

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

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

جامعة سعد حطب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Projet de Fin d'Études

présenté par

MASSOUNE FARES

&

BENALI NADIR

Master Système de vision et robotique

Thème

CONCEPTION D'UN SYSTEME DE BALISES INFRAROUGE/ULTRASON POUR LA LOCALISATION D'UN ROBOT MOBILE

Proposé par : Mr kazedboualem

AN : 2013/2014

Résumé :

Ce projet consiste à concevoir un système de localisation pour un robot mobile évoluant dans espace limité dans un rectangle de 3 mètres de longueur sur 2 mètres de largeur. L'idée de base de ce travail est repose sur l'utilisation d'une paire de balises ultrasons dont les signaux sont synchronisés par d'autres signaux de type infrarouge.

Mots clés : Localisation – Robot mobile – ultrasons

تلخيص:

هذا المشروع يتضمن صناعة نظام التموقع من اجل ربات متحرك متطور و ذلك في فضاء محدد داخل مائدة ذات طول 3متر و2متر عرض . الفكرة المطبقة هي استعمال مرجعين للأمواج الصوتية بحيث هذه الأخيرة تبعثأمواج صوتية إلى مستقبل يوجد على الروبوت بحيث تكون ضرفية معناه محددة الزمن عن طريق لواقط ذات اشعة تحت الحمراء. كلمات المفتاح :تموقع-روبات متحرك- أشعة تحت الحمراء.

Abstract:

The aim of this project is to design an ultrasound beacon based localization system for a mobile robot, these ultrasound signals will be synchronized using two other infrared signals ; the environment of the robot is a 3 miters by 2 meters rectangle.

Keywords: Localization – mobile robot – ultrasound

Chapitre (1) : définitions et généralités.

Figure 1.1 : Le robot RUR.

Figure 1.2 : L'utilisation des robots dans les derniers temps.

Figure 1.3 : Exemple d'un robot marcheur.

Figure 1.4 : Exemple d'un robot rampant.

Figure 1.5 : Exemple d'un robot à chenilles.

Figure 1.6 : Exemple d'un robot mobile à des roues.

Figure 1.7 : quelques exemples des robots et leur domaine d'applications.

Figure 1.8.a : Odomètre.

Figure 1.8.b : Principe d'un encodeur optique.

Figure 1.9 : Robot mobile à un point donné.

Figure 1.10.a : Gyroscope mécanique de Foucault.

Figure 1.10.b: Gyroscope à structure vibratoire.

Figure 1.11 : Capteur ultrason.

Figure 1.12 : Principe de fonctionnement du capteur ultrason.

Figure 1.13.b : capteur infrarouge.

Figure 1.13.b : Principe du capteur infrarouge.

Figure 1.14 : Capteur CCD.

Chapitre (2) : le robot et les composants de localisation.

Figure 2.1 : Symbole de la diode électroluminescente.

Figure 2.2 : Diodes infrarouge.

Figure 2.3 : Récepteur des signaux infrarouge.

Figure 2.4 : Branchement de la LED infrarouge à l'Arduino.

Figure 2.5 : récepteur TFMS 5300.

Figure 2.6 : Modulation émetteur-récepteur.

Figure 2.7 : Schéma et circuit imprimé de la carte de réception.

Figure 2.8 : Le circuit récepteur avec le TFMS 5300.

Figure 2.9 : présente une forme typique de faisceau d'ultrasons.

Figure 2.10 : Schéma simplifié d'un microcontrôleur.

Figure 2.11 : La carte de commande Arduino Uno.

Figure 2.12 : Présentation de la fenêtre EDI de l'Arduino Uno.

Figure 2.13 : Schéma électrique de la carte de puissance.

Figure 2.14 : Structure mécanique de la plateforme mobile.

Figure 2.15 : Roue du robot.

Figure 2.16 : Les roues-billes de robot.

Figure 2.17 : support de moteur.

Figure 2.18 : le moteur EMG30.

Chapitre (3) : système de positionnement ultrason.

Figure 3.1 : vitesse des US en fonction de la température.

Figure 3.2 : erreur sur la distance mesurée en fonction de la température.

Figure 3.3 : atténuation des US en fonction de la distance.

Figure 3.4 : Puissance en fonction de la distance.

Figure 3.5 : principe de la modulation OOK.

Figure 3.6 : émetteur ultrasonique et son cône de réflexion.

Figure 3.7 : Chronogrammes avant et après redressement.

Figure 3.8 : Redresseur.

Chapitre (4) : Tests et Résultats.

Figure 4.1 : Organigramme du déplacement du robot.

Figure 4.2 : schéma électrique de l'amplificateur ultrasons.

Figure 4.3 : schéma électrique du décodeur de fréquence.

Figure 4.4 : organigramme de la mesure de distance par ultrasons.

Figure 4.5 : Affichage sur oscilloscope d'un signal ultrason émis et reçu.

Figure 4.6 : Affichage de la distance entre l'émetteur et le récepteur ultrasons.

Figure 4.7 : mesure manuelle de la distance entre l'émetteur et le récepteur ultrasons.

conclusion générale

Conclusion générale

Durant ce projet nous avons étudié et mis en œuvre une approche traitant l'un des problèmes les plus rencontrés en robotique et plus précisément celui de la localisation du robot dans son environnement. Bien que l'idée de départ soit relativement simple dans son principe de fonctionnement, la réalisation des différentes parties de ce système pose énormément de problèmes de différents types. Bien que cela ne soit pas le cas pour la partie infrarouge, étant donné l'utilisation d'un composant réalisant la réception et la démodulation des signaux, la partie ultrasons nous a causé beaucoup de difficultés surtout concernant la partie du décodage de fréquence, en effet nous nous sommes rendus compte assez tard que cette partie est très sensible à l'alimentation du circuit, ce problème qui était difficilement décelable était la source principale d'un retard non négligeable d'un avancement régulier sur le reste du projet.

Bien que le but principal de ce projet était basé sur le système de localisation par balises, nous avons aussi réalisé un robot mobile capable de se déplacer sur une surface plane et s'arrêter devant des obstacles, ce projet reste ouvert à plusieurs autres extensions et servir comme base de travail pour implémenter des algorithmes de navigation plus évolués ou comme support pédagogique pour des travaux pratiques des étudiants en robotique.

Introduction générale :

En robotique la localisation occupe une partie prépondérante parmi les problèmes posés dans ce domaine ; Notre projet consiste à réaliser un système de localisation pour un robot mobile évoluant sur une plateforme rectangulaire ayant une longueur de 3 mètres et une largeur de 2 mètres ; Ce système est basé sur deux balises actives disposées en deux coins adjacents de cette plateforme.

La méthode adoptée exploite une paire d'émetteurs ultrasons installés sur les deux balises et un récepteur à bord du robot ; Les coordonnées cartésiennes du robot seront déterminées par un calcul géométrique connaissant les deux distances séparant le robot de chacune des deux balises ; Ces deux distances seront obtenues en déterminant les temps nécessaires aux deux ondes ultrasons pour parcourir ces deux distances.

Etant donné que les deux balises sont entièrement séparées du robot il est nécessaire de prévoir une autre information au récepteur ultrason lui indiquant l'instant exact du départ de l'onde ultrason afin qu'il soit possible de déterminer le temps de parcours cité précédemment. A cet effet nous prévoyons d'utiliser des émetteurs infrarouges qui vont transmettre des signaux aux mêmes instants que les ultrasons.

La vitesse des ondes infrarouges étant celle de la lumière (300 000 km/s) nous considérerons que la réception de ces ondes est instantanée et de ce fait utiliser l'instant de cette réception comme point de départ pour la mesure du temps de propagation de l'onde ultrason.

Notre robot sera de type différentiel mis en mouvements grâce à deux moteurs à courant continu alimentés à travers une carte de puissance délivrant des tensions modulés en largeur d'impulsions permettant de contrôler séparément les vitesses des deux moteurs et donc obtenir n'importe qu'elle trajectoire pour notre robot.

Les signaux de commande de la partie puissance ainsi que ceux issus des capteurs installés sur le robot seront gérés par une carte de type Arduino basée sur le microcontrôleur ATmega 328 qui a des capacités suffisantes pour les besoins de ce projet.

Liste des abréviations

DEL : diode électroluminescente.

IR : infrarouge.

CC : courant continu.

AC : courant alternatif.

GPS: système de positionnement global.

MLI: modulation de largeur d'impulsion.

EDI: espace de développement intégré.

Keywords:

LED: Light-Emitting Diode.

IR: Infrared.

DC: Direct Current.

AC: Alternatif Current.

GPS: Global Positioning System.

PWM: Pulse Width Modulation.

- Table des matières :

Introduction générale.....1

Chapitre 1 : Généralités sur la robotique

1.1 Introduction2

1.1.1 Bref aperçu historique2

1.1.2 Définition d'un robot mobile4

1.2 Les différents types de robots mobiles5

1.2.1 Les robots mobiles marcheurs.....5

1.2.2 Les robots mobiles rampants6

1.2.3 Les robots mobiles à chenilles6

1.2.4 Les robots mobiles à roues7

1.3 Domaines d'utilisation des robots mobiles7

1.4 Le fonctionnement des robots mobiles8

1.5 Les systèmes de perception9

1.5.1 Les capteurs proprioceptifs9

1.5.1.1 Les capteurs de déplacement10

a. les odomètres10

b. Les accéléromètres10

1.5.1.2 Les capteurs d'attitude11

- Le gyroscope, gyromètre et gyrocompas11

1.5.2 Les capteurs extéroceptifs12

1.5.2.1 Les capteurs télémétriques12

a. Les capteurs à ultrasons12

b. Les capteurs laser13

1.5.2.2 Les systèmes de vision13

1.6 Navigation14

1.6.1 Définition de la navigation	14
1.6.2 Les stratégies de navigation	15
1.6.2.1 La navigation par carte.....	16
a. Navigation par carte topologique	16
b. Navigation par carte métrique.....	16
1.6.2.2 La navigation réactive.....	16
a. Navigation par approche d'un objet	17
b. Navigation par Guidage	17
c . Navigation par association	17
1.6.3 Les différents types d'environnements en navigation	18
1.6.3.1 Navigation dans un environnement connu	18
1.6.3.2 Navigation dans un environnement partiellement connu	18
1.6.3.3 Navigation dans un environnement inconnu	18
a. Navigation avec mémorisation de l'environnement	18
b. Navigation sans mémorisation de l'environnement	18
1.7 Localisation en robotique mobile	18
1.7.1 Définition de la localisation.....	19
1.7.2 Les méthodes de localisation.....	19
1.8. Conclusion	19

Chapitre 2 : Emetteur récepteur infrarouge

2.1 Introduction	20
2.2 Les systèmes de réception infrarouge.....	20
2.2.1 Historiquement	20
2.2.2 Définitions	20
2.2.2.1 Définition de la LED.....	20
2.2.2.2 Définition d'un système de réception	21

2.2.3 Principe de fonctionnement.....	22
a. partie émetteur	22
b. partie récepteur	22
2.2.4 Réalisation pratique	23
2.2.5 Structure finale du circuit de la réception	24
2.2.6 Problème de transmission	24
2.2.7 Domaines d'application des systèmes infrarouge	25
2.3 Caractéristiques physique et technique des capteurs à ultrason.....	25
2.3.1 Les ultrason dans la nature.....	26
2.3.2 Le capteur ultrason.....	26
2.3.3 Caractéristique physique et technique des capteurs ultrason.....	26
2.3.4 Conclusion.....	27
2.4 Les caractéristiques des capteurs ultrason et infrarouge.....	27
2.5 Partie électronique du robot.....	28
2.5.1 La carte commande arduino.....	28
2.5.1.1 définitions de la carte arduino.....	28
2.5.1.2 caractéristiques de la carte arduino.....	28
2.5.2.1 Le microcontrôleur ATmega328p	29
2.5.2.2 L'alimentation	29
2.5.2.3 les entrées sorties de l'ArduinoUno.....	29
2.5.3 Présentation de l'Espace de Développement Intégré (EDI) Arduino	30
2.6 Partie mécanique du robot.....	31
2.6.1 La conception mécanique de la plateforme mobile.....	32
a. structure mécanique de la plateforme mobile.....	32
b. la locomotion.....	33
c. les supports des moteurs.....	35

d. motricité.....	35
e. la structure finale du système	36
2.7 Conclusion	36

Chapitre III : système de positionnement ultrason

3.1-Introduction	45
3.2- Les Ultrasons en théorie	45
3.2.1 Vitesse de déplacement du son	45
3.2.2 Atténuation du signal sur la distance	46
3.2.3 Puissance du signal	47
3.3 La chaîne d'émission	48
3.3.1 Générer un signal à la fréquence adaptée	49
3.3.2 Codage de l'information sur la porteuse	49
3.3.3 Protocole de communication	50
3.3.4 Mise en forme du signal / amplification du signal	51
3.3.5 Mode d'émission	51
3.4 Redressement et mise aux niveaux logiques	52
3.5 Conclusion	53

Chapitre IV : Tests et Résultats.

4.1 Introduction	54
4.2 Déplacements du robot.....	54
4.3 Tests de mesure de distances.....	55
4.4 Conclusion.....	60

1.1- Introduction

Les robots sont capables de réaliser des tâches de plus en plus complexes, car ces robots sont composés d'une structure matérielle et mécanique qui lui permet d'effectuer un déplacement. Ces tâches de haut niveau reposent sur des capacités de base que doit avoir un robot : *naviguer, se localiser et déplacer correctement dans un environnement*.

Nous présentons en premier lieu un historique sur la robotique, une définition de la notion du robot mobile, puis nous détaillons un peu les différents capteurs utilisés (avec et sans connaissance a priori de l'environnement).

1.1.1- Bref aperçu historique

Au 18ème siècle, les automates miniatures sont devenus des jouets populaires chez les gens riches.

