

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BATNA  
*FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR*  
**DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE**

# **THESE**

Présentée par

**SLIMANE Nouredine**

Pour l'obtention du grade de

**DOCTEUR D'ETAT DE L'UNIVERSITE DE BATNA**

***SPECIALITE : CONTROLE***

***Discipline : Robotique***

---

---

**SYSTEME DE LOCALISATION POUR ROBOTS  
MOBILES**

---

---

Soutenue le : 23 / 11 / 2005 devant le jury composé de :

Dr. CHAHDI Mohamed	Pr. Université de Batna	Président
Dr. BENMAHAMMED Khier	Pr. Université de Sétif	Examineur
Dr. DJEGHABA Messaoud	Pr. Université d'Annaba	Examineur
Dr. LOUCHENE Ahmed	M.C. Université de Batna	Examineur
Dr. BOUGUECHAL N-Eddine	Pr. Université de Batna	Rapporteur

# Table des matières

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1. GENERALITES SUR LA ROBOTIQUE MOBILE .....</b>	<b>5</b>
1. INTRODUCTION.....	5
1.1. Historique.....	5
1.2. Définition .....	6
2. PRESENTATION GENERALE DES ROBOTS MOBILES.....	6
3. CLASSIFICATION .....	6
4. APPLICATIONS.....	7
5. ARCHITECTURE DES ROBOTS MOBILES .....	8
5.1. La structure mécanique et la motricité.....	8
5.1.1. Les mobiles à roues.....	8
5.1.2. Les mobiles à chenilles .....	8
5.1.3. Les mobiles marcheurs.....	8
5.1.4. Les robots rampants .....	9
5.1.5. La motricité et l'énergie.....	9
5.2. Les organes de sécurité .....	9
5.3. Traitement des informations et gestion des taches .....	10
5.3.1. La navigation.....	10
5.3.2. La modélisation de l'espace.....	11
5.3.3. La planification de trajectoires.....	12
6. LES METHODES DE LOCALISATION .....	12
6.1. La localisation du mobile .....	12
6.1.1. La localisation relative ou à l'estime .....	13
6.1.1.1. L'odométrie.....	13
6.1.1.2. Les systèmes inertiels.....	13
6.1.2. La localisation absolue.....	13
6.1.2.1. Repères artificiels.....	14
6.1.2.1.1. Les balises .....	14

6.1.2.1.2. Le marquage de l'espace.....	14
6.1.2.2. Repères naturels .....	15
6.1.2.2.1. Exemples de méthodes utilisant des amers naturels .....	15
6.1.3. La localisation partielle.....	16
6.1.3.1. Le gyroscope .....	16
6.1.3.2. Le magnétomètre.....	16
6.1.4. Conclusion.....	16
6.2. La localisation de l'environnement.....	16
6.2.1. Les systèmes télémétriques .....	17
6.2.2. L'analyse d'images .....	17
6.2.3. La mise en correspondance .....	17
7. CONCLUSION .....	18
<b>Chapitre 2. CAPTEURS UTILISES EN ROBOTIQUE MOBILE.....</b>	<b>19</b>
1. INTRODUCTION.....	19
2. LES SYSTEMES DE PERCEPTION.....	20
3. GENERALITES SUR LES CAPTEURS .....	20
3.1. Définition d'un capteur .....	21
3.2. Classification des capteurs .....	21
4. DIFFERENTS TYPES DE CAPTEURS .....	21
4.1. Les capteurs internes .....	21
4.1.1. Les capteurs de déplacement.....	22
4.1.1.1. Les odomètres .....	22
4.1.1.2. Les accéléromètres .....	22
4.1.2. Les capteurs d'attitude .....	23
4.1.2.1. Les gyroscopes .....	23
4.1.2.2. Les gyromètres .....	23
4.1.2.3. Les gyrocompas .....	24
4.1.2.4. Le magnétomètre ou compas magnétique.....	24
4.1.3. Autres types de capteurs proprioceptifs .....	24
4.1.3.1. Capteurs à effet Doppler .....	24
4.1.3.2. Capteurs d'attitude : compas, inclinomètres .....	25

4.1.4. Conclusion.....	25
4.2. Les capteurs externes .....	25
4.2.1. Les capteurs télémétriques .....	26
4.2.1.1. Les capteurs laser .....	26
4.2.1.2. Les capteurs à infrarouge .....	27
4.2.1.3. Les capteurs à ultrasons .....	27
4.2.1.3.1. La réflexion de l'onde.....	27
4.2.1.3.2. La zone aveugle .....	29
4.2.2. Les systèmes de vision .....	30
4.2.2.1. La stéréovision .....	31
4.2.2.2. Les capteurs à triangulation active (lumière structurée).....	32
4.2.2.3. La vision omnidirectionnelle .....	32
4.2.3. Autres capteurs.....	33
5. LA COOPERATION MULTICAPTEURS .....	33
5.1. Combinaison d'une caméra et d'un faisceau lumineux .....	33
5.2. Combinaison de deux caméras.....	33
5.3. Combinaison de plusieurs capteurs à ultrasons .....	34
6. CONCLUSION .....	34
<b>Chapitre 3. LES DIFFERENTES METHODES DE LOCALISATION.....</b>	<b>35</b>
1. INTRODUCTION.....	35
1.1. Une définition de la localisation .....	35
1.2. Les deux grandes familles de systèmes de localisation .....	36
1.2.1. La localisation relative .....	36
1.2.2. La localisation absolue.....	36
1.2.3. Comparaison des deux familles .....	36
2. TECHNIQUES DE LOCALISATION .....	37
2.1. Localisation relative : l'odométrie .....	37
2.1.1. Modélisation des erreurs d'odométrie .....	38
2.1.2. Réduction des erreurs systématiques .....	39
2.2. Localisation par capteurs inertiels.....	40
2.2.1. Modélisation des termes de dérive.....	40
2.2.2. Conclusion.....	41
2.3. Localisation par corrélation entre images .....	41

