N° Série: 2-84 / INSAR

N° d'ordre: 33 -INSAR

THESE

présentée devant

L'INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES APPLIQUEES DE RENNES

pour l'obtention

du DIPLOME de DOCTORAT d'INGENIEUR

Spécialité AUTOMATIQUE

par

Cheng-Jun ZHAO

LOCALISATION ABSOLUE D'UN ROBOT MOBILE PAR TELEMETRIE-LASER

soutenue le 24 Avril 1984

JURY MM. H.PLACE — Président

J.J.KESSIS
C.LAURGEAU
B.LEMAIRE
L.MARCE
} Examinateurs

N° Série: / INSAR

N° d'ordre: -INSAR

THESE

présentée devant

L'INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES APPLIQUEES DE RENNES

pour l'obtention

du DIPLOME de DOCTORAT d'INGENIEUR

Spécialité AUTOMATIQUE

par

Cheng-Jun ZHAO

LOCALISATION ABSOLUE D'UN ROBOT MOBILE PAR TELEMETRIE-LASER

soutenue le 24 Avril 1984

JURY MM. H.PLACE — Président

J.J.KESSIS
C.LAURGEAU
B.LEMAIRE
L.MARCE
} Examinateurs

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au Laboratoire d'Application des Techniques Electroniques Avancées de l'Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, dirigé par Monsieur H. PLACE, Professeur, auquel j'exprime ma très sincère reconnaissance pour m'avoir accueilli dans son laboratoire.

Je tiens à exprimer tous mes remerciements et ma plus vive gratitude :

- à Monsieur J.J. KESSIS, Professeur à l'Université de Paris VII ;
- à Monsieur C. LAURGEAU, Professeur à l'I.U.T. de Nantes ;
- à Monsieur B. LEMAIRE, Professeur à l'I.N.S.A. de Rennes ;

qui ont bien voulu examiner mon travail et participer au jury de soutenance.

- à Monsieur L. MARCE, Maître-Assistant à l'I.N.S.A. de RENNES qui a dirigé mes recherches et pour les conseils qu'il m'a prodigués ;
- à tous mes camarades et amis du laboratoire, et en particulier à Monsieur H. PERRICHOT pour sa collaboration amicale.
- à Madame D. GILLIER qui assuré avec gentillesse et efficacité la frappe de ce mémoire.

MQ 01/01

論文摘要

可移动机器人(或車輛机器人)的绝对定位问题是解决他在已知的外部世界中运行战略的先决条件。用計程仪作为相对定位方法時必须周期性的作绝对定位,就如在火箭和飛机的导航中所应用的一样。为此人们发展了各种运用环境航标的系统。由於须对环境作特殊准备,在航标被遮掩時又会失效,因此这种系统有很大的局限性。

本论文创造了一个新的绝对定位原理,它利用机器人世界中的障碍物本身来绝对定位。它只需要配备一个激光测距仪,不需要另设航标。

本论文討論了二种环境中的机器人定位。第一种是多角形障碍物,第二种是任意边形障碍物。其基本原理是共同的,即通过比較测距仪测到的景物图象和预先存贮在记忆中的外部世界图象进行吻合,再识别。确认所見景物乡属原图哪些部分。从而达到机器人的定位。对两种环境分别发展了多种方法。各方法的区别在於对外部世界的模型化(描取特征)和相应的符合比較方法不尽相同。最后论文列举了各种方法的试验结果和性能,比較了各方法的本质和优缺点。

通过在本实验室的机器人'VESA'的实验研究可以得到结论:本論文建立的机器人的绝对定位原理和方法是有效而可行的。其中一些計法丰富了机器人的視覚有关学科。

赵诚钧 于法国南恩国立应用科学学院电子工程系先进电子技术实验室 一九八四年四月

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

I.N.S.A. - RENNES

P E R M I S D'I M P R I M E R

Thèse de : DOCTEUR INGENIEUR

Spécialité : AUTOMATIQUE

présentée par Monsieur ZHAO CHENG JUN

né le 30/08/1940 à CHANGZHOU - CHINE

n° de la thèse par année civile: 2 - 84

n° d'ordre général de la thèse : 33

Rennes, le 24 avril 1984

Le Président de Thèse

H.PLACE

Vu et permis d'imprimer

Rennes, le 25.04.84

Le Directeur de l'I.N.S.A.