Ces automates étaient à l'image des humains.

En 1818, *Mary Shelly* a écrit *Frankenstein*, un récit qui expose la fabrication d'une créature d'apparence humaine. La création imaginée par cette auteure ressemblait à un homme, mais fonctionnait comme une machine.

Il était composé d'éléments aux formes humaines maintenus ensemble à l'aide des boulons et des écrous.

On remarquera qu'il y a même des pinces pour retenir ensemble les parties de sa tête. Selon *Shelly*, un robot devait être plus costaud que la moyenne d'entre nous et être doté d'une force surhumaine.

Le terme de robot apparaît pour la première fois dans une pièce de théâtre RUR de *Karel capek* en 1920 (*Rossum's Universal Robots*).

Il vient du mot tchèque 'robotá' (travail forcé), qui a décrit la révolte des robots, et présente une vision des robots comme serviteurs dociles et efficaces pour réaliser les tâches pénibles mais qui déjà vont se rebeller contre leurs créateurs[1].

En 1941, *Isaac Asimov*, invente le terme "Robotique", prédit l'augmentation de la robotique industrielle.

Il recadre les robots en temps que machine servant l'homme et non-dangereuse.

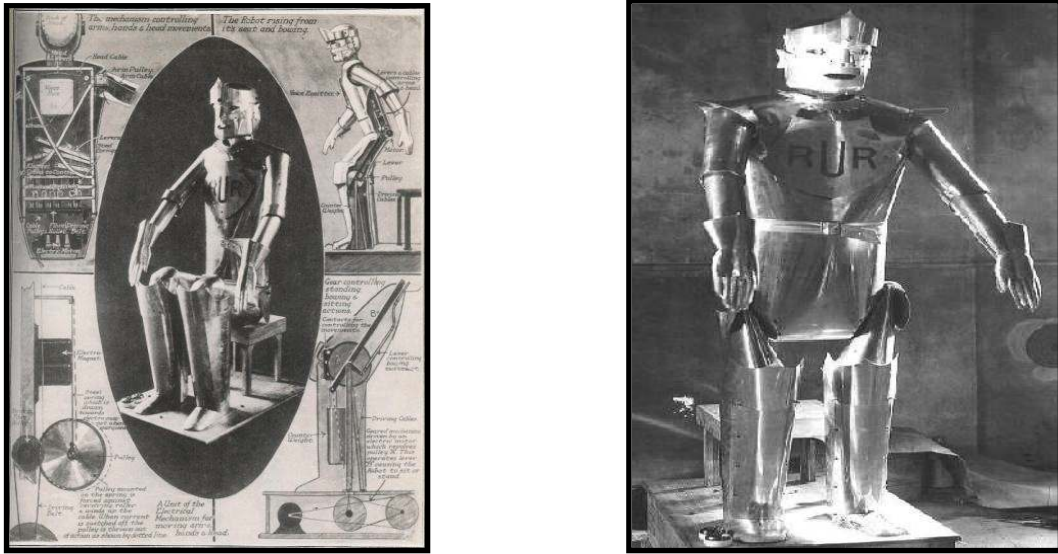


Figure 1.1 : Le robot RUR.

Dans les années 1940 et 1950, l'avancement de l'électronique permet de miniaturiser les circuits électriques (inventions du transistor et du circuit intégré), ouvrant ainsi de nouvelles voies à la fabrication des robots.

En 1947, l'invention du premier opérateur électrique télé-opéré.

Quelques années plus tard l'apparition du premier robot programmable dans une chaîne de montage de production dans une entreprise[1].

Dans les premiers temps de la robotique, le robot est considéré comme une imitation de l'homme, aussi bien fonctionnelle que physique. Aujourd'hui, les constructeurs ne tentent plus de reproduire l'aspect humain sur un robot, privilégiant avant tout sa fonctionnalité.

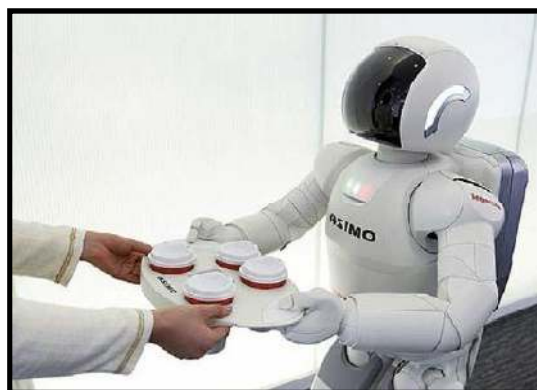


Figure 1.2 : L'utilisation des robots dans les derniers temps.

1.1.2 -Définition d'un robot mobile

Avec la variété de robots développés aujourd'hui, il est difficile de définir ce terme très spécifiquement.

Une définition très générale est appropriée :

Robot : système autonome programmé pour exécuter une ou plusieurs tâches.

Robotique : en terme générale c'est l'étude et l'utilisation des systèmes robotisés.

Pour commencer, il nous faut expliciter la notion de robot.

En robotique, on distinguant les robots en deux principaux types : les robots manipulateurs et les robots mobiles.

Tels que les robots manipulateurs ont une base fixe contrairement aux robots mobiles qui peuvent se déplacer.

Ainsi pour étudier les déplacements de ces robots, nous pouvons soit utiliser un repère absolu, soit un repère fixé sur le robot.

Un robot mobile est un système mécanique, électronique et informatique agissant physiquement sur son environnement en vue d'atteindre un objectif qui lui a été assigné.

Cette machine est polyvalente et capable de s'adapter à certaines variations de ses conditions de fonctionnement.

Elle est dotée de fonctions de capacités de perception, de décision et d'action qui lui permettent d'agir de manière autonome dans son environnement en fonction de la perception qu'il en a.

Ainsi, le robot devrait être capable d'effectuer des tâches diverses, de plusieurs manières, et accomplir correctement sa tâche, même s'il rencontre de nouvelles situations inattendues.

La complexité des tâches réalisables par un véhicule (robot mobile) dépend des performances de son système de localisation (précision, fiabilité, robustesse, temps de réponse...) et de la mobilité que lui donne son système de déplacement.

Un robot mobile est donc généralement conçu pour effectuer un certain nombre de tâches que l'on peut classer en fonction du type d'environnement dans lequel évolue le véhicule (milieu structuré ou semi structuré, environnement naturel ...), et du degré de connaissance de cet environnement, de son caractère évolutif (obstacles fixes ou mobiles) ou encore du domaine d'application pour lequel le véhicule a été conçu.

Un robot est dit autonome :

-S'il est capable de choisir ses actions pour atteindre son but.

-S'il est capable d'accomplir correctement sa tâche même s'il rencontre de nouvelles situations inattendues sans intervention humaine.

La robotique est devenue dans nos jours un champ de recherche très varié.

On va présenter les différents types de robots, leur fonctionnement, et le domaine d'utilisation de la robotique.

Puis nous présenterons le problème de la navigation dans la robotique mobile.

On définira les différentes stratégies de navigation, de localisation et on donnera les catégories des contrôleurs existants.

1.2- Les différents types de robots mobiles

On peut classer les robots en quatre catégories, par ordre de complexité croissante.

Les robots les plus simples et les plus courants sont capables de répéter les opérations inscrites dans leurs programmes.

1.2.1- Les robots mobiles marcheurs

De nombreuses recherches en robotique tentent aujourd'hui de reproduire des mécanismes développés et complexes de la marche humaine ou animale.

Même sur un terrain assez régulier, les opérations sont difficiles à exécuter par un robot bipède, quadrupède ou même hexapode[3].

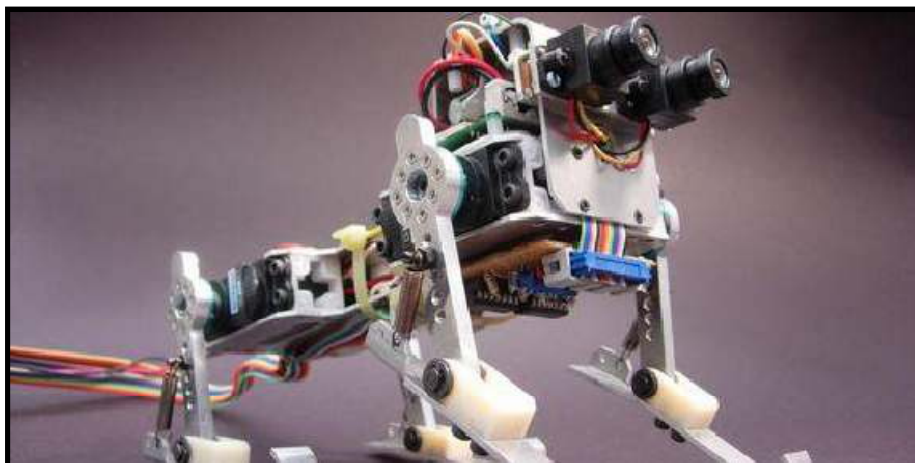


Figure 1.3 : Exemple d'un robot marcheur.

1.2.2- Les robots mobiles rampants



Figure 1.4 : Exemple d'un robot rampant.

Ils sont utilisés dans des environnements de type tunnel ou des endroits restreints.

Les techniques utilisées ressemblent à des méthodes de locomotion des animaux rampants (comme les serpents).

1.2.3- Les robots mobiles à chenilles

L'utilisation des chenilles présente l'avantage d'une bonne adhérence au sol et d'une facilité de franchissement des obstacles.

Ces robots peuvent être utilisés en milieu urbain, ou dans des décombres[3].

Ils sont capables de se déplacer facilement dans une ligne droite, mais avec une difficulté pour assurer des rotations avec précision.

L'utilisation des chenilles conduit cependant à un odomètre très bruité à cause du contact mal défini entre les chenilles et le sol.



Figure 1.5 : Exemple d'un robot à chenilles.

1.2.4- Les robots mobiles à roues

La mobilité par roues est la structure mécanique la plus souvent ou généralement appliquée et étudiée, parce qu'elle est plus simple à réaliser que les autres types de robots mobiles.

Ces robots sont très souvent utilisés pour l'étude des systèmes autonomes.

Dans le cas de robots utilisant des roues pour se déplacer, chaque roue est motorisée séparément, et le changement de direction est obtenu soit en faisant varier la vitesse des moteurs associés à chacune des roues latérales, soit en inversant le sens de rotation, soit en variant l'orientation des roues.

Ce type de robot peut tourner d'une manière continue.

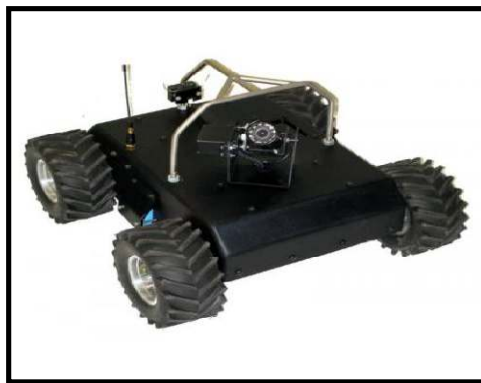


Figure 1.6 : Exemple d'un robot mobile à des roues.

1.3- Domaines d'utilisation des robots mobiles

Aujourd'hui, le marché commercial de la robotique mobile est toujours relativement restreint, mais il existe de nombreuses perspectives de développement qui feront probablement un domaine important dans le futur.

Les applications des robots peuvent se trouver dans de nombreuses activités "ennuyeuses, salissantes ou dangereuses" ("3 D's" en anglais pour : Dull, Dirty, Dangereuse), mais également pour des applications ludiques ou de service, comme l'assistance aux personnes âgées ou handicapées.

Parmi les domaines concernés, nous citons :

- La robotique de service (hôpitaux, bureaux).
- La robotique de loisir (robot 'compagnon').
- La robotique industrielle ou agricole (entrepôts, récolte des productions agricoles, mines).
- La robotique en environnement dangereux (spatial, militaire).

A cela, s'ajoute à l'heure actuelle de nombreuses plateformes conçues essentiellement pour les laboratoires de recherche[2].



Figure 1.7 : quelques exemples des robots et leur domaine d'applications.

1.4- Le fonctionnement des robots mobiles

Il existe deux principaux modes de fonctionnement pour un robot mobile : télé-opéré et autonome.

En mode télé-opéré, une personne pilote le robot à distance. Elle donne ses ordres via une interface de commande (joystick, clavier/souris ...), et ceux-ci sont envoyés au robot via un lien de communication (internet, satellite ...).

D'ailleurs, suivant le niveau de télé-opération, le terme robotique est plus ou moins justifié.

Le robot doit donc obéir aux ordres de l'opérateur qui perçoit l'environnement autour du robot, par différents moyens (retour d'image ...), de manière à donner des ordres adaptés au robot.

Dans ce domaine, les efforts de recherche sont beaucoup portés sur les problèmes liés au réseau de télécommunication (retards dans le réseau de communication, problèmes de

Chapitre I : Généralités et Définitions

commande, pertes de données), et sur l'amélioration de la perception de l'environnement par l'opérateur (interfaces haptiques, retours d'efforts).

A l'inverse, en mode autonome le robot doit prendre ses propres décisions.

Cela signifie qu'il doit être capable à la fois de percevoir correctement son environnement, mais également de savoir comment réagir en conséquence, suivant le niveau d'autonomie.

Robotique sous-marine

Robotique spatial

Robotique de loisirs

Robotique de services

Robotique militaire

C'est à lui de planifier son parcours et de déterminer avec quels mouvements il va atteindre son objectif.

Les recherches dans ce domaine portent principalement d'une part sur la localisation du véhicule autonome et la cartographie de son environnement, d'autre part sur le contrôle de tels véhicules (structure de contrôle, stratégies de commande, planification).

