

Utilisation des capteurs ultrasonores pour la distinction entre un plan et un coin à l'aide des méthodes statistiques

Naïma AIT OUFROUKH, Christian BARAT, Etienne COLLE

CEMIF Systèmes Complexes (LSC), Université d'EVRY Val d'Essonne, 40, rue du Pelvoux, 91020 Evry Cedex, France.

Aitoufroukh.N@cemif.univ-evry.fr

Résumé - La technologie ultrasonore permet de développer un système de perception à faible coût pour la robotique de service. L'extraction des informations pertinentes sur l'environnement exige le traitement du signal ultrasonore. Les méthodes statistiques sont capables de discriminer des objets d'un environnement structuré, (plan, coin, etc...). La difficulté principale de la classification est le choix des paramètres discriminants du signal réfléchi par les cibles rencontrées. La dimension de l'espace de représentation des objets est réduite à l'aide de la méthode suboptimal. Les paramètres extraits définissent le vecteur d'entrée du classifieur quadratique. Les résultats obtenus montrent le taux de bonne classification par rapport à la dimension du vecteur d'entrée.

Abstract - Ultrasonic technology offers the ability to develop low cost perception device for service robotics. However the extraction of reliable information about environment such as pattern recognition requires the processing of ultrasonic signal. Statistical methods are able to differentiate commonly encountered features in indoor robot environments: plane, corner, etc. One of the main classification difficulties is the choice of relevant characteristics of the signal reflected by these targets. A sequential backward selection method extracts the better set of characteristics offline. These characteristics define the input vector of a quadratic classifier. Results shows for one thing the percentage of good classification related to the dimension of the input vector.

1. Introduction

La technologie ultrasonore offre la possibilité de mettre à la disposition de la robotique de service des systèmes de perception peu onéreux, multimodaux ; c'est à dire possédant plusieurs modes de fonctionnement pour être adaptables à différentes catégories de tâche. Jusqu'à maintenant, l'utilisation de cette technologie a été limitée, dans le domaine de la robotique mobile, à des tâches de sécurité ou d'évitement d'obstacles ; la seule information utilisée étant le temps de vol (TDV), temps écoulé entre l'émission et la réception du signal après réflexion par la cible. La restriction du domaine d'utilisation des ultrasons est principalement due à leurs caractéristiques métrologiques moyennes en termes de résolutions longitudinale et angulaire. De plus, la connaissance du temps de vol est insuffisante quand il s'agit de reconnaissance des objets rencontrés dans un environnement structuré. Dans le cadre de la robotique d'intérieure, ces objets sont des primitives géométriques de différentes dimensions telles que les plans, les coins, les arêtes et les cylindres. Bien qu'insuffisant pour des tâches de reconnaissance, le temps de vol est une information nécessaire et plusieurs travaux s'attachent à améliorer l'instant de détection. Dans l'ordre de complexité croissante, détection par seuillage, par filtrage suboptimal[12][13] ou par filtrage optimal [14]. Les auteurs proposent différentes approches pour enrichir l'information: la multiplication des points de vue en utilisant un capteur composé de plusieurs transducteurs (système multiaural)[10][11][15], ou encore en caractérisant le signal reçu par un certain nombre de paramètres pertinents. Certains travaux prennent en compte en plus de TDV, l'amplitude maximale ou la durée du signal reçu[3][4][8]. Des travaux combinent l'utilisation de plusieurs

transducteurs avec l'analyse de signature[5]. Notre approche se veut plus générale. Le système de perception doit être multimodal. Chaque mode de fonctionnement étant adapté à la tâche à réaliser, évitement, localisation ou reconnaissance. Pour ce dernier type de tâche la connaissance du TDV est insuffisante. Il faut enrichir cette information avec la mesure de paramètres caractérisant de façon fiable la signature du signal reçu. Le problème est de déterminer les paramètres les plus aptes à discriminer les primitives ou les objets de l'environnement. Contrairement aux travaux présentés ci-dessus dans lesquels les paramètres pertinents sont choisis a priori, notre démarche consiste à d'abord rechercher les paramètres en fonction de leur pouvoir de discrimination. Puis nous appliquons une méthode statistique quadratique de classification utilisant en entrée les paramètres retenus. Cette approche est appliquée à un système multiaural composé de deux capteurs et permet, outre la classification entre plan et coin, de connaître la distance entre le système de perception et des objets placés dans le champs de vision du capteur ainsi que leurs orientation.