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES - RENNES -

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

LOCALISATION ABSOLUE D'UN ROBOT MOBILE PAR TELEMETRIE-LASER

Pages

INTRODUCTION 1

CHAPITRE A - LOCALISATION ABSOLUE PAR TELEMETRIE POUR VESA III

I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES TELEMETRES 2

I.1. LES TELEMETRES DIRECTS 2

I.1.1. LES TELEMETRES DU TYPE RADAR 2

I.1.2. LES TELEMETRES A TRIANGULATION 9

I.2. LES TELEMETRES INDIRECTS 11

I.2.1. MESURE DE DISTANCE PAR STEREOVISION 11

I.2.2. LES AUTRES METHODES INDIRECTES 16

CONCLUSION 17

II. LES TELEMETRES A TRIANGULATION DEVELOPPES POUR VESA 19

II.1. TELEMETRE A RECEPTEUR FIXE 19

II.2. TELEMETRE EXTRACTEUR D'ANGLE 22

II.2.1. DESCRIPTION DU PROTOTYPE 23

II.2.2. DETECTION DES ARETES 24

II.2.3. DISPOSITIF DE MESURE 25

II.2.4. RESULTATS DE MESURES 26

II.3. TELEMETRE PANORAMIQUE 28

CONCLUSION 29

III. DESCRIPTION DE QUELQUES METHODES DE LOCALISATION ASSOCIEES A UN TELEMETRE LASER 30

III.1. LES TECHNIQUES DE CORRELATION ET LA CORRESPONDANCE DE MOTIFS 31

III.2. POSITIONNEMENT AUTOMATIQUE DE VAISSEAUX PAR COINCIDENCE DES IMAGES CARTE ET RADAR 34

III.2.1. ALGORITHME DE CORRELATION NORMALISEE 35
III.2.2. CORRELATION BASEE SUR UN CRITERE DE SIMULATION PONDERE 36
III.3. CORRESPONDANCE PARAMETRIQUE ET METHODE DU CHANFREIN 37
CONCLUSION 39

CHAPITRE B - METHODES DE LOCALISATION ABSOLUE PAR TELEMETRIE LASER

I. CARACTERISTIQUES COMMUNES DES METHODES DE LOCALISATION .. 40
I.1. MODELISATION DU MONDE REEL 40
I.2. MESURES TELEMETRIQUES 41
I.3. COMPARAISON ENTRE LE MODELE DU MONDE REEL ET LA VUE TELEMETRIQUE PANORAMIQUE 47
I.4. CALCUL PRECIS DE LA POSITION DU ROBOT ET DE SON ATTITUDE 48
I.4.1. CALCUL DE LA POSITION 48
I.4.2. CALCUL DE L'ATTITUDE 49

II. METHODES POUR UN ENVIRONNEMENT POLYGONAL 51
II.1. EXTRACTION DES SOMMETS 51
II.1.1. LA COULEUR DES OBSTACLES EST DETECTEE 52
II.1.2. LA COULEUR DES OBSTACLES N'EST PAS DETECTEE 53
II.2. METHODE DES ZONES DE VISIBILITE 62
II.2.1. PRINCIPE DE LA METHODE 62
II.2.2. DETERMINATION DE LA CARTE DE VISIBILITE 66
II.2.3. ETIQUETAGE DES SOMMETS 78
II.2.4. LOCALISATION PRECISE DU ROBOT 80
II.2.5. QUELQUES EXEMPLES DE MODELISATION PAR ZONES DE VISIBILITE 80

II.3. METHODES DE RECHERCHE D'UN ELEMENT DANS UNE LISTE 86
II.3.1. PRINCIPE DE LA METHODE 86
II.3.2. RECHERCHE D'UN ELEMENT DANS UNE LISTE EN PRENANT COMME ELEMENT DE REFERENCE UN SOMMET ET UN COTE D'OBSTACLE 89
II.3.3. RECHERCHE D'UN ELEMENT DANS UNE LISTE SANS SEGMENT DE REFERENCE 94
II.4. RESULTATS ET COMPARAISON DES DIFFERENTES METHODES 98