Cette notion d'autonomie prise en exemple, que nous pourrions qualifier de décisionnelle, ne doit pas être confondue avec celle d'autonomie énergétique (capacité du robot à gérer efficacement son énergie, à la préserver, voire à se ravitailler), même si ces deux notions sont étroitement liées : idéalement une des préoccupations principales d'un robot mobile totalement autonome (du point de vue décisionnel), serait en effet de pouvoir gérer de lui-même ses réserves d'énergie.

1.5- Les systèmes de perception

La fonction perception consiste globalement à saisir un certain nombre d'informations dans le but d'acquérir une connaissance et une compréhension du milieu d'évolution.

Les capteurs constituent les éléments fondamentaux du système de localisation.

Ils sont les responsables d'informer le robot sur le milieu extérieur et l'informer sur ses propres actions en vérifiant l'état de ses actionneurs.

Ils sont donc l'élément indispensable à un robot autonome pour savoir ce qu'il fait et prendre les bonnes décisions.

On peut les classer en fonction du type de localisation associé.

Il existe deux catégories de capteurs couramment utilisées en robotique mobile ; les capteurs proprioceptifs et les capteurs extéroceptifs[4].

-Les capteurs proprioceptifs qui fournissent des informations propres au comportement interne du robot, c'est-à-dire sur son état à un instant donné.

-Les capteurs extéroceptifs qui fournissent des informations sur le monde extérieur au robot.

1.5.1- Les capteurs proprioceptifs

Les capteurs proprioceptifs sont des capteurs placés et installés à bord des robots mobiles et qui fournissent des informations élémentaires sur les paramètres cinématiques de ces robots.

Les informations sensorielles gérées dans ce cadre sont généralement des vitesses, des accélérations, des angles de giration, des angles d'attitude, des angles de rotation, l'état de la batterie.

On peut regrouper les capteurs proprioceptifs en deux familles :

Les capteurs de déplacement qui comprennent : les odomètres, les accéléromètres, les radars Doppler, les mesureurs optiques.

Cette catégorie permet de mesurer des déplacements élémentaires, des variations de vitesse ou d'accélération sur des trajectoires.

Les capteurs d'attitude, qui mesurent deux types de données : les angles de cap et les angles de roulis et de tangage.

Ils sont principalement constitués par les gyroscopes et les gyromètres, les capteurs inertiels composites, les inclinomètres, les magnétomètres.

Ces capteurs sont en majorité de type inertiels[4].

1.5.1.1 Les capteurs de déplacement

***a.* les odomètres**

Les odomètres sont des capteurs qui permettent d'estimer le déplacement du robot à partir de la mesure de la vitesse et la position angulaire de l'axe des roues (mesurant la rotation de ses roues ou le déplacement des pattes).

Chapitre I : Généralités et Définitions

Le calcul de la position relative du robot est réalisé par intégration des rotations élémentaires des roues, à l'aide d'un codeur optique disposé sur l'axe de ces roues, ou sur le système de transmission (par exemple sur la sortie de la boîte de vitesse pour une voiture).

Les encodeurs optiques sont les plus utilisés pour effectuer la mesure de la rotation.

Cet encodeur est disposé sur l'axe de la roue ou sur le moteur.

Notons cependant que l'erreur de ces méthodes se retrouve en général principalement sur l'estimation de la direction du robot, tandis que la mesure de la distance parcourue est souvent de meilleure qualité.



Figure 1.8.a : Odomètre

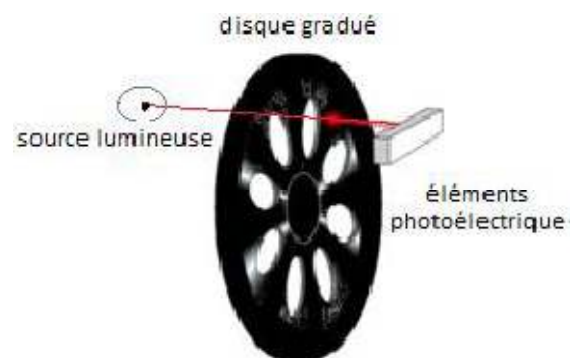


Figure 1.8.b : Principe d'un encodeur optique

b. Les accéléromètres

L'accéléromètre est un capteur qui mesure l'accélération linéaire en un point donné. En pratique, la mesure de l'accélération s'effectue à l'aide d'une masse d'épreuve M , de masse m , reliée à un boîtier du capteur.

Le principe de ce capteur est de mesurer l'effort massique non gravitationnel qu'on doit appliquer à M pour le maintenir en place dans le boîtier lorsqu'une accélération est appliquée au boîtier.

Le calcul du déplacement élémentaire du système mobile est obtenu par double intégration de ces informations.

Cette double intégration conduit généralement à des accumulations importantes d'erreurs. Ces capteurs sont plus coûteux que les odomètres[4].

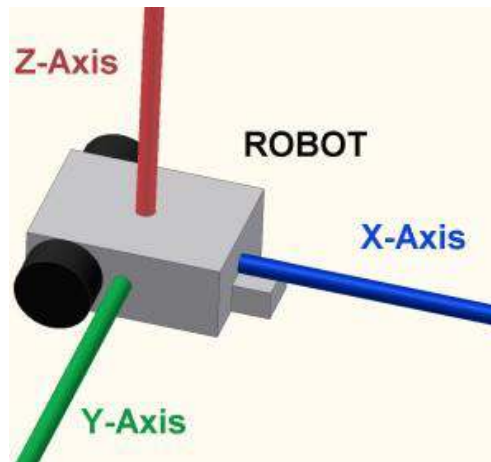


Figure 1.9 : Robot mobile à un point donné.

1.5.1.2- Les capteurs d'attitude

a. Le gyroscope, gyromètre et gyrocompas

Les gyroscopes sont des capteurs permettent de mesurer une variation angulaire par rapport à un référentiel.

Ils sont intéressants en robotique mobile parce qu'ils peuvent compenser les défauts des odomètres.

Nous pouvons classer les gyroscopes en trois catégories :

Gyroscopes rotationnels (classiques).

Gyroscopes à structure vibratoire.

Gyroscopes optiques.



Figure 1.10.a : Gyroscope mécanique de Foucault.

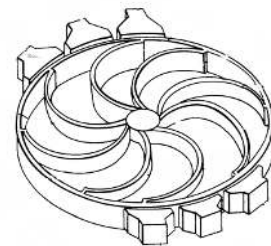


Figure 1.10.b : Gyroscope à structure vibratoire.

1.5.2- Les capteurs extéroceptifs

Les capteurs extéroceptifs permettent au robot de percevoir le milieu d'évolution et de mesurer des paramètres extérieurs à partir de l'environnement dans le quel il évolue.

Ils sont généralement le complément indispensable aux capteurs présentés précédemment. Ces capteurs sont nécessaires dans les domaines d'application tels que l'évitement d'obstacle, la modélisation d'environnement, la localisation et la navigation.

Deux familles de capteurs extéroceptifs embarqués peuvent être identifiées : les capteurs télémétriques et les systèmes de vision.

On définit :

1.5.2.1- Les capteurs télémétriques :

a-Les capteurs à ultrason :

Les capteurs à ultrasons utilisent l'air comme milieu de propagation.

Ils sont plus utilisés dans la robotique mobile autonome.



Figure 1.11 : Capteur ultrason.

La méthode de mesure de ces capteurs consiste à transmettre un paquet d'ondes ultrasoniques pour ensuite mesurer le temps que met cette onde à revenir au capteur après avoir été réfléchi par un objet ou obstacle.

On peut obtenir et calculer la distance d'un objet par rapport au capteur en considérant les constantes de chaleur et de gaz et connaissant la vitesse de propagation du son et le temps de vol pour un aller-retour d'une onde dans un milieu donné.

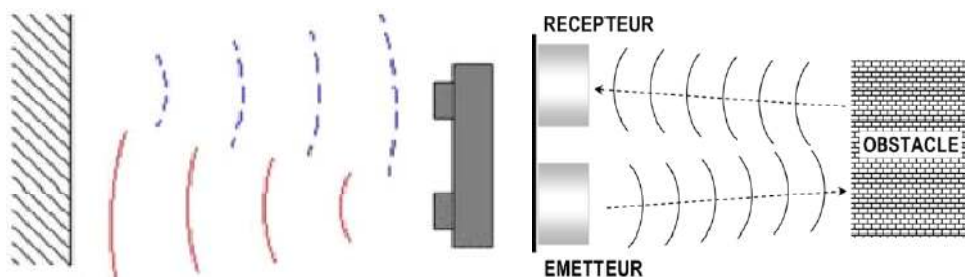


Figure 1.12 : Principe de fonctionnement du capteur ultrason.

b. Les capteurs laser

Le capteur laser est basé sur l'émission d'une onde électromagnétique structurée.

Ce capteur permet donc d'obtenir un faisceau d'ondes très concentré, contrairement aux capteurs ultrasons.

Les systèmes laser possèdent de nombreux avantages qui en font des capteurs souvent utilisés dans les applications de robotique mobile pour l'obtention des mesures précises de distance[4].



Figure 1.15.a : Capteur infrarouge

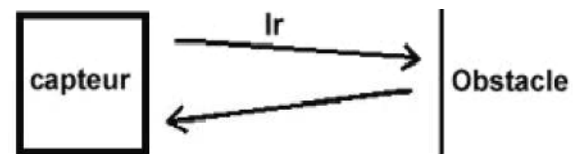


Figure 1.15.b : Principe du capteur infrarouge

1.5.2.2 Les systèmes de vision

Les systèmes de vision en robotique sont basés sur l'utilisation des caméras CCD.

Ces systèmes de vision sont très performants en précision et fournissent une grande quantité d'information exploitable.

Ils sont de plus capables de restituer une image sensorielle de l'environnement la plus proche de celle perçue par l'être humain.



Figure 1.14 : Capteur CCD

1.6- Navigation

1.6.1-Définition de la navigation

Le concept de navigation vient directement du contexte marin, comme cela est indiqué dans la définition du mot :

Action de naviguer (Voyager sur mer, sur l'eau).

Navigation maritime, sous-marine.

Navigation côtière, au long cours.

Art et technique de la conduite des navires ; détermination de la position et tracé de la route.

A ses jours le mot navigation s'applique dans plusieurs autres contextes, par exemple navigation d'avions ou avions, la navigation routière, et plus récemment la navigation sur le WEB[5].

D'après *Levitt* et *Lawton* (1990), la navigation est définie comme le procédé permettant de répondre aux trois questions suivantes :

(i) "Où suis-je ?".

(ii) "Où sont les autres lieux par rapport à moi ?".

(iii) "Comment puis-je atteindre ces autres lieux depuis l'endroit où je me trouve ?".

Donc, la navigation est la science et l'ensemble des techniques qui permettent de : Connaître la position (coordonnées) d'un mobile par rapport à un système de référence, ou par rapport à un point fixe déterminé.

calculer ou mesurer la route à suivre pour rejoindre un autre point de coordonnées connues en respectant un certain nombre de contraintes et de critères qui découlent de plusieurs facteurs, qui dépendent généralement des caractéristiques du robot, de l'environnement, et du type de tâche à exécuter.

Calculer toute autre information relative au déplacement de ce mobile (distance et durée, vitesse de déplacement, heure estimée d'arrivée, ...etc.).

Afin de réaliser une navigation dans n'importe quel contexte, nous avons besoin d'un mot qui de manière similaire au mot navigation, est lié à la même culture, celle des marins emmenés à voyager sur l'eau.

1.6.2 Les stratégies de navigation

Les stratégies de navigation permettent à un robot mobile de se déplacer pour rejoindre un but sont extrêmement diverses, de même que les classifications qui peuvent en être faites. Nous reprenons ici une classification établie par *Trullier* et *Meyer*, qui présente l'avantage de distinguer les stratégies sans modèles internes et les stratégies avec modèle interne[6].

Cette classification comporte cinq catégories, de la plus simple à la plus complexe : Approche d'un objet, Guidage, Action associée à un lieu, Navigation topologique et la Navigation métrique[7].

Les modèles des trois premières catégories utilisent des actions réflexes pour guider le robot et se différencient essentiellement par le type de perceptions utilisées pour déclencher ces actions.

Ils se regroupent sous le terme ***générique de navigation réactive***.

Ils peuvent être très simple, ne nécessitent pas de modèle global de l'environnement mais ont un domaine d'application souvent restreint.

Dans le monde vivant, ces stratégies sont très répandues, notamment chez les insectes.

Les comportements de ce type restent toutefois essentiels dans les robots modernes car, du fait de leur simplicité, ils sont généralement exécutés très rapidement et ils permettent de réaliser des tâches de bas niveau, comme l'évitement des obstacles imprévus, essentielles à la sécurité d'un robot.

Les modèles des deux dernières catégories autorisent pour leur part une navigation globale et permettent de rejoindre un but arbitraire au sein de l'environnement.

Chapitre I : Généralités et Définitions

Ils s'appuient pour cela sur un modèle interne du monde (une carte), qui supporte une planification.

Ce modèle interne mémorise donc la structure spatiale de l'environnement, indépendamment d'un but précis.

Chacune des positions mémorisées dans ce modèle interne peut alors être utilisée comme but par le processus de planification dont le rôle est de calculer une route vers ce but.

Ce sont les deux stratégies qui sont regroupées sous le terme de *navigation par carte*.

Une telle représentation interne est naturelle pour les êtres humains, pour lesquels des processus cognitifs de haut niveau sont utilisés pour créer et utiliser une carte.

Ces processus de haut niveau sont toutefois très difficiles à copier pour un robot réel qui ne dispose que de systèmes rudimentaires de perception et de traitement des informations en comparaison avec un homme.

Par exemple, en environnement urbain, le processus de mise en correspondance de la carte avec l'environnement réel afin de déterminer sa position fait souvent appel, pour l'homme, à la lecture du nom des rues inscrit sur les bâtiments, ce qui est relativement difficile à automatiser, à cause de la diversité des configurations dans lesquelles peuvent se trouver ces noms.