2. Principes et dispositif ultrasonore

2.1 Principe de mesure d'un télémètre conventionnel

Un télémètre ultrasonore calcule la distance r à la cible à partir de la mesure du temps de vol, défini comme le temps entre les instants d'émission de l'onde ultrasonore et de réception de l'écho renvoyé par la cible. Dans les dispositifs conventionnels il y a réception quand l'amplitude du signal reçu dépasse un seuil η .

La distance est donnée par $r = ct_0/2$, où t_0 est le temps de vol et c est la vitesse du son dans l'air ($c = 343.3m/s$ à 25°).

L'information de distance est insuffisante pour déterminer le type de cible et son orientation sans déplacement du capteur.

2.2 Principes retenus

La distance est mesurée de manière conventionnelle. Cette donnée est enrichie par deux types d'information. D'une part l'environnement est perçu selon deux points de vue c'est à dire que le dispositif est composé de deux transducteurs situés sur un même plan et séparés par une distance d (fig. 1), et d'autre part le signal reçu est numérisé afin d'en extraire certains paramètres.



FIG. 1 : Dispositif biaural

Les deux capteurs peuvent travailler en émission et réception, toutefois dans le mode de fonctionnement retenu, un seul émet alors que les deux reçoivent.

2.3 Environnement

L'environnement est composé d'objets plan ou coin ; le coin étant défini comme deux plans à 90° (Fig. 2).

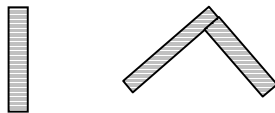


FIG. 2 : Types d'objets à reconnaître

Une surface est dite rugueuse si l'écart type des imperfections de cette surface est supérieur à la longueur d'onde de l'onde réfléchie. Pour $f_0=50kHz$ la longueur d'onde ultrasonore $\lambda = 6.866mm$; l'état de surface des objets est considéré comme lisse. La réflexion est alors spéculaire c'est à dire qu'elle respecte les lois de Descartes. La spécularité permet de modéliser un émetteur/récepteur (E/R) situé à une distance D d'un plan infini, en un émetteur seul E identique et symétrique par rapport à ce plan et un récepteur virtuel R' [3] (Fig. 3).

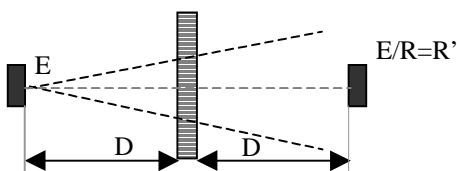


FIG. 3: Source virtuelle

Cette représentation sera utilisée pour calculer l'orientation des objets.

2.4 Dispositif expérimental

Le capteur est constitué de deux transducteurs Polaroid de rayon $a = 1.4cm$, de fréquence de résonance $f_0=50kHz$ et d'une portée de 6m, placés sur un support plan. Le support plan est orientable autour d'un axe verticale. L'ordinateur gère l'ensemble de la manipulation. La carte DSP contrôle le fonctionnement des transducteurs (génération du signal émis). L'amplitude du signal reçu semblant être un paramètre pertinent pour la classification des objets, le gain de l'électronique de réception est fixé pour ne pas altérer cette information. Ce qui présente le défaut de saturer le signal reçu pour les faibles distances si on veut conserver la portée. La carte d'acquisition numérise l'enveloppe du signal reçu. La fréquence d'échantillonnage est de 150 kHz.

3. Classification

Le choix des composantes du vecteur d'entrée est un des éléments prépondérants pour une bonne classification. L'originalité de notre approche est d'avoir sélectionné les composantes du vecteur en fonction de l'objectif à atteindre et non pas a priori. Avant de définir le classifieur, il a été effectué une sélection des paramètres les plus pertinents.