III. METHODES POUR UN ENVIRONNEMENT NON POLYGONAL 101
III.1. DESCRIPTION GENERALE DE CES METHODES 101
III.1.1. LE MODELE DU MONDE 102
III.1.2. VISION TELEMETRIQUE PANORAMIQUE 104
III.1.3. LOCALISATION ET ATTITUDE DU ROBOT 106
III.2. ASSIMILATION A UN ENVIRONNEMENT POLYGONAL 106
III.3. MODELISATION DU TERRAIN PAR UNE GRILLE 107
III.3.1. CARACTERISATION DE CHAQUE CELLULE 108
III.3.2. VUE PANORAMIQUE TELEMETRIQUE 123
III.3.3. ETIQUETAGE DE LA CELLULE 124
III.4. CORRELATION PAR GROSSISSEMENT D'OBSTACLE 126
III.4.1. MODELE DU MONDE 128
III.4.2. VISION TELEMETRIQUE 131
III.4.3. COINCIDENCE ENTRE LE MODELE ET LA VUE 132
III.4.4. EXEMPLES 134
III.4.5. AMELIORATIONS DE LA METHODE 136
III.5. GROSSISSEMENT A L'AIDE DE LA METHODE DU CHANFREIN 137
III.5.1. MODELE DU MONDE 138
III.5.2. COINCIDENCE ENTRE LE MODELE ET LA VUE 142

III.6. CORRELATION AVEC CRITERE DE DISTANCE 143
III.6.1. MODIFICATION DE LA VUE PANORAMIQUE 143
III.6.2. CALCUL DU CRITERE DE COINCIDENCE 144
III.7. METHODE DE LA DENSITE DE PRESENCE 145
III.8. RESULTATS ET COMPARAISON DES DIFFERENTES METHODES POUR ENVIRONNEMENTS NON POLYGONAUX .. 148

CONCLUSION 150

BIBLIOGRAPHIE 151

I N T R O D U C T I O N

L'expérimentation menée autour du robot mobile VESA (Véhicule Electrique Semi-Autonome) a montré que l'on pouvait considérer comme résolu le problème de la navigation d'un mobile dans un environnement connu, à condition que sa localisation absolue soit possible. En effet, la localisation par odométrie nécessite, comme pour toutes les méthodes de localisation relatives utilisées dans le pilotage des missiles ou des avions, un recalage périodique.

Divers systèmes basés sur un balisage de l'environnement ont été développés pour résoudre ce problème, mais ils n'ont que des domaines d'application limités et exigent une préparation spéciale de l'environnement qui peut les rendre inutilisables en cas de masquage des balises. Aussi nous présentons dans cette thèse des méthodes nouvelles de localisation absolue utilisant les obstacles eux-mêmes comme balises et ne nécessitant que les données issues d'un télémètre laser à triangulation.

Ces méthodes sont classées en deux groupes suivant la nature de la modélisation du monde : le premier groupe traite d'obstacles polyédriques et le deuxième d'obstacles cylindriques, mais de base quelconque. Elles diffèrent également par les procédures de coïncidence entre le modèle du monde et la vue panoramique fournie par le télémètre.

Le premier chapitre de cette thèse est consacré d'abord à une étude bibliographique des divers systèmes télémétriques, puis à la description du télémètre à triangulation réalisé au laboratoire, et enfin à la présentation de différentes méthodes de localisation décrites dans la littérature.

Le second et dernier chapitre décrit en détail diverses méthodes de localisation absolue conçues et mises au point au laboratoire, en différenciant celles qui s'appliquent à un univers d'obstacles polygonaux et celles relatives à un univers quelconque et en les comparant sur des environnements types.

I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES TELEMETRES (COH 82), (GEO 82), (JAR 81), (JUL 82)

L'étude des télémètres peut être menée de plusieurs manières suivant la classification retenue :

- par exemple on peut distinguer les télémètres qui mesurent la distance directement et ceux qui la déterminent après interprétation d'images de luminance (fig. A.I.1).

Les télémètres directs sont en général actifs : ils font appel à une source spécifique qui émet de la lumière (généralement infrarouge), des hyperfréquences ou des ultrasons.

Les télémètres indirects ont en général besoin d'une modélisation de la scène vue et par conséquent d'une grande puissance de calcul.

- on pourrait tout aussi bien distinguer (fig. A.I.2) les systèmes de triangulation et les systèmes à temps de vol du type radar qui mesurent le temps de propagation que met un signal pour effectuer l'aller et retour entre une source et une cible, chacune de ces catégories étant alors divisée en télémètres actifs ou passifs.

I.1. LES TELEMETRES DIRECTS

Ils utilisent comme source de la lumière, des hyperfréquences ou des ultrasons. Deux principes généraux sont employés : une mesure du type "radar" (mesure de l'intervalle de temps séparant la réception de l'émission) ou une mesure du type "triangulation" (mesure de l'angle entre les directions d'émission et de réception).