On notera au passage que l'homme a quasiment toujours recours à des aménagements particuliers de l'environnement pour connaître sa position, par exemple celui qui consiste à nommer les rues ou à lancer des satellites dans l'espace pour bénéficier du GPS.

Après cette explication, nous commençons à détailler de plus ces différents types de stratégies de navigation.

1.6.2.1 La navigation par carte

Elle s'appuie sur un modèle interne du monde, une carte, qui supporte une planification. Ce modèle interne mémorise la structure spatiale de l'environnement, indépendamment d'un but précis.

Chacune des positions mémorisées dans ce modèle interne peut alors être utilisée comme but par le processus de planification dont le rôle est de calculer une route vers ce but. Le principe de la navigation par carte est basé sur la cartographie, la localisation et la planification.

On peut citer deux sous classe :

a. Navigation par carte topologique :

Une carte topologique est un graphe, dans lequel chaque noeud correspond à un endroit caractéristique (carrefour entre couloirs, entrées dans les espaces ouverts ...), appelé *meeting point* dans plusieurs travaux, ou encore lieu.

Chaque lieu devra être décrit par un ensemble de caractéristiques propres, qui permettront au robot de le reconnaître.

Une arête liant deux noeuds signifie qu'il existe une commande référencée capteur que le robot peut exécuter afin de se déplacer entre les deux lieux correspondants.

Cette représentation est particulièrement adaptée pour décrire des réseaux de couloirs : les lieux correspondent aux carrefours, les arêtes aux couloirs qui les lient.

Pour la génération d'une trajectoire entre deux lieux définis dans une carte topologique, il suffit de rechercher un chemin dans le graphe.

Dans cette stratégie, le robot n'a pas besoin de connaître sa position précise par rapport à un repère du monde.

Il doit seulement déterminer une localisation qualitative « *Je suis dans le lieu A* » et, au mieux, une estimation de sa position relative par rapport à un repère lié au lieu dans lequel il se trouve.

b. Navigation par carte métrique

La navigation métrique exploite une représentation géométrique du monde, qui peut être donné par un utilisateur, ou construite par le robot lui-même.

Elle représente une extension de la précédente car elle permet au robot de planifier des chemins au sein de zones inexplorées de son environnement.

Elle mémorise pour cela les positions métriques relatives des différents lieux, en plus de la possibilité de passer de l'un à l'autre.

Ces positions relatives permettent, par simple composition de vecteurs, de calculer une trajectoire allant d'un lieu à un autre, même si la possibilité de ce déplacement n'a pas été mémorisée sous forme d'un lien.

1.6.2.2- La navigation réactive

Les algorithmes de modélisation de l'environnement sont très coûteux en temps de calcul.

Le robot en plus a souvent qu'une vue très partielle de son environnement.

Ceci implique que le robot peut remettre en cause son plan, en raison de présence imprévue d'obstacles par exemple, entraînant une nouvelle modélisation coûteuse de l'environnement et une régénération de chemin.

De plus, le délai entre l'apparition d'un nouvel obstacle, sa prise en compte dans le modèle et la régénération d'un nouveau plan pouvant être important.

a-Navigation par approche d'un objet

Cette capacité de base permet de se diriger vers un objet visible depuis la position courante du robot.

Elle est en général réalisée par une remontée sur la perception de l'objet, comme dans l'exemple célèbre des véhicules de *Valentino Braitenberg* qui utilisent deux capteurs de lumière pour atteindre ou fuir une source lumineuse.

Cette stratégie utilise des actions réflexes, dans lesquelles chaque perception est directement associée à une action.

C'est une stratégie locale, c'est-à-dire fonctionnelle uniquement dans la zone de l'environnement pour laquelle le but est visible.

b-Navigation par Guidage

Cette capacité permet d'atteindre un but qui n'est pas un objet matériel directement visible, mais un point de l'espace caractérisé par la configuration spatiale d'un ensemble d'objets remarquables, qui l'entourent ou qui en sont voisins.

La stratégie de navigation, consiste alors à se diriger dans la direction qui permet de reproduire cette configuration.

Le robot tente donc de mémoriser une photo de l'ensemble de ses perceptions lorsqu'il se trouve dans une situation but et cherche à faire correspondre ses perceptions courantes avec la situation mémorisée.

Cette stratégie de navigation requiert néanmoins la perception directe des amers caractéristiques de la situation but et dès lors qu'ils ne sont plus perçus, la stratégie échoue et ne peut donc être utilisée que dans un contexte local.

c-Navigation par association

Cette capacité est la première capacité réalisant une navigation globale, c'est-à-dire qui permette de rejoindre un but depuis des positions pour lesquelles ce but ou les amers qui caractérisent son emplacement sont invisibles.

Elle s'applique généralement à des environnements plus conséquents et repose sur la notion de lieu et requiert une représentation interne de l'environnement qui consiste à définir des lieux comme des zones de l'espace dans lesquelles les perceptions restent similaires, et à associer une action à effectuer à chacun de ces lieux.

L'enchaînement des actions associées à chacun des lieux reconnus définit une route qui permet de rejoindre le but.

Cependant, ce type de navigation, s'il est plus robuste que la navigation par guidage, ne permet pas encore l'établissement de réelle stratégie dans la mesure où les informations mémorisées dépendent directement du but que l'on souhaite rallier.

Si le robot souhaite rallier un autre but, il doit posséder une mémorisation différente de l'environnement orientée vers ce nouveau but.

Il n'existe pas encore de véritable représentation interne de l'environnement à ce niveau de navigation dans la mesure où les différents lieux mémorisés ne possèdent pas de relations internes.

Etant donné un lieu A, un robot connaît la direction immédiate à prendre, mais il est incapable de prédire la prochaine direction avant de se trouver effectivement dans le nouveau lieu.

Ces modèles permettent donc une autonomie plus importante mais sont limités à un but fixé.

Une route qui permet de rejoindre un but ne pourra en effet pas être utilisée pour rejoindre un but différent.

Changer de but entraînera l'apprentissage d'une nouvelle route, indépendante des routes permettant de rejoindre les autres buts.

Après que nous détaillons ces stratégies de navigation, on conclue que le système de navigation idéal pour un robot mobile sera probablement celui qui sera capable de tirer parti de toutes ces informations, ce qui ne lui était pas destinées à l'origine.

1.6.3- Les différents types d'environnements en navigation

1.6.3.1- Navigation dans un environnement connu

La connaissance de l'environnement évite sa perception, donc il reste à construire un modèle de celui-ci dans le système du robot pour définir par la suite la trajectoire optimale, de telle méthode de planification de trajectoire est appelée méthode globale.

1.6.3.2- Navigation dans un environnement partiellement connu

Dans un environnement on peut distinguer deux types d'obstacles, les obstacles fixes, et les obstacles mobiles, ces types d'obstacles varient selon l'environnement dans lequel le robot doit progresser.

D'où le risque de collision est élevé pour éviter cela le robot doit avoir un champ de vision considérable afin d'éviter ces obstacles.

Par conséquent ce type d'espace de travail est considéré comme partiellement connu par le robot.

1.6.3.3- Navigation dans un environnement inconnu

Dans ce type de navigation le robot se déplace tout en découvrant son environnement grâce au système de perception monté sur le robot (capteurs de proximité, capteurs ultrasonores, laser,...), d'où on distingue deux types d'approche qui peuvent se présenter suivant la tâche confiée au robot :

a. Navigation avec mémorisation de l'environnement

Dans ce type de navigation le robot peut agir suivant l'une des deux approches suivantes :

Le robot se déplace dans son environnement pour la reconnaissance et la mémorisation de ce dernier avant le lancement de sa mission.

Où bien:

Lors de l'exécution de plusieurs tâches le robot mémorise au fur et à mesure son espace de travail afin de le reconnaître.

b. Navigation sans mémorisation de l'environnement

Généralement dans ce type de navigation le robot est dédié à faire une seule mission, car toutes les missions auront la même façon de procéder, la planification du chemin est faite à

l'aide des capteurs qui renseignent le robot de la présence au l'absence d'un obstacle qui sera détourné localement au fur et à mesure de son déplacement.

1.7- Localisation en robotique mobile

1.7.1- Définition de la localisation

Quelque soit le domaine d'application pour lequel il est destiné, un robot mobile, pour être utilisable, doit comporter un système permettant un certain niveau d'autonomie dans la localisation et la navigation.

Pour schématiser, il doit être capable de répondre à trois types de questions : « où suis-je ? », « où vais-je ? » et « comment y aller ? ».

La première question soulève le problème de la localisation.

Les deux autres sont liées à la planification de trajectoire et à la navigation proprement dite. La bonne exécution des deux dernières tâches est fortement liée à la première[8].

La localisation consiste à définir la position en termes de coordonnées d'un point du mobile par rapport à un référentiel de base.

Le système de localisation est l'ensemble constitué par les capteurs et les logiciels de traitement de données utilisé par le véhicule pour estimer de manière autonome son déplacement ou sa situation dans l'espace.

1.7.2- Les méthodes de localisation

Les outils permettant la localisation classés en deux catégories : ceux par localisation à l'estime (relative) ; qui permet au véhicule de naviguer à l'estime (dead reckoning) en utilisant uniquement les mesures de ses mouvements propres délivrées par les capteurs proprioceptifs, et ceux par localisation absolue ; qui fait appel aux mesures des capteurs extéroceptifs pour estimer la situation du véhicule dans un repère lié à l'environnement.

Le principe de la première catégorie consiste à intégrer des informations sur les vitesses ou les accélérations fournies par des capteurs proprioceptifs (odomètres)[9].

L'avantage de cette méthode est qu'elle est indépendante de l'environnement.

Mais leur inconvénient est le manque de précision dû à la mesure du temps.

Le second type de méthode pour la localisation est la localisation absolue, cette méthode utilise des éléments repérables par le robot dans l'environnement de navigation, de position connue, pour permettre au robot de se repérer relativement à ceux-ci.

Ces éléments sont appelés des balises ou amers et sont dits soit réels s'ils ont été placés spécialement pour permettre la localisation, soit virtuels s'il s'agit d'éléments présents naturellement[3].

1.8- Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'évoquer quelques généralités sur les robots mobiles.

Il présente un tour d'horizon des principaux capteurs et des techniques développés pour permettre à un robot mobile terrestre d'estimer ses déplacements et de se localiser de manière autonome dans son environnement.

Parmi les problématiques liées à la commande, celle de la navigation qui tient un rôle important, elle consiste à déterminer les trajectoires que le robot sera capable de suivre pour lui permettre d'évoluer correctement au milieu d'obstacles.

3.1-Introduction

Nous allons maintenant étudier plus précisément un système utilisant des ultrasons, donc basé sur la mesure des distances entre le robot et les balises.

Nous verrons d'abord l'aspect théorique des ultrasons, puis je proposerai une solution pour concevoir ce système d'un bout à l'autre de la chaîne de transmission.

3.2- Les Ultrasons en théorie

3.2.1- Vitesse de déplacement du son

La vitesse de ce type d'onde est de l'ordre 344 m/s à une température de 22,5°C. Il s'agit d'une vitesse approximative qui suffit pour la plupart des applications, mais ne permet pas d'être précis en toute circonstance, ce qui est très gênant dans le cadre d'un système chargé d'effectuer des mesures précises.

Il faut donc tenir compte du fait que la vitesse du son varie en fonction de la température selon l'équation suivante:

$$v(T) = 331,3176 * \sqrt{1 + \frac{T}{273}} \quad \text{OU } v(T) \text{ est la vitesse en m/s et } T \text{ en } ^\circ\text{C}$$

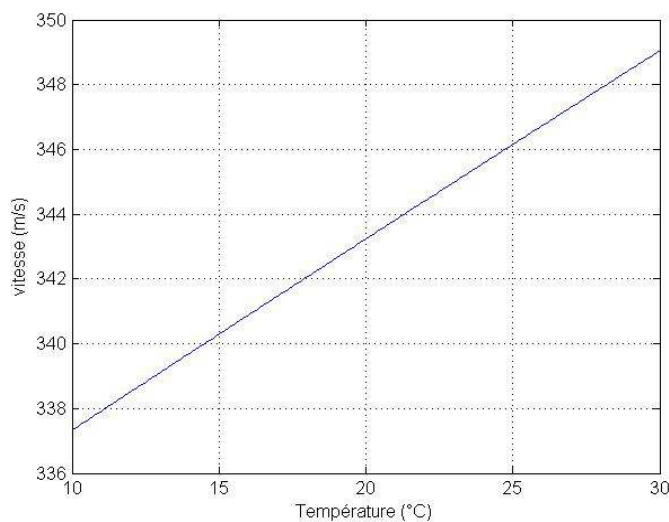


Figure 3.1 : vitesse des US en fonction de la température

Chapitre III : système de positionnement ultrason

Comme le montre la courbe ci-dessous, si l'on utilise la vitesse du son approximative, on aura une erreur de mesure qui sera d'autant plus grande que la température diffère de 22,5°C et que la distance mesurée est grande.