3.1 Sélection des paramètres d'entrée

La méthode de sélection de paramètres (Sequential Backward Selection)[7] permet de réduire l'espace de représentation des classes. Parmi les critères existants nous employons le critère suivant :

$$J = \text{tr}(\hat{\Sigma}_W^{-1} \hat{\Sigma}_B) \quad (1)$$

Où $\hat{\Sigma}_W$ est la matrice de variance-covariance intraclasse qui caractérise la dispersion des points dans une classe.

$\hat{\Sigma}_B$ est la matrice de variance-covariance interclasse qui caractérise la dispersion des classes entre elles.

Soit Ξ_k l'ensemble des paramètres sélectionnés à la k ème étape et $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{d-k}$ les paramètres encore disponibles. On part de l'ensemble complet des paramètres. Au niveau k , on élimine le paramètre ξ_j tel que :

$$j(\Xi_k - \xi_j) \geq j(\Xi_k - \xi_i) \quad \text{où } i = 1, \dots, d-k \quad i \neq j \quad (2)$$

Les paramètres restants sont les plus discriminants. L'ensemble parmi lequel les paramètres pertinents vont être sélectionnés contient les principales caractéristiques du signal reçu par chacun des deux récepteurs, concernant l'amplitude maximale, la forme et l'énergie. Y sont ajoutés des éléments de comparaison entre ces deux signaux qui témoignent de la différence de points de vue.

Cet ensemble initial de paramètres est composé de :

- 41 composantes de la transformée de Fourier, de longueur et de l'amplitude du signal reçu ,
- la distance transducteur-cible pour chaque récepteur,
- la différence des deux distances mesurées par chaque récepteur,
- la différence d'amplitude maximale,

e) la différence de longueur.

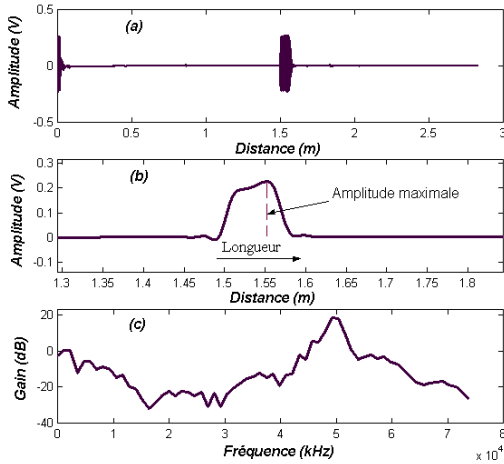


FIG.4 : Elément de l'ensemble des paramètres, (a) l'écho reçu, (b) enveloppe de l'écho, (c) le gain de l'écho

Ce qui donne un ensemble initial de 50 paramètres.

La figure 4.a illustre un signal reçu réel. La figure 4.b montre l'enveloppe de l'écho et la figure 4.c illustre la transformée de Fourier du signal reçu.

3.2 Classification statistique

Le vecteur d'entrée fixé, nous avons opté pour la méthode QDA qui est capable de classer des ensembles qui ne sont pas séparable linéairement, contrairement à la méthode statistique linéaire (LDA) mais au détriment du temps de traitement. La méthode quadratique est basé sur la règle de décision bayésienne[7][16]. Un exemple appartient à une classe si sa probabilité a posteriori est maximale. Chaque classe est caractérisée par une seule matrice de covariance et différentes densités de probabilités.

La fonction de discrimination d'une classe k est défini par :

$$P_k - 2 \ln \Pi_k = (X_{i,k} - \bar{X}_k)^T \Gamma_k^{-1} (X_{i,k} - \bar{X}_k) + \ln |\Gamma_k| \quad (3)$$

$$\bar{X}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_k} X_i \quad (4)$$

$$\Pi_k = \frac{n_k}{n} \quad (5)$$

$$\Gamma = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} (X_i - \bar{X}_k)^T (X_i - \bar{X}_k) \quad (6)$$

\bar{X} : la moyenne, Π : la probabilité a priori,
 Γ : la matrice de covariance,
 n_k : le nombre des exemples dans la classe k,
 n : le nombre total des exemples dans la base d'apprentissage.