I.1.1. LES TELEMETRES DU TYPE RADAR

Les télémètres les plus importants de cette catégorie sont les télémètres à ultrasons et les télémètres à laser. Connaissant d'une manière précise la vitesse du son pour les premiers et la vitesse de la lumière pour les seconds, on calcule la distance de la source à la cible à partir de la mesure du temps de propagation entre l'émission et la réception. L'exemple

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

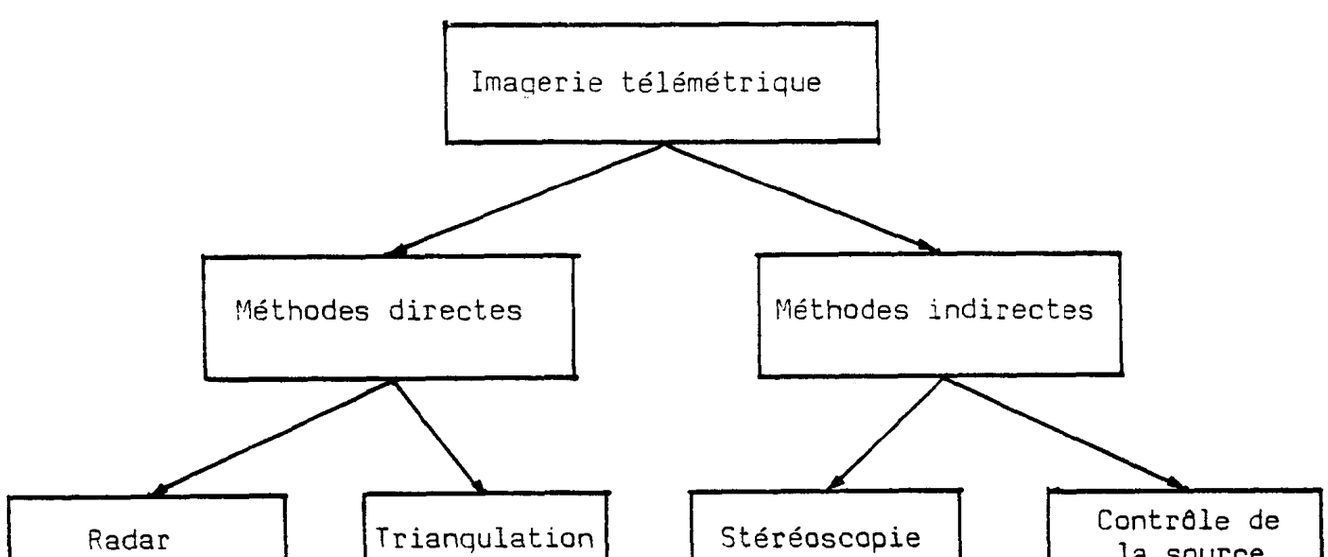


FIGURE A.I.1 - PREMIERE CLASSIFICATION DES TELEMETRES

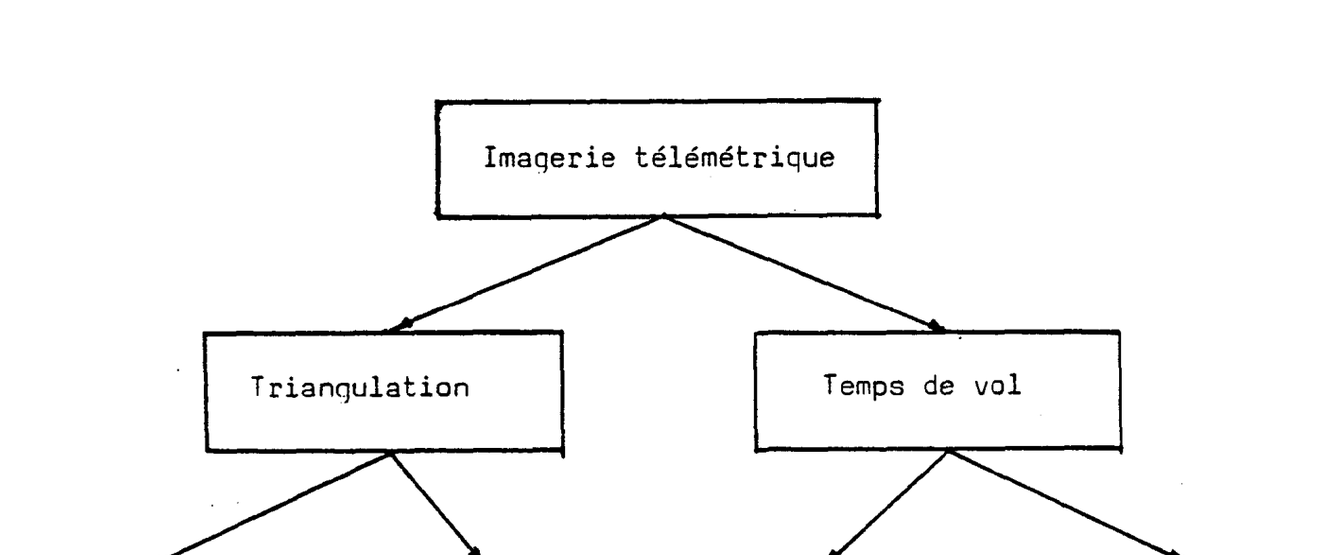


FIGURE A.I.2 - DEUXIEME CLASSIFICATION DES TELEMETRES

le plus courant de ce type de télémètre est le sonar classique, pour lequel les échos acoustiques sont enregistrés et permettent une estimation de la distance qui dépend de la configuration des surfaces réfléchissantes. En revanche l'usage de la lumière permet de mesurer la distance d'objets de forme quelconque.

a) Les télémètres à ultrasons (CLE 81), (CLE 83), (MON 81), (MON 82)

Ce type de télémètre équipe certains robots mobiles (IIJ 81) (KAN 81), quelquefois en plusieurs exemplaires (BAU 81), en raison de sa simplicité et de sa compacité. La méthode consiste à exciter une céramique piézo-électrique à l'aide de