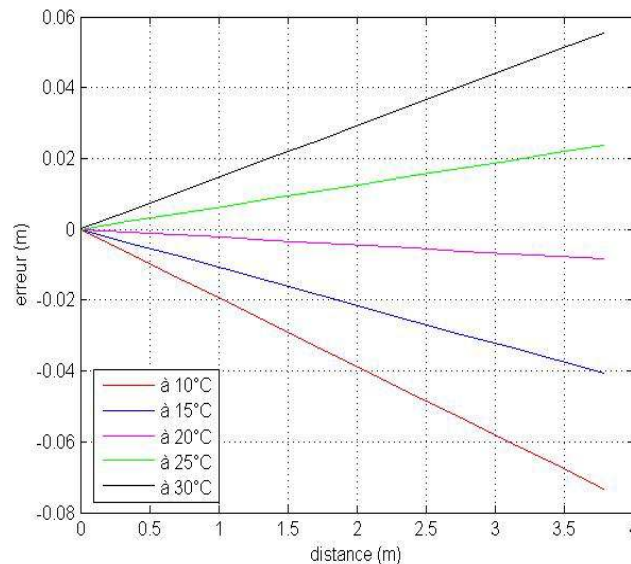


Figure 3.2 : erreur sur la distance mesurée en fonction de la température

On voit qu'à une température de 25 °C on a déjà une erreur de mesure d'environ 2 centimètres sur une distance de 3 mètres, ce qui est déjà trop pour pouvoir faire des mesures précises.

Dans notre application, il faut donc mieux calculer cette vitesse en fonction de la température afin d'avoir des mesures précises.

Pour cela, il faudra intégrer un capteur de température au système de localisation.

Ce capteur devra avoir une précision inférieure ou égale à 1°C afin de pouvoir réellement réaliser des mesures précises.

Par exemple, le capteur TMP37 de chez [analog devices](#) convient bien à cette application et est simple d'utilisation.

3.2.2- Atténuation du signal sur la distance

Pour des fréquences inférieures à 50 kHz, l'affaiblissement d'un signal peut être décrit par la formule suivante: $a(f) = 32,8 * 10^{-6} * f$.

Où $a(f)$ est l'affaiblissement en dB/m et f la fréquence en Hz

Chapitre III : système de positionnement ultrason

L'atténuation à une distance 'd' s'écrit alors: $Att(d, f) = d \cdot a(f)$ d s'exprimant en mètre, Att (d, f) s'exprime alors en dB

Par exemple, dans le cas où la table fait 3 m de long et avec des ultrasons à 40 kHz, l'atténuation à 3m du signal sera de :

$$Att(3, 40\text{kHz}) = d \cdot a(40\text{kHz}) = 3 \cdot 32,8 \cdot 10^{-6} \cdot 400000 = 3,936 \text{ dB.}$$

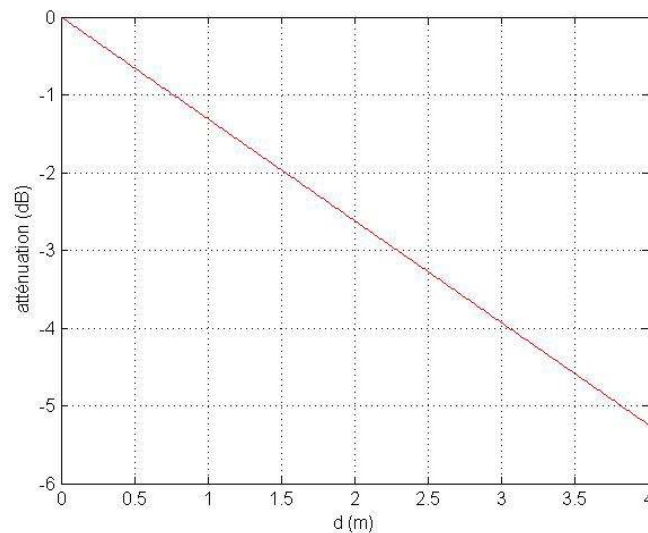


Figure 3.3 : atténuation des US en fonction de la distance

3.2.3- Puissance du signal

La puissance du signal à l'émission est définie comme: $P = \frac{V^2}{R}$ Exprimé en Watt

Avec :

V : la tension d'alimentation de l'émetteur

R : l'impédance de l'émetteur

Grâce à l'atténuation calculée précédemment, on peut calculer la puissance du signal en fonction de la distance de la manière suivante :

$$\rightarrow P(d) = \frac{(V - 10^{(-Att(d,f))})^2}{R}$$

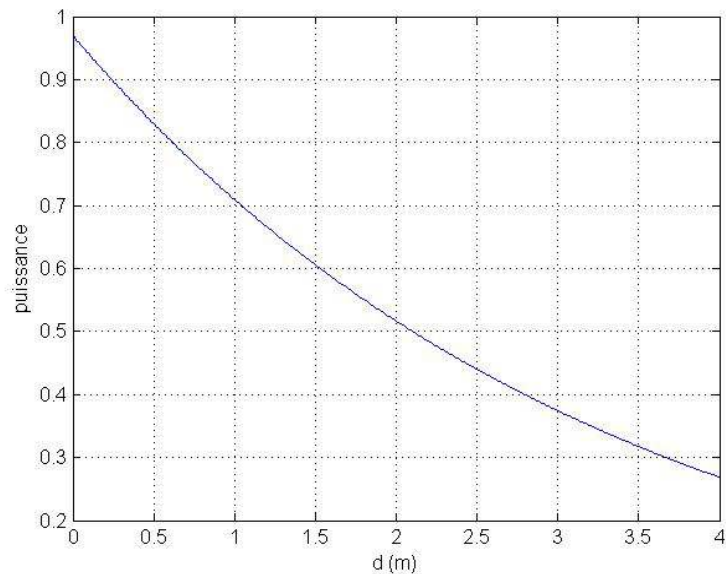


Figure 3.4 : Puissance en fonction de la distance

Ce courbe problème pour un émetteur alimenté fonctionnant en 30 V et ayant une impédance de 1000 Ω .

Connaissant la sensibilité du récepteur, on peut alors déterminer la portée du système tant que la distance 'd' respecte l'inégalité suivante:

$$P(d)_{dB} \geq S$$

Avec :

S : la sensibilité du récepteur en dB

$P(d)_{dB}$: la puissance du signal à une distance d en dB

3.3- La chaîne d'émission

La chaîne d'émission se situe sur le robot, elle a pour but d'émettre le signal ultrasonique à destination des balises.

En pratique, il ne suffit pas seulement d'envoyer des ultrasons, car les balises doivent pouvoir être sûr que le signal qu'elles reçoivent provient bien du système de localisation du robot et non pas d'un autre système ou d'un autre robot.

Il faudra donc pour cela envoyer une trame de données codée sur le signal ultrasonique transmit.

Chapitre III : système de positionnement ultrason

Nous allons donc voir comment créer le signal ultrason à émettre, et comment coder une trame de données dessus.

3.3.1- Générer un signal à la fréquence adaptée

Pour pouvoir émettre des ultrasons, il faut fournir aux émetteurs un signal à la bonne fréquence. Les émetteurs les plus courants sur le marché fonctionnent à 40 kHz, mais on peut aussi en trouver fonctionnant à des fréquences plus faibles ou plus élevées (25.5 kHz, 32 kHz, 125 kHz,...).

Deux solutions sont alors possibles :

La première consiste à générer ce signal avec le générateur de signaux PWM intégré au microcontrôleur (si celui-ci en possède une et est capable de générer la fréquence appropriée).

Il faut alors régler le rapport cyclique (duty cycle) τ du signal à la moitié de sa période afin d'obtenir un signal périodique carré.

L'avantage de cette solution est qu'elle ne nécessite aucun composant supplémentaire.

La deuxième solution consiste à utiliser un composant particulier pour générer cette fréquence.

On utilisera alors un composant bien connu : le NE567.

Il s'agit d'un composant spécialisé qui permet de générer toute sorte de signaux.

Le type du signal produit dépendra du montage électronique réaliser avec le composant.

Pour notre besoin, nous choisissons de générer un signal carré.

3.3.2- Codage de l'information sur la porteuse

Il nous faut maintenant choisir comment codé l'information sur ce signal porteur. La solution est d'utiliser une modulation pour coder les données sur la porteuse.

La solution la plus simple consiste à utiliser une modulation de type OOK (On-Off Keying).

Ce type de modulation consiste à émettre la fréquence porteuse lorsque l'on souhaite émettre un '1' logique, et ne rien émettre lorsque l'on souhaite émettre un '0' logique.

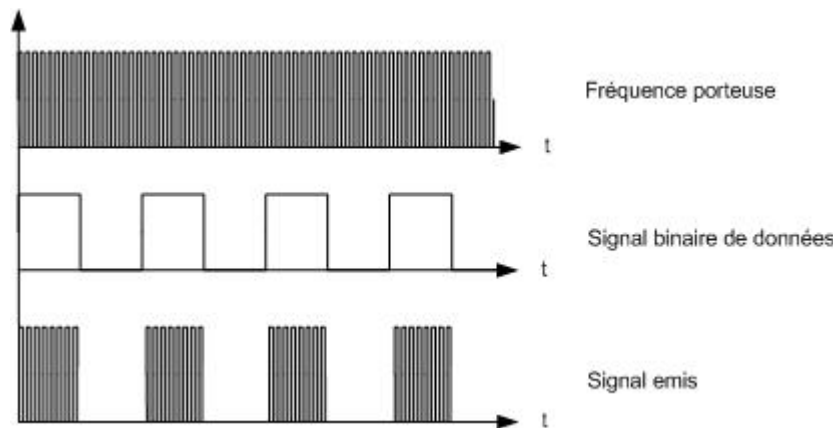


Figure 3.5 : principe de la modulation OOK

Il suffit alors en réception de détecter s'il y a ou non réception de la fréquence porteuse afin de reconnaître les bits '1' et '0' et ainsi de retrouver l'information originel.

3.3.3- Mise en forme du signal / amplification du signal

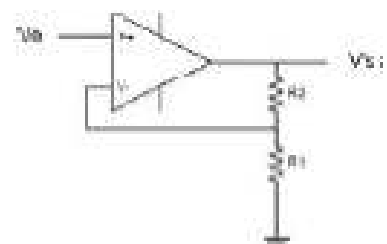
La mise en place de cette modulation est très simple, puisqu'il suffit de multiplier le signal binaire de données par le signal porteur créé précédemment.

Pour cela, il suffit d'utiliser une simple porte logique ET.

Il faut ensuite amplifier ce signal afin de pouvoir utiliser les émetteurs ultrasons au maximum de leurs possibilités.

Pour cela, on utilise un AOP (Amplificateur Opérationnel), monté comme sur le schéma ci-dessous afin de réaliser l'amplification.

Le gain de montage est alors le suivant : $G = (1 + \frac{R_2}{R_1})$.



On adaptera alors le gain de cet amplificateur en fonction de la tension du signal en entrée, qui sera de 5V puisqu'il provient d'une porte logique ET, et de la tension souhaité en sortie, qui elle dépendra de la tension d'alimentation des émetteurs ultrasons utilisés.

3.3.4- Mode d'émission

Rappelons que l'on souhaite émettre les ultrasons dans toutes les directions autour du robot.

Pour cela, deux techniques sont possibles.

La première consiste à placer les émetteurs sur un cercle centré sur le centre du robot.

Le nombre d'émetteur à utiliser dépendra alors de la taille du cercle utilisé (de la place disponible) et de l'angle du cône d'émission des émetteurs choisi.

Le but étant d'émettre tout autour du robot.

Si l'on appelle N le nombre d'émetteur et α l'angle d'émission d'un émetteur, on peut alors déterminer le nombre d'émetteur de la manière suivante : $\alpha 360 = N$

Et l'espacement β des émetteurs sur le cercle : $N 360 = \beta$

La deuxième méthode consiste quant à elle à n'utiliser qu'un seul émetteur et un réflecteur conique pour rayonner les ultrasons de manière omnidirectionnelle.

Cône de réflexion Emetteur



Figure 3.6 : émetteur ultrasonique et son cône de réflexion

D'après les tests réalisés avec des cônes en plâtre, plomb et aluminium, la matière dans laquelle est réalisé le cône a très peu d'influence sur la propagation du signal.

3.4- Redressement et mise aux niveaux logiques

Une fois les étapes précédentes franchies, on retrouve alors un signal interprétable. C'est-à-dire un signal proche de celui émis.

En émission nous avons utilisé une modulation de type OOK.

Cela signifie qu'en réception nous devons interpréter un signal reçu comme un '1' logique, et pas de signal comme un '0' logique.

Chapitre III : système de positionnement ultrason

Pour faire cette mise en forme, nous réalisons le montage suivant avec en entrée le signal provenant de l'amplificateur précédent.

On aura alors en sortie de ce montage le signal binaire reconstitué.

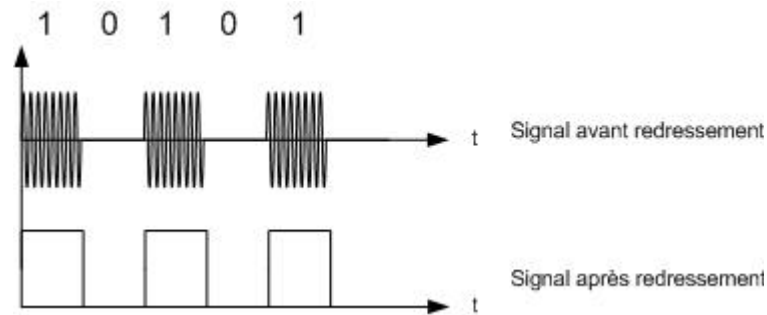


Figure 3.7 : Chronogrammes avant et après redressement

Comme nous utilisons un UART, Il nous faut avoir des signaux logiques avec des valeurs constantes au niveau logique TTL.

Pour cela il suffit d'utiliser une porte logique (par exemple une porte ET) avec le signal provenant du redresseur en entrée, et la sortie pourra alors être envoyée directement sur la voie de réception (Rx) de l'UART du microcontrôleur de réception.

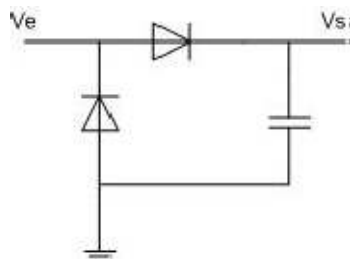


Figure 3.8 : Redresseur

3.5-Conclusion

Cette étude a permis d'étudier en profondeur la problématique de positionnement d'un robot mobile dans un environnement restreint et prédéfini.

