4-*Géométrie analytique II : base, repère et coordonnées* 2012

<http://tanopah.jo.free.fr/seconde/reperealpha.php>

5- Astalaseven , Eskimon et olyte « Arduino pour bien commencer en électronique et en programmation »2012.

<https://wiki.mdl29.net/lib/exe/fetch.php?media=elec:arduino-pour-bien-commencer-en-electronique-et-en-programmation.pdf>

6- Bernard BAYLE « Robotique mobile » Telecom Physique Strasbourg
Université de Strasbourg.

<https://fr.scribd.com/document/220030285/poly-3a-pdf>

7-David FILLIAT « Robotique Mobile »

www.ensta-paristech.fr

8-Éric Beaudry « Planification de tâches pour un robot mobile autonome »

http://ericbeaudry.ca/ebeaudry_memoire.pdf