quelques impulsions de fréquence égale à la fréquence propre de la pastille, voisine de 40 kHz. Cette valeur de la fréquence, représente un compromis entre des valeurs plus élevées, pour lesquelles l'atténuation de l'onde émise est trop importante dans l'air (portée trop faible) et des valeurs plus faibles, qui correspondent à des longueurs d'onde trop grandes conduisant à des résolutions trop faibles pour la mesure de distance (à 40 kHz, la longueur d'onde est de l'ordre de 8 mm).

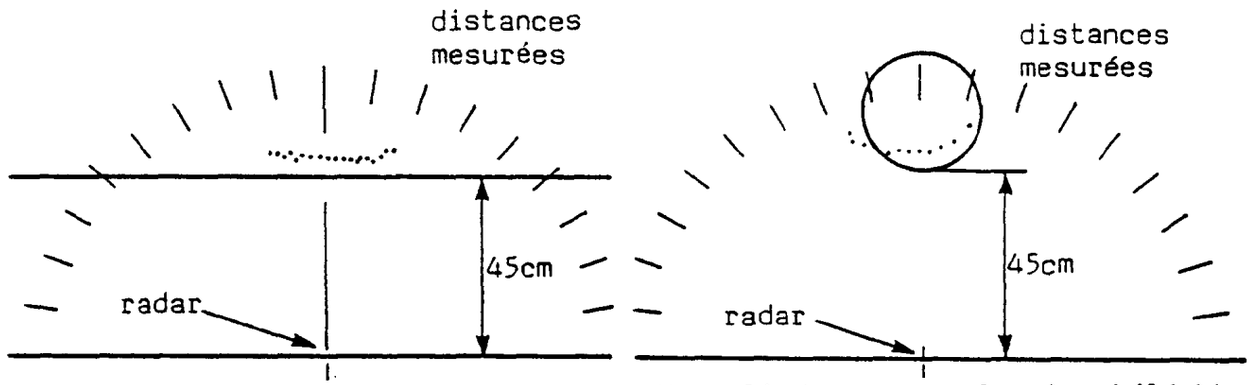
Le récepteur convertit l'écho ultrasonore en un signal électrique, à l'aide soit de la même céramique ou, le plus souvent, d'une deuxième céramique (pour éviter des interférences entre l'émission et la réception). Un filtre sélectif assure la remise en forme de ce signal, puis le maximum est détecté. La distance séparant la surface réfléchissante de l'ensemble émetteur-récepteur est directement proportionnelle à l'intervalle de temps séparant l'émission de la réception du train d'ondes.

Dans le kit Polaroïd, l'émetteur est confondu avec le récepteur ; la céramique émet un signal de durée 1 ms contenant 56 impulsions à 4 fréquences (60, 57, 53 et 50 kHz). La variation de la fréquence permet de s'adapter à différentes configurations de cibles.