Ce qui est le cas dans le cadre de notre projet fin d'étude.

Pour cela, nous avons passé en revue les systèmes majeurs utilisés à l'heure actuelle, ce qui a permis d'en avoir une vue d'ensemble, avec les avantages et inconvénients de chaque solution.

Cela nous a permis d'avoir les clés pour choisir le système à utiliser en fonction de nos propres contraintes et objectifs.

Nous avons choisi de concevoir un système utilisant des ultrasons pour mesurer les distances.

Nous avons fait ce choix, d'une part car il s'agit d'une solution bon marché et d'autre part, comme nous l'avons vu la mesure des distances est une solution qui tolère des ratés dans les mesures et permet donc d'être moins sensible aux perturbations du signal ultrason. Perturbations qui pourraient causer la perte et la non détection de certaines trames de données, et donc des mesures qui en découlent.

Enfin, nous avons donc réalisé l'étude détaillée de ce système afin de pouvoir concevoir point par point un tel système de localisation complet et fonctionnel.

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter l'essentiel des résultats obtenus au cours de ce projet. Nous décrirons entre autres le comportement de notre robot ainsi que les performances des mesures de distances réalisées par le moyen des ultrasons.

IV.2 Déplacements du robot

Tel que cela a été mentionné précédemment notre robot peut effectuer des déplacements rectilignes ou des rotations sans contraintes particulières, puisqu'il est mis en mouvements grâce à deux moteurs à courant continu alimentés d'une manière indépendante. Les mouvements sont contrôlés à partir du programme contenu dans le microcontrôleur dont est munie la carte de Arduino utilisée. Pour illustrer le fonctionnement des différents éléments du robot nous avons programmé une trajectoire aléatoire pour notre robot et prévu des obstacles devant lesquels le robot devrait s'arrêter et reprendre son chemin dès la disparition de l'obstacle concerné à un instant donné. Le caractère aléatoire de la présence ou non des obstacles a été contourné par l'exploitation d'une interruption externe laquelle est déclenchée par un capteur infrarouge qui délivre un état haut lorsqu'un objet se trouve en face de ce capteur.

L'organigramme suivant montre la manière dont est programmé notre microcontrôleur pour effectuer les fonctions de déplacements et évitement d'obstacles.

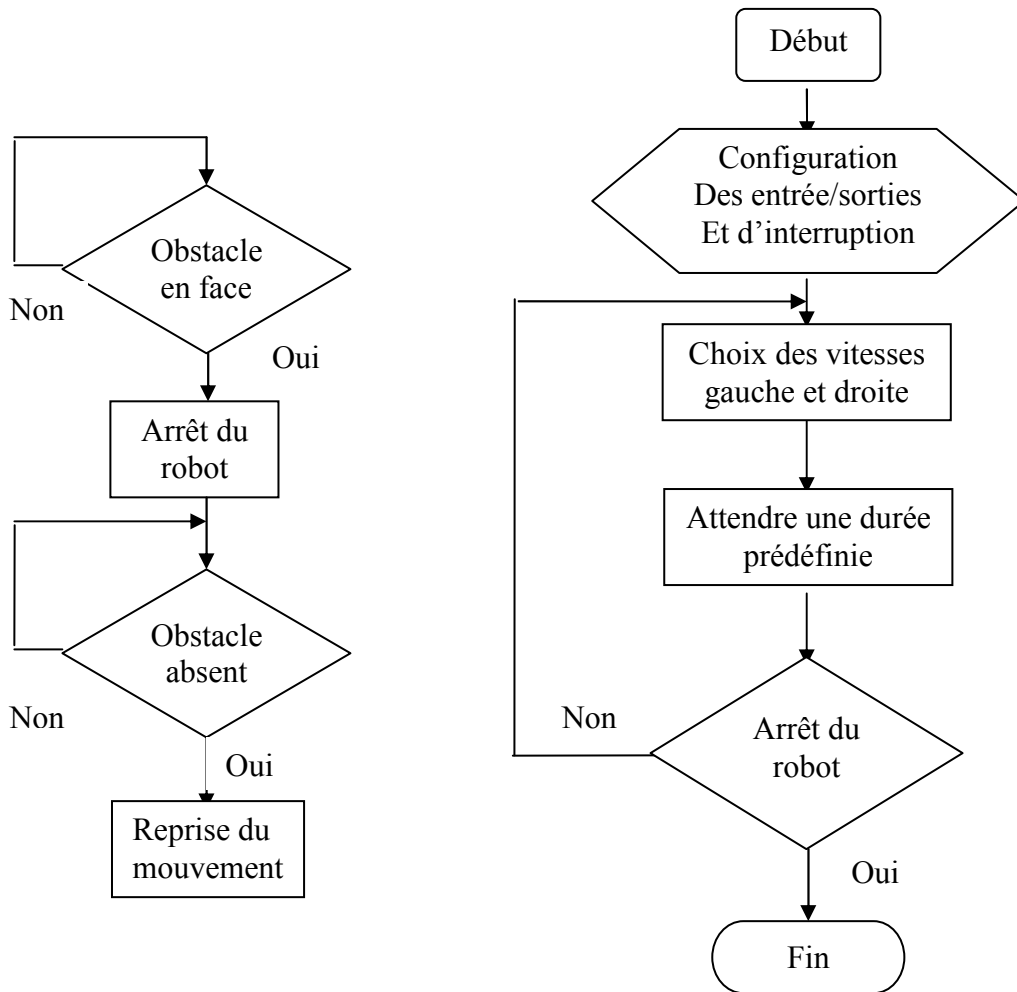


Figure 4.1 : Organigramme du déplacement du robot

IV.3 Tests de mesure de distances

Afin de réaliser la mesure des distances entre les deux balises et le robot nous avons d'abord testé le principe de mesure sans l'utilisation du signal infrarouge, cela a été effectué en utilisant l'émetteur ultrasons uniquement à l'emplacement des balises, les résultats de ce test a été très concluant comme cela est démontré par les photos de la figure 4.3 ci-dessous.

La partie électronique réalisant cette mesure peut être divisée en deux parties ; il y a d'abord l'émetteur qui doit délivrer un signal de 40 KHz compatible avec la cellule utilisée, ce signal est généré d'une manière cyclique c'est-à-dire que nous envoyons des paquets d'ondes à cette fréquence toutes les 100 ms autrement dit la fréquence de mesure est de 10 Hz, ce choix peut très bien être modifié pour rendre la mesure plus rapide mais nous avons choisi cette valeur

Chapitre IV : Tests et Résultats

afin d'avoir suffisamment de temps pour que l'afficheur LCD puisse traiter et afficher les données correctement.

La deuxième partie et qui concerne le récepteur a été plus délicate à mettre en œuvre étant donné que les signaux ultrasons reçus sont de faibles amplitudes et donc qu'il fallait apporter un soin particulier quand au choix des composants de l'amplificateur. Après plusieurs tests notre choix s'est fait sur le LM324 qui est un circuit intégré contenant 4 amplificateurs opérationnels et dont le circuit est donné dans la figure 4.3.

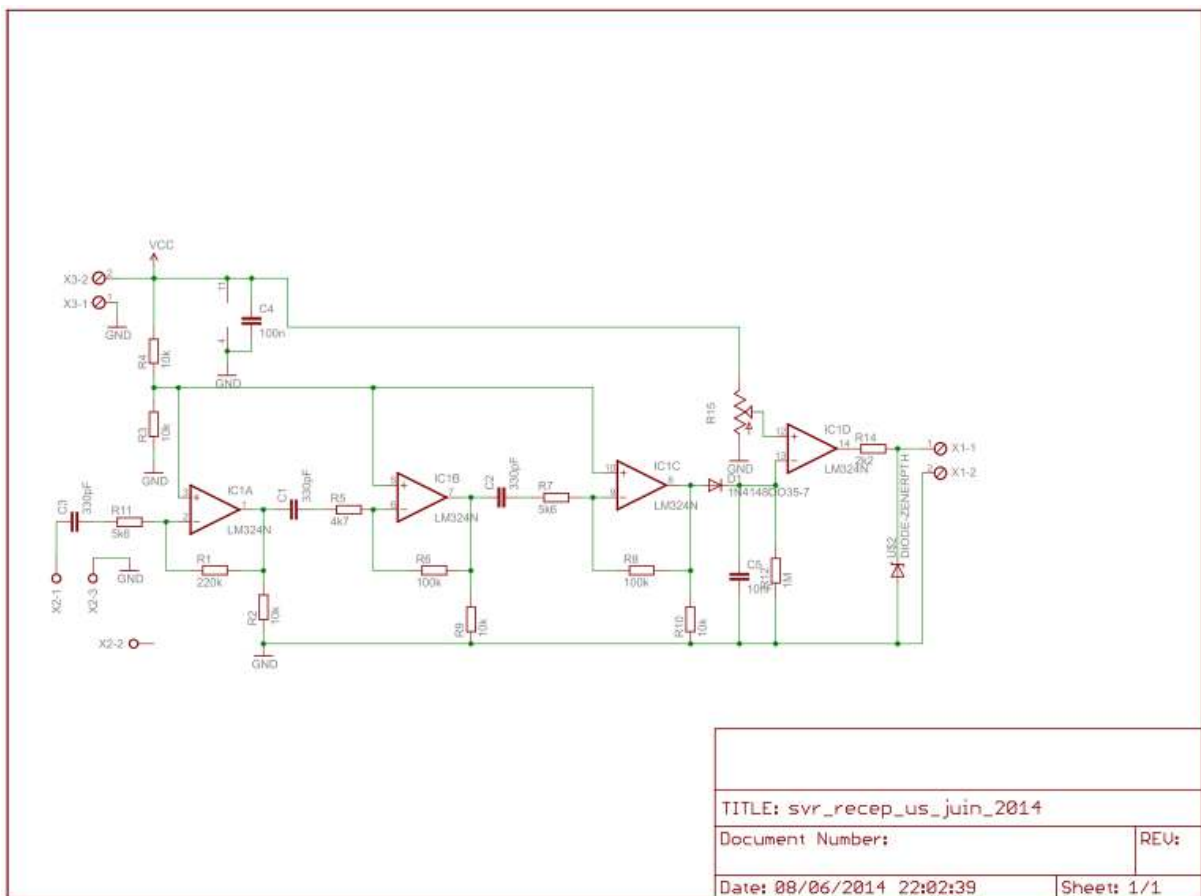


Figure 4.2 : schéma électrique de l'amplificateur ultrasons

Après avoir suffisamment amplifié le signal ultrasons nous utilisons un circuit de décodage de fréquences nous permettant d'obtenir un signal numérique au format TTL c'est-à-dire exploitable par notre microcontrôleur qui, pour cette partie est un PIC16F628A, cette fonction est réalisée par le composant NE567 dont le schéma est donné en figure 4.3, l'organigramme pour l'émission/réception des ultrasons est représenté par la figure 4.4 ci-dessous.