Cette fonction de classification est calculé pour chaque classe.

4. Angle d'orientation de la cible

Grâce à la différence de points de vue du capteur biaural il est possible après classification de déterminer l'angle d'inclinaison θ d'une cible par rapport au plan du capteur. Le principe de la source virtuelle (cf. § II.c) appliqué à notre configuration de transducteurs conduit à une résolution géométrique. Le transducteur T/R émet et reçoit alors que le transducteur R ne fait que recevoir.

La distance d entre les deux transducteurs est connue et r_1 et r_2 sont les distances mesurées. le capteur est situé à une distance D du plan. (Fig. 5).

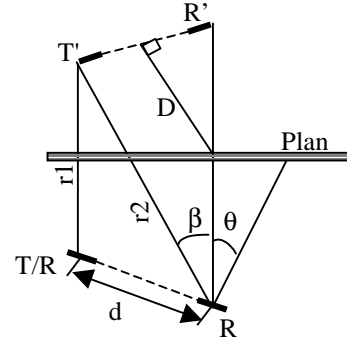


FIG. 5 : Détermination de l'orientation d'un plan

L'angle d'orientation θ :

$$\theta = \sin^{-1} (r_2^2 - r_1^2 - d^2 / 2r_1d) \quad (7)$$

L'angle d'orientation dépend de la distance d et des distances de vol r_1 et r_2 . La distance réelle D entre le système de capteurs et le plan est déterminée par :

$$D = d \sin \theta + 2r_1 / 2 \cos \theta \quad (8)$$

Pour un coin, l'orientation est prise entre la normale du système ultrasonore et celle de la ligne d'intersection des deux plans qui forment le coin.

5. Résultats

5.1 Protocole expérimental

La distance entre les deux transducteurs est $d=78\text{mm}$ (Fig. 1). Le capteur biaural est monté sur un support rotatif. Deux bases de mesures ont été effectuées. Une pour l'apprentissage, comporte 950 exemples et l'autre pour la généralisation 430 exemples. Chacune est composée des deux classes, plan et coin, en nombre égal. La distance capteur-cible est comprise entre 0.20m à 2.30m, avec un incrément de 20cm. L'orientation du capteur varie entre $\pm 20^\circ$ avec un incrément de 5° . Le seuil de détection pour la réception d'un signal est de 0.01V.

5.2 Influence du nombre de paramètres sur la classification

Le nombre maximal de l'ensemble des paramètres est 50 au départ (cf § 3.A). La Figure 6 donne le taux de bonne classification pour les deux primitives Plan et Coin en fonction du nombre des paramètres. En généralisation (Fig. 6), le taux de bonne classification du plan reste à 100% jusqu'à 10 paramètres éliminés. Pour le coin le nombre de

paramètres ne semble pas avoir beaucoup d'incidence, il est compris entre 95% et 97%.

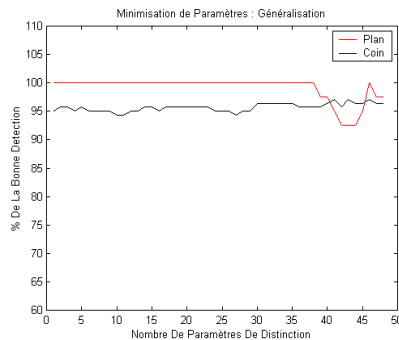


FIG. 6 : Taux de classification, en généralisation, en fonction du nombre de paramètres

Comme le montre le tableau 1, les résultats de classification en généralisation restent convenable jusqu'à un vecteur d'entrée de 10 paramètres. Suivant les besoins de l'application, il est possible de trouver un compromis entre le taux de classification et la contrainte de temps. Donc nous pouvons réduire la dimension de l'espace à ces 2 paramètres qui sont l'amplitude et la longueur de l'écho reçu, avec au final un taux de bonne détection en apprentissage de 92% et de 96% en généralisation.