Simples dans leurs principes, ces télémètres souffrent de plusieurs défauts qui ont tous pour origine la valeur trop élevée de la longueur d'onde :

- Pour des raisons d'encombrement, les céramiques sont de dimensions égales à quelques longueurs d'onde (de l'ordre de 20 à 30 mm de diamètre). Il en résulte un phénomène de diffraction qui a pour résultat de créer un faisceau présentant un grand angle d'ouverture (de 20 à 30°), qu'un simple

tube rempli de mousse plastique absorbant le son peut diminuer jusqu'à 10°. Ainsi, la surface réfléchissante est loin d'être ponctuelle et ne peut être identifiée avec précision. Cet effet est illustré sur la figure suivante par la courbe représentant la distance mesurée en fonction de la direction de l'émetteur pour un obstacle qui présente des arêtes vives : ces arêtes apparaissent de manière floue dans les mesures (IIJ 81).



Un mur vu par le radar U.S. tournant Un cylindre vu par le même télémètre

D'APRES IIJIMA (robot YAMABIKO)

FIGURE A.I.3 - VUES PANORAMIQUES

- Une deuxième faiblesse de ce télémètre est de ne pas "voir" l'obstacle dans certains cas de figures. En effet, le plus souvent, l'état de surface de l'obstacle peut être considéré comme parfait à l'échelle de la longueur d'onde : les phénomènes de diffraction sont donc très faibles. L'onde ultrasonore se réfléchit alors sur cette surface à la manière d'un faisceau lumineux sur un miroir, avec un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, cas différent de celui de la diffusion lambertienne. L'énergie ultrasonore réfléchie dans la direction du récepteur peut devenir très faible, voire même non détectable, si la surface est trop inclinée par rapport à cette direction. Cependant, l'angle d'ouverture du faisceau émis limite l'importance de ce phénomène.

- D'autre part, les signaux ultrasonores sont beaucoup atténués dans l'air, soit environ 1 dB/m, alors que dans l'eau l'atténuation est beaucoup plus faible, ce qui permet leur emploi pour les applications sous-marines ou pour les applications médicales. La vitesse de propagation dans l'air dépend aussi de la température.

Malgré tous ces défauts, la simplicité et le faible coût de ce télémètre en font un instrument très intéressant qui justifie son utilisation fréquente pour des applications ne demandant pas une précision trop grande, en particulier pour la détection d'obstacles. Ainsi, VESA est doté d'un tel télémètre (MON 81) utilisé en complément d'autres dispositifs. L'amélioration des télémètres à ultrasons passe par l'utilisation et la mesure de la phase, ce qui pourrait permettre de "voir" derrière les coins (GEO 82).

b) Les télémètres à laser

On utilise beaucoup les lasers en télémétrie, car ils sont caractérisés par un faisceau monochromatique de faible divergence. On estime la distance par la mesure du temps de vol, ou bien entre une source laser et un détecteur, ou bien à partir des signaux réfléchis par une cible naturelle ou artificielle.

Initialement, ce sont des techniques point par point qui ont été développées, alors que maintenant les lasers servent même à faire de l'imagerie, éventuellement pour détecter des cibles mouvantes : ainsi les radars à laser (LIDARS) sont employés dans de nouvelles armes très sophistiquées.

Dans le secteur industriel, au contraire des applications précédentes, les lasers peuvent travailler aussi bien à courte qu'à longue distance et avec une bonne résolution angulaire. Le laser peut fonctionner en mode continu ou en mode pulsé pour éclairer la cible : en mode continu, la distance est évaluée grâce à une modulation de phase avec une détection hétérodyne, alors qu'en mode pulsé, elle découle directement de la mesure du temps de vol.

Les télémètres à laser ont été surtout étudiés pour mesurer des distances de 1 à 5 m avec une précision de 1 mm.

- Les télémètres laser à déphasage

Dans ce cas la source est modulée par un signal périodique. Un exemple d'un tel télémètre construit au Stanford Research Institute (NIT 77) est représenté sur la figure A.I.4 . Ce système délivre à la fois la phase et l'amplitude du signal réfléchi. Si l'on corrige celui-ci par un facteur dépendant de la distance, on peut mesurer l'albédo qui caractérise intrinsèquement la surface, puisqu'il est indépendant de l'orientation de la surface et de l'éclairage. D'autre part, comme dans toute mesure de phase, il faut lever l'ambiguïté du quantum de phase lié à la modulation.