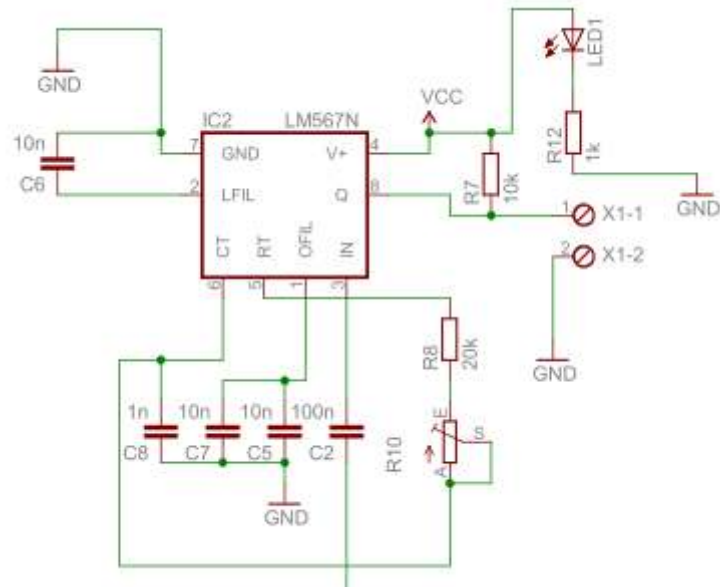


Figure 4.3 schéma électrique du décodeur de fréquence

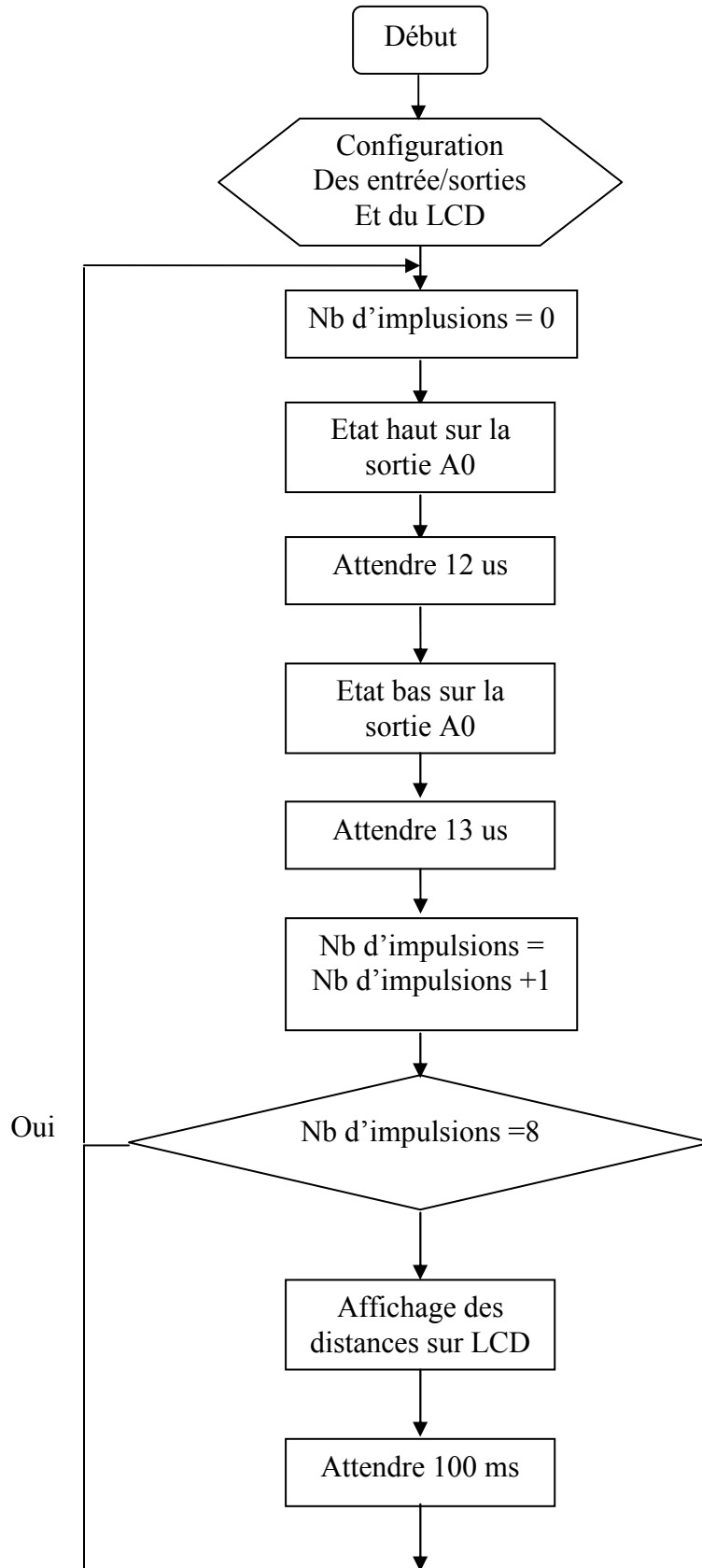


Figure 4.4 : organigramme de la mesure de distance par ultrasons



Figure 4.5 : Affichage sur oscilloscope d'un signal ultrason émis et reçu.



Figure 4.6 : Affichage de la distance entre l'émetteur et le récepteur ultrasons.

Chapitre IV : Tests et Résultats

Les figures 4.5 et 4.6 montrent le bon fonctionnement de notre système de mesure de la distance entre l'émetteur et le récepteur : l'affichage sur LCD a été calculé à partir de la vitesse de propagation du son qui est environ de 343 m/s ; en utilisant l'oscilloscope pour mesurer le temps de départ et d'arrivée de l'onde nous pouvons retrouver cette distance avec la formule : $d=v*t$ avec $t=750\mu s$.

on aura $d=343*750 \cdot 10^{-6} = 25,72 \text{ cm}$.

Ceci est vérifié par une manuelle de cette distance telle cela est illustré par la figure 4.7

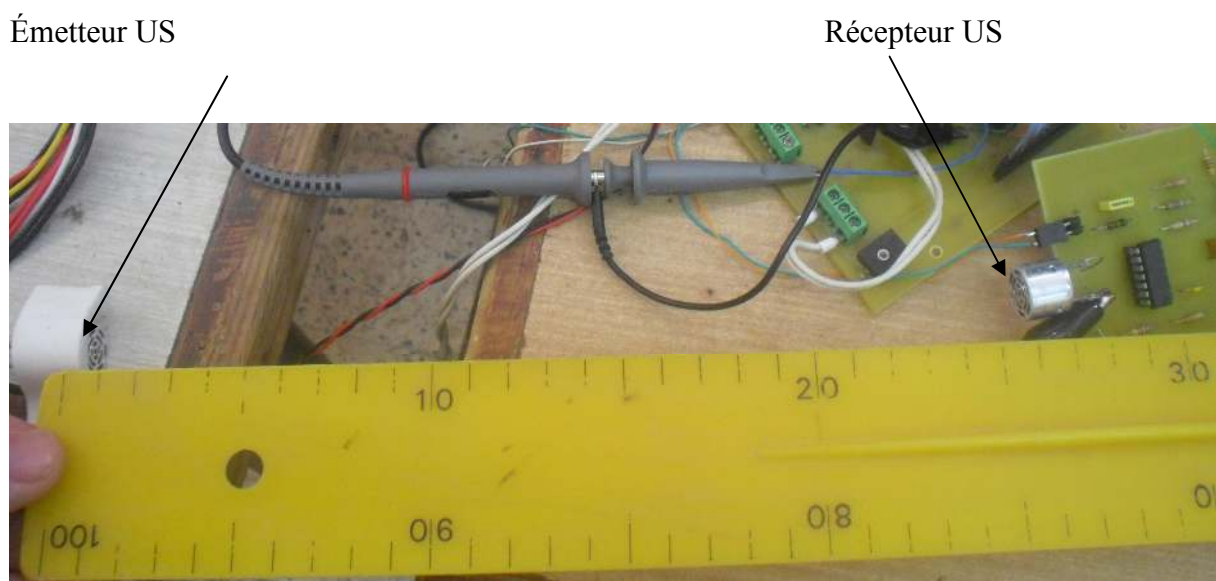


Figure 4.7 mesure manuelle de la distance entre l'émetteur et le récepteur ultrasons

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats obtenus qui sont très encourageant pour finaliser notre système de localisation tel que prévu dans le cahier des charges.

Bibliographie

- [1] David Daney : cours de robotique fondamentale, Projet Coprin INRIA Sophia Antipolis.
- [2] David FILLIAT : Robotique Mobile, École Nationale Supérieure de Techniques Avancées ParisTech.
- [3] SID Abderrahmane et KECHOUANE Yakhlef : Mémoire de Projet de Fin d'Études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Électronique, Développement d'une stratégie de navigation d'un robot mobile dans un environnement dynamique, Université SAAD DAHLAB de BLIDA, 2011-2012.
- [4] Cyril DROCOURT : Localisation et modélisation de l'environnement d'un robot mobile par coopération de deux capteurs omnidirectionnels, Université de Technologie de Compiègne, février 2002.
- [5] Abdessamed SAID : Développement d'un planificateur réactif de trajectoire intégrant un modèle de modalisation dynamique de l'environnement, Blida-Algérie, 2006.
- [6] O. Truillier and J.A. Meyer : Animat navigation models and strategies in animals, AI communication, V10, 79-92, IOS Press Amsterdam, The Netherlands, 1997.
- [7] David FILLIAT, Robotique mobile, Les différents types de navigation, Paris-France, 2011
- [8] Omar AIT AIDIER : localisation référencée, modèle d'un robot mobile d'intérieur, D'EVRY-VAL D'ESSONNE, France, 12, 2002.
- [9] Nicolas MORETTE : Contribution à la Navigation de robots mobiles : approche par modèle direct et commande prédictive, université d'Orléans, Décembre 2009.

Sites internet

- [10] <http://www.roboticus.org/electronique/56-integrer-des-leds-dans-un-par-pour-faire-un-par-a-leds>
- [11] <http://www. Diode électroluminescente – Wikipédia.fr>
- [12] <http://www.roboticus.org/electronique/20-la-carte-infrarouge-montage-du-recepteur>
- [13] TEMIC Semiconductors, Photo Modules for PCM Remote Control Systems, datasheet.
- [14] <http://www.arduino.cc/>

ANNEX

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

Single Supply Quad Operational Amplifiers

The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

Features

- Short-Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and FRAP Capable
- These Devices are Pb-Free, Halogen Free (BFR Free) and are RoHS Compliant



ON Semiconductor®

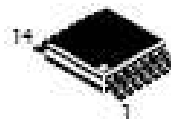
<http://onsemi.com>



PDIP-14
N SUFFIX
CASE 646

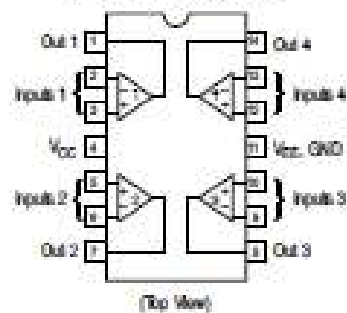


SOIC-14
D SUFFIX
CASE 751A



TSSOP-14
DTB SUFFIX
CASE 948G

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 11 of this data sheet.

DESCRIPTION

The NE567/SE567 tone and frequency decoder is a highly stable phase-locked loop with synchronous AM lock detection and power output circuitry. Its primary function is to drive a load whenever a sustained frequency within its detection band is present at the self-biased input. The bandwidth center frequency and output delay are independently determined by means of four external components.

PIN CONFIGURATION

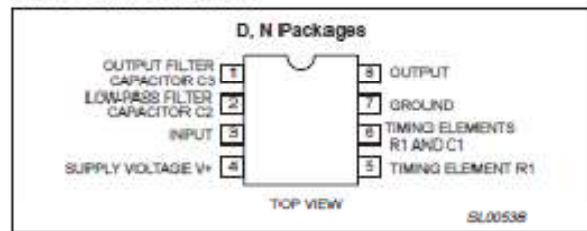


Figure 1. Pin configuration

FEATURES

- Wide frequency range (0.01 Hz to 500 kHz)
- High stability of center frequency
- Independently controllable bandwidth (up to 14%)
- High out-band signal and noise rejection
- Logic-compatible output with 100 mA current sinking capability
- Inherent immunity to false signals
- Frequency adjustment over a 20-to-1 range with an external resistor

APPLICATIONS

- Touch-Tone® decoding
- Carrier current remote controls
- Ultrasonic controls (remote TV, etc.)
- Communications paging
- Frequency monitoring and control
- Wireless intercom
- Precision oscillator

BLOCK DIAGRAM

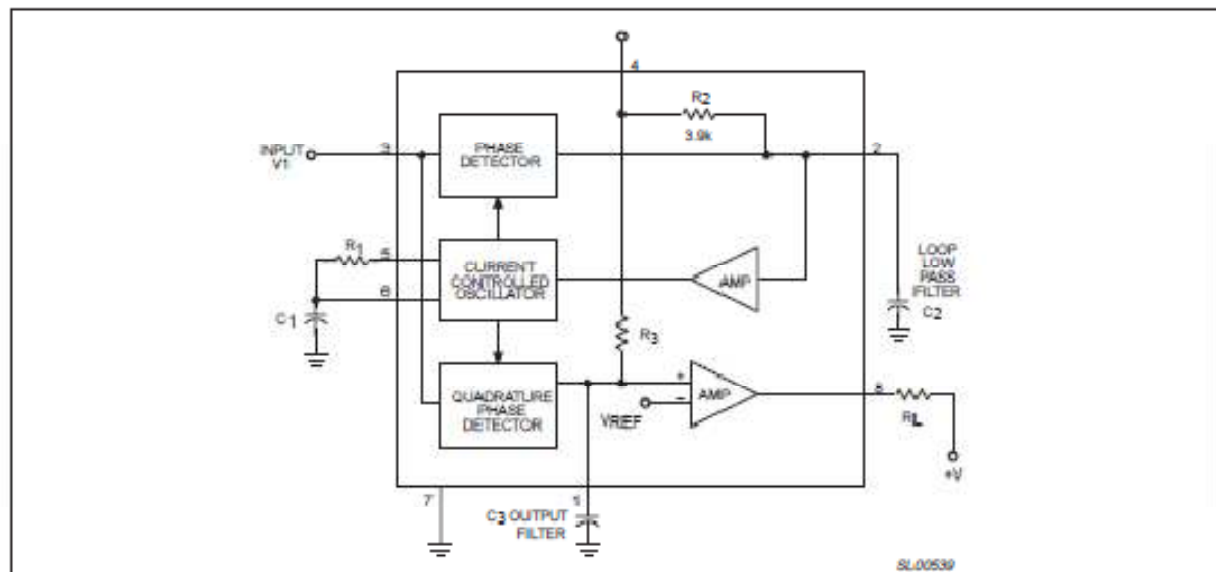


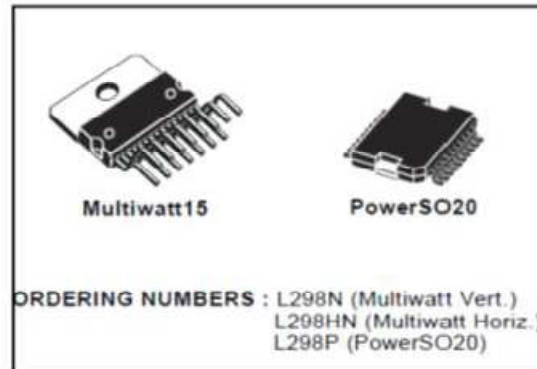
Figure 2. Block Diagram

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

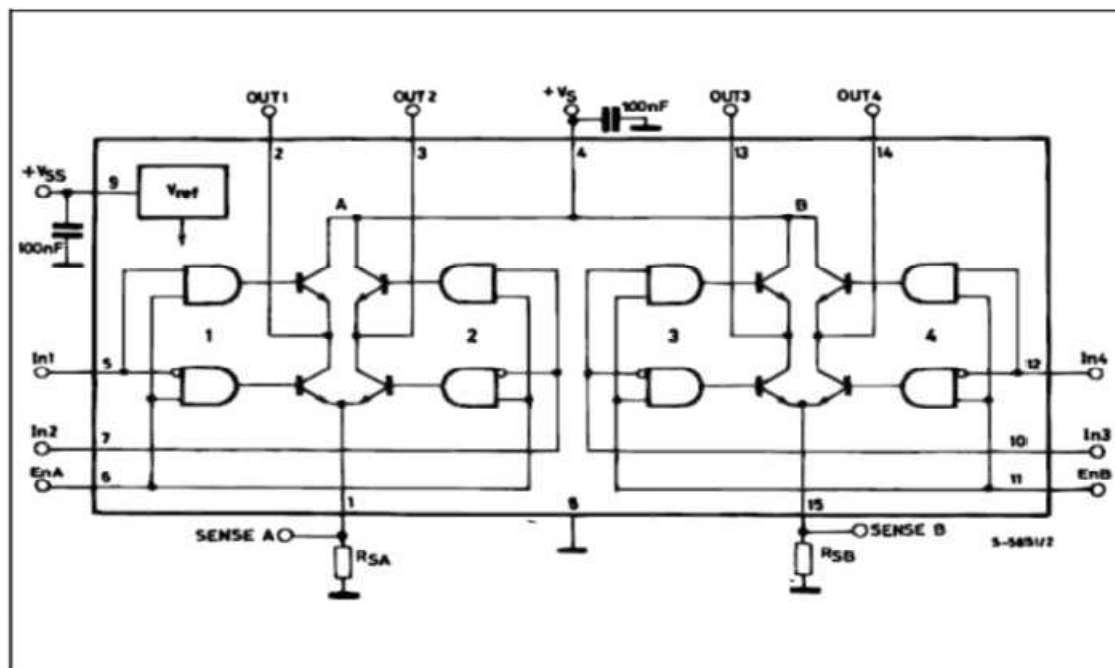
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