2.4. Localisation absolue.....	41
2.4.1. Nature des repères .....	42
2.4.1.1. Repères actifs .....	42
2.4.1.2. Repères passifs .....	42
2.4.1.3. Comparaison .....	42
2.4.2. Types de mesure.....	42
2.4.2.1. La multilatération .....	43
2.4.2.2. La triangulation .....	44
3. METHODES DE NAVIGATION .....	44
3.1. Navigation à l'estime .....	44
3.1.1. Navigation par odométrie.....	44
3.1.2. Navigation inertielle.....	44
3.2. Localisation absolue sur balises .....	44
3.2.1. Localisation par trois balises.....	45
3.2.2. Localisation par deux balises .....	46
3.2.3. Localisation par une balise.....	47
3.2.4. Avantages et inconvénients de la localisation sur balises.....	48
3.3. Localisation absolue sur cartes de l'environnement .....	48
3.4. Localisation par analyse d'images vidéo .....	48
3.5. Localisation par système multicapteur.....	49
4. LOCALISATION ET MODELISATION SIMULTANEEES DE L'ENVIRONNEMENT .....	49
4.1. Les approches métriques .....	50
4.1.1. Les méthodes de modélisation géométriques .....	50
4.1.2. Les méthodes de modélisation basées sur les grilles d'occupation ..	51
4.2. Les approches topologiques .....	52
4.3. Remarques sur les méthodes de modélisation.....	53
5. CONCLUSION .....	53
6. TRAVAUX SUR LA LOCALISATION.....	54
6.1. La localisation relative : étude de l'odométrie.....	54
6.2. Travaux réalisés.....	55
6.3. La localisation globale .....	56
6.3.1. Introduction .....	56
6.3.2. Dispositif utilisé .....	57

6.3.3. Détermination de la position .....	57
6.3.4. Travaux réalisés .....	59
7. CONCLUSION .....	61
<b>Chapitre 4. ALGORITHMES DE LOCALISATION .....</b>	<b>62</b>
1. INTRODUCTION.....	62
2. LA FUSION MULTISENSORIELLE .....	62
2.1. Introduction .....	63
2.2. Etapes de la fusion.....	65
2.3. Modèles de fusion .....	66
2.4. Mise en correspondance de données .....	66
3. ESTIMATION DE LA POSITION D'UN ROBOT MOBILE PAR ODOMETRIE .....	66
3.1. Introduction .....	66
3.2. Détermination de la position par odométrie.....	67
3.3. Erreurs de localisation relative.....	69
4. ALGORITHME DE RECALAGE.....	70
4.1. Introduction .....	70
4.2. Présentation du système réel .....	71
4.3. Equation de mesures.....	73
4.4. Estimation de la position réelle .....	74
4.5. Présentation de l'algorithme de recalage .....	74
4.5.1. Le filtre de Kalman étendu.....	75
4.5.1.1. Phase de prédiction .....	76
4.5.1.2. Phase de mise en correspondance .....	76
4.5.1.3. Phase d'estimation .....	77
5. TRAVAUX DE SIMULATION ET RESULTATS .....	78
6. CONCLUSION .....	84
<b>Chapitre 5. COMMANDE DES ROBOTS MOBILES .....</b>	<b>85</b>
1. INTRODUCTION.....	85
2. CONTROLE DE DEPLACEMENTS DES ENGINES .....	85

2.1. Observabilité et observation en robotique mobile .....	85
2.2. Contrôle basé sur les modèles géométriques .....	86
2.2.1. Commande par analyse de Lyapunov .....	86
2.2.2. Commande par mode glissant .....	87
2.3. Contrôle basé sur les modèles dynamiques .....	88
<b>3. CONTROLEUR DE NAVIGATION .....</b>	<b>88</b>
3.1. Introduction .....	88
3.2. Etude théorique .....	89
3.2.1. Système continu .....	89
3.2.2. Système discret.....	90
3.3. Formulation du filtre de Kalman discret .....	91
3.4. Commande adaptative avec mode de glissement des servomoteurs.....	91
<b>4. CONCEPTION DU CONTROLEUR DE NAVIGATION .....</b>	<b>93</b>
<b>5. RESULTATS DE SIMULATION ET CONCLUSION .....</b>	<b>94</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>103</b>