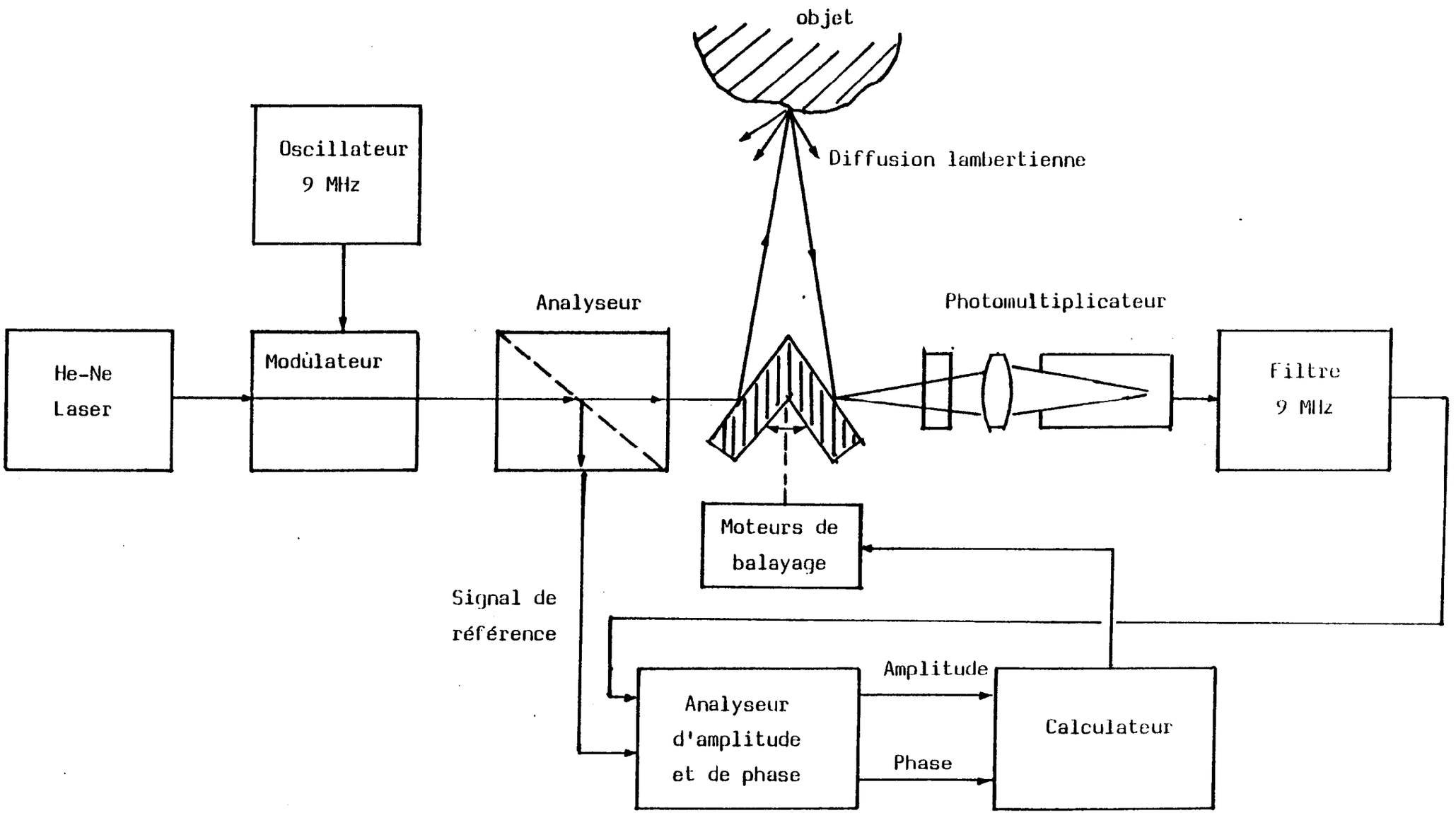


FIGURE A.I.4 - SCHEMA DE PRINCIPE D'UN TELEMETRE LASER A DEPHASAGE

- Les télémètres laser par mesure du temps de vol

Un télémètre de ce type a été utilisé au CALTEC's Jet Propulsion Laboratory (LEW 77), ainsi qu'au L.A.A.S. (FER 82).