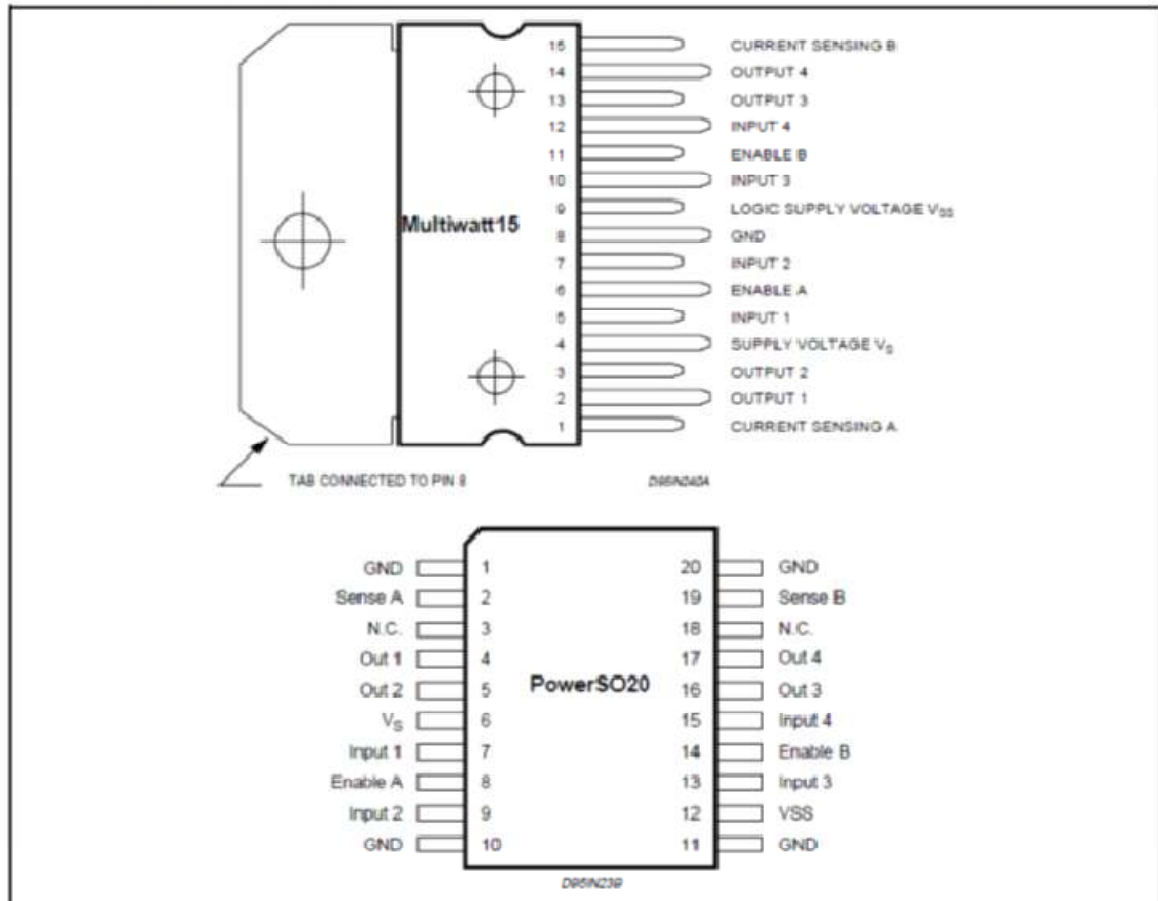
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_o	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	- DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

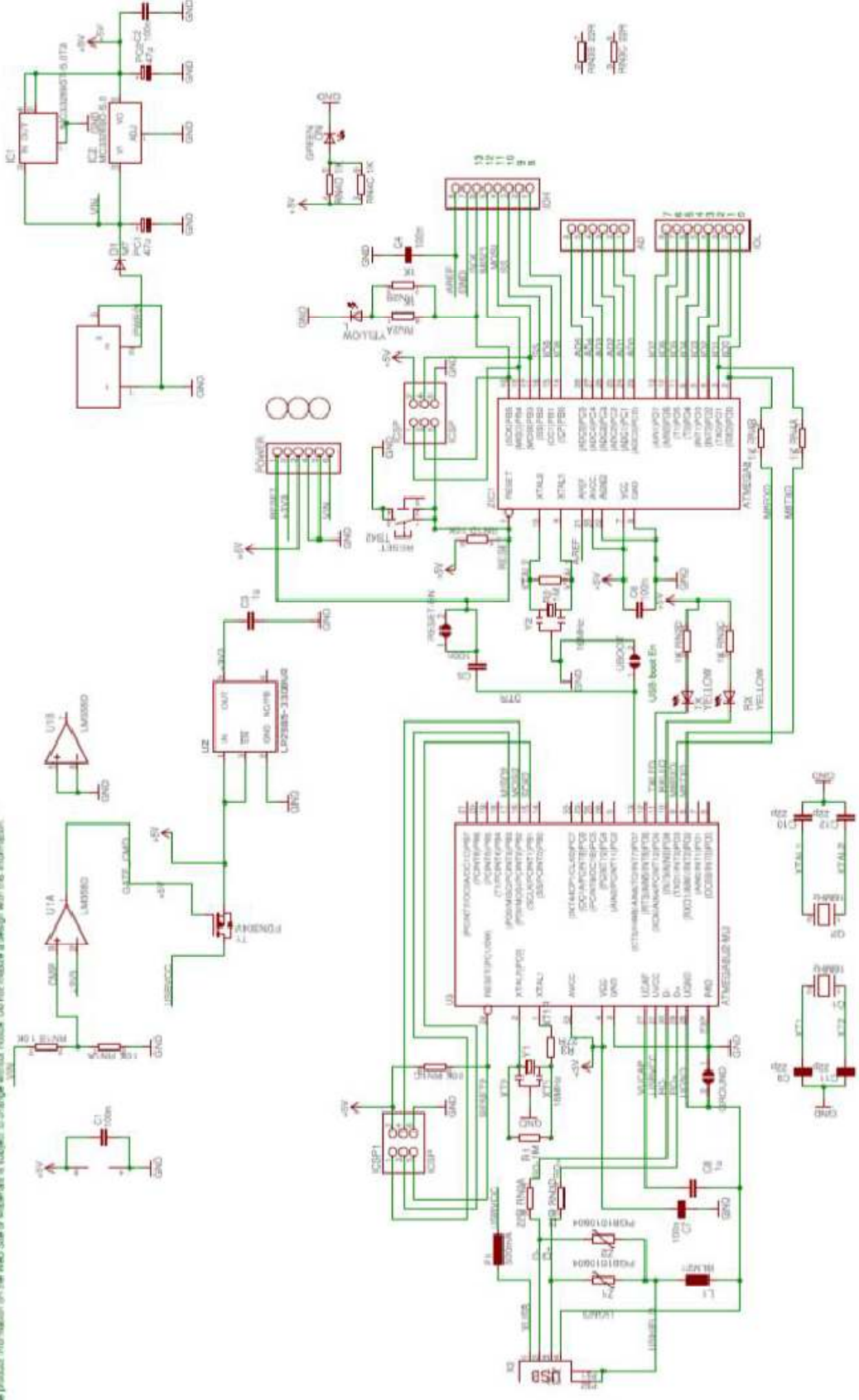
Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th\ j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max. -	3	$^\circ C/W$
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 13 (*)	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate

Arduino™ UNO Reference Design

Reference Design ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS". Avnet™ DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

Avnet may make changes to specifications and related descriptions at any time, without notice. The Customer shall not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined". Avnet reserves the right for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or inconsistencies arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not fabricate or design with this information.



TFMS 5.0

Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$

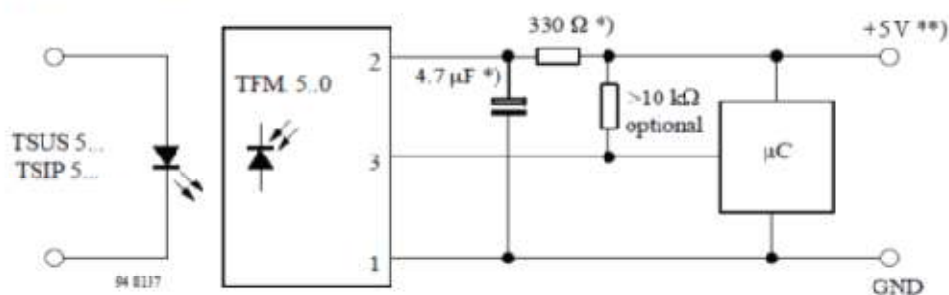
Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	(Pin 2)	V_S	-0.3...6.0	V
Supply Current	(Pin 2)	I_S	5	mA
Output Voltage	(Pin 3)	V_O	-0.3...6.0	V
Output Current	(Pin 3)	I_O	5	mA
Junction Temperature		T_j	100	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range		T_{stg}	-25...+85	$^{\circ}\text{C}$
Operating Temperature Range		T_{amb}	-25...+85	$^{\circ}\text{C}$
Power Consumption	($T_{amb} \leq 85^{\circ}\text{C}$)	P_{tot}	50	mW
Soldering Temperature	$t \leq 10\text{ s}$, 1 mm from case	T_{sd}	260	$^{\circ}\text{C}$

Basic Characteristics

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply Current (Pin 2)	$V_S = 5\text{ V}$, $E_v = 0$	I_{SD}	0.4	0.5	0.8	mA
	$V_S = 5\text{ V}$, $E_v = 40\text{ klx}$, sunlight	I_{SH}		1.0		mA
Transmission Distance	$E_v = 0$, test signal see fig. 7, IR diode TSIP5201, $I_F = 1.5\text{ A}$	d		35		m
Output Voltage Low (Pin 3)	$I_{OSL} = 0.5\text{ mA}$, $E_e = 0.7\text{ mW/m}^2$, $f = f_{co}$, $t_w/T = 0.4$	V_{OSL}			250	mV
Irradiance (30 - 40 kHz)	Pulse width tolerance: $t_{pc} = t_{pi} \pm 160\mu\text{s}$, test signal (see fig. 7)	$E_e\text{ min}$		0.3	0.5	mW/m^2
Irradiance (55 kHz)	Pulse width tolerance: $t_{pc} = t_{pi} \pm 160\mu\text{s}$, test signal (see fig. 7)	$E_e\text{ min}$		0.4	0.7	mW/m^2
Irradiance		$E_e\text{ max}$	20			W/m^2
Directivity	Angle of half transmission distance	$\varphi_{1,2}$		± 55		deg

Application Circuit



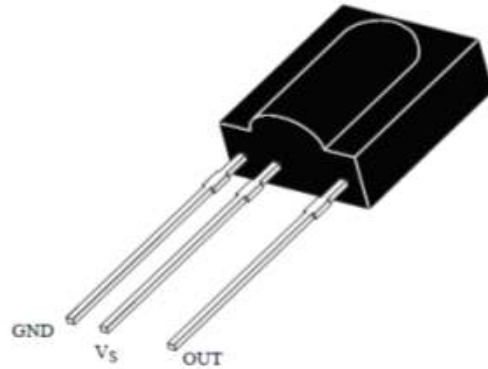
*) only necessary to suppress power supply disturbances

**) tolerated supply voltage range : $4.5\text{ V} < V_S < 5.5\text{ V}$

Photo Modules for PCM Remote Control Systems

Available types for different carrier frequencies

Type	f ₀	Type	f ₀
TFMS 5300	30 kHz	TFMS 5330	33 kHz
TFMS 5360	36 kHz	TFMS 5370	36.7 kHz
TFMS 5380	38 kHz	TFMS 5400	40 kHz
TFMS 5560	56 kHz		



94 8891

Description

The TFMS 5..0 – series are miniaturized receivers for infrared remote control systems. PIN diode and preamplifier are assembled on lead frame, the epoxy package is designed as IR filter. The demodulated output signal can directly be decoded by a microprocessor. The main benefit is the reliable function even in disturbed ambient and the protection against uncontrolled output pulses.

Features

- Photo detector and preamplifier in one package
- Output active low
(active high modules: TFMS 5..9)
- Internal filter for PCM frequency
- High immunity against ambient light
- Improved shielding against electric field disturbance
- 5 Volt supply voltage, low power consumption
- TTL and CMOS compatibility
- Continuous transmission possible ($t_{pr}/T \leq 0.4$)

Block Diagram