TAB. 2 Taux de bonne classification en fonction du nombre de paramètres avec la méthode (QDA)

Nombre de paramètres	Taux de classification En généralisation	
	Plan	Coin
50	100%	97%
10	100%	97%
4	90%	96%
3	93%	96%
2	90%	96%

Par ordre de pouvoir discriminant on trouve l'amplitude, la longueur du signal reçu puis la composante 5 kHz de la transformée de Fourier. Il est intéressant de noter que la distance n'intervient pas.

6. Conclusion

Notre objectif à moyen terme est le développement d'un capteur possédant plusieurs modes de fonctionnement lui permettant de s'adapter à différents types de tâches.

La tâche de reconnaissance d'un objet dans l'environnement requiert plus d'information que la mesure de la seule distance entre le capteur et la cible. Pour enrichir la connaissance de l'environnement, le capteur est biaural, deux points de vue, et le signal reçu est numérisé ce qui permet d'extraire différentes caractéristiques.

En ce qui concerne la classification proprement dite, le choix des composantes du vecteur d'entrée est orienté objectif à atteindre et non pas fixé a priori. Il apparaît par exemple après sélection des paramètres que la distance n'est pas discriminante pour séparer la classe plan de la classe coin.

Dans ce cas, il faudrait étudier les nouvelles caractéristiques à extraire pour séparer au mieux les classes. De plus, il faut rajouter une classe de rejet pour tenir en compte des classes non apprises et améliorer les résultats de détection.

Références

- [1] Ö.Bozma et R.Kuc, « Building a sonar map in a specular environment using a single mobile sensor » IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, vol. 13, no. 12, pp. 1260-1269, 1991.
- [2] J. J. Leonard et H. F. Durrant-Whyte, « Directed sonar navigation » London, U. K. : Kluwer, 1992.
- [3] B.Barshan, R.Kuc, « Differentiating sonar reflections from corners and planes by employing an intelligent sensor », IEEE Trans.Pttern Anal. Machine Intell, vol. 12, no. 6, pp. 560-569, June 1990.
- [4] R.Kuc, L.Kleeman, « Mobile Robot Sonar For Target Localization And Classification »,IJRR, vol. 14, no. 4, August 1995, pp. 295-318.
- [5] R.Kuc, « Biomimetic sonar recognizes objects using binaural information », J. Acoust. Soc. Amer, vol. 102, no. 2, pp. 689-696, 1997.
- [6] J. Zemanek, « Beam behavior within the nearfield of a vibrating piston », J.Acoust. Soc. Amer.,pt. 2,vol. 1, pp. 181-191, 1971.
- [7] B. Dubuisson, « Diagnostic Et Reconnaissance Des Formes », Editions Hermes, Septembre 1990.
- [8] B. Ayulu, B. Barshan, « Identification of target primitives with multiple decision using evidential reasoning », International Journal of robotics research. Vol. 17, no. 6, pp. 598-623, 1998 Sage Publication, Inc.
- [9] K.Sasaki, M.Takano, « classification of objects surface by acoustic transfer function », 1992.
- [10] H. .Peremans, J. Van Campenhout. «Tri-auralperception on a mobile robot », May 1993
- [11] D.Wilkes,G. Dudek, M. Jenkin, E. Milies « multi-transducer sonar interpretation », 1993.
- [12] B. Barshan, R.Kuc. « A bat like sonar system for obstacle localisation ». IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics, 1991. In the press.
- [13] Panasonic Corporation, « Ultrasonic ceramic microphones » 12 Blanchard Road, Burlington, MA 01803, 1989.
- [14] R. S. Berkowitz, ed, « Modern radar : analysis, evaluation and system design », John Wiley and Sons, Inc., New-york 1965.
- [15] H. Peremans, K. Audenaert, J. M. Van Campenhout, « A high resolution sensor based en tri-aural perception », IEEETrans on robotic and automation, vol. 9, no. 1, February 1993.
- [16] C. Barat, N. Ait oufroukh, « Classification of indoor environment using only one ultrasonic sensor » IEEE Instrumentation and Measurement, Technology Conference, Budapest , Hungary, May 2001.