Le principe du laser employé au L.A.A.S. est représenté sur la figure ci-dessous :

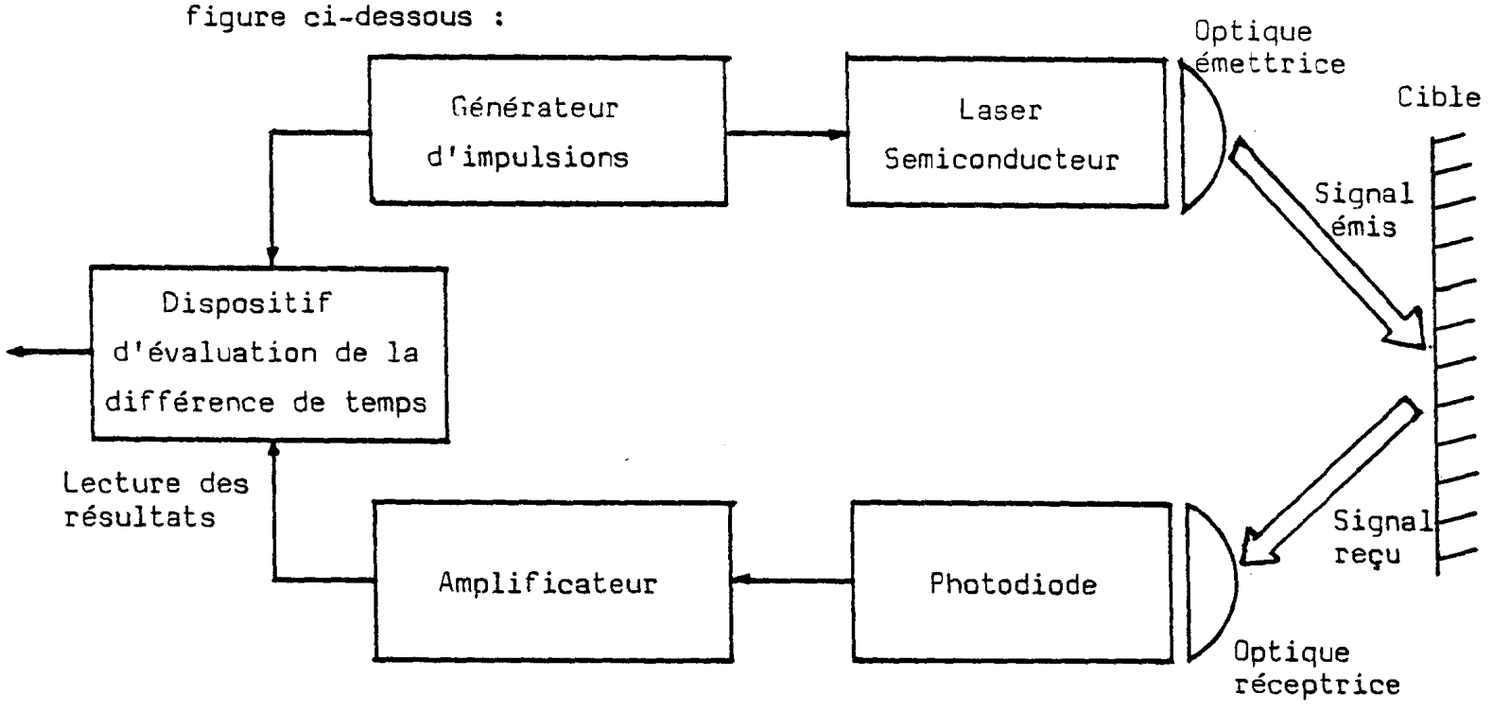


FIGURE A.I.5 - SCHEMA DE PRINCIPE DU TELEMETRE LASER PAR MESURE DU TEMPS DE VOL UTILISE AU L.A.A.S.

Puisque la vitesse de la lumière est d'environ 30cm/ns, l'électronique d'instrumentation doit être capable d'une résolution de 10 ps pour une précision de distance de 3 mm.

Quel que soit le système employé, il faut choisir avec attention la fréquence du laser pour obtenir un bon rapport signal-sur-bruit. Les techniques standards utilisent des miroirs et des prismes tournants pour obtenir une vision panoramique. Ceux-ci pourraient être avantageusement remplacés dans l'avenir par des systèmes acousto--optiques. Les scanners holographiques constituent aussi une voie de développement.

Néanmoins, cette technologie très intéressante pour la robotique est encore très difficile à mettre en oeuvre, fragile et très coûteuse.

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com