

# LOCALISATION DE SOURCE SONORE PAR GONIOMETRIE ACOUSTIQUE POUR LA DETECTION DE CHUTE

J.-L. COLLETTE\* et O. PIETQUIN †

† Supélec - Campus de METZ - 2 rue Edouard Belin - 57070 METZ

\*Corresponding author. Email: jean-luc.collette@supelec.fr

*mots clés*: localisation ; goniométrie ; acoustique ; filtrage ; adaptatif

## 1. Introduction

Le travail présenté ici est réalisé dans le cadre d'un projet d'environnement intelligent mené sur le campus de Metz de Supélec. Ce projet, appelé *SmartRoom*, débute par la construction d'un nouveau laboratoire dédié à l'étude des technologies de l'information et de la robotique pour l'aide à l'autonomie des personnes. Dans cet environnement, plusieurs modalités peuvent être étudiées mais un intérêt particulier est porté sur la modalité sonore. Cette modalité présente en effet un certain nombre d'avantages et est pourtant assez peu étudiée dans le contexte des environnements intelligents. Parmi ces avantages, on peut citer le fait qu'elle est insensible aux changements de luminosité contrairement à la vidéo, elle est non invasive et elle est aussi passive (pas d'onde émise par exemple). Dans cette contribution, nous proposons l'utilisation de la modalité sonore pour réaliser un positionnement de personnes dans une pièce. Ce positionnement est réalisé dans les trois dimensions de l'espace et permet la détection de chute en utilisant la dimension verticale. Ainsi, une personne parlant ou émettant toute forme de bruit à une distance proche du sol déclenchera une alarme.

## 2. Matériel et Méthode

Un ensemble de  $N$  microphones est fixé dans la pièce où l'on souhaite effectuer la détection de chute supposée être associée à une émission sonore. Ces microphones sont placés dans un même plan vertical en des points notés  $S_k$  de coordonnées  $(X_k, Y_k)$  avec  $1 \leq k \leq N$ . Une carte d'acquisition couplée à un ordinateur réalise la numérisation synchrone des  $N$

signaux  $s_k(n)$  associés, dont on supposera l'amplitude normalisée soit  $|s_k(n)| < 1$ .

Les microphones sont regroupés deux à deux pour constituer  $N_C$  couples sur lesquels une estimation du temps de retard est effectuée. Chaque couple est constitué d'un microphone de référence situé au point  $S_{i_R}$  et d'un micro de mesure au point  $S_{i_M}$ , associés au signaux  $s_{i_R}(n)$  et  $s_{i_M}(n)$ .

Un filtre adaptatif modélise la fonction de transfert entre le signal de référence  $s_{i_R}(n)$  et le signal de mesure  $s_{i_M}(n)$  avec un filtre à réponse impulsionnelle finie à  $2K + 1$  coefficients. On adopte les notations suivantes :

$$\underline{X}(n) = \begin{pmatrix} s_{i_R}(n+K) \\ s_{i_R}(n+K-1) \\ \vdots \\ s_{i_R}(n) \\ \vdots \\ s_{i_R}(n-K+1) \\ s_{i_R}(n-K) \end{pmatrix}, \quad \underline{H}(n) = \begin{pmatrix} h_n(-K) \\ h_n(-K+1) \\ \vdots \\ h_n(0) \\ \vdots \\ h_n(K-1) \\ h_n(K) \end{pmatrix},$$

$$y(n) = s_{i_M}(n)$$

Le filtre adaptatif a pour but de minimiser la variance de l'erreur de modélisation égale à  $y(n) - \underline{H}(n-1)^T \underline{X}(n)$  avec une équation de mise à jour des coefficients fondée sur l'algorithme du gradient (voir [1] et [3]) :

$$\underline{H}(iP) = \alpha \underline{H}((i-1)P) +$$

$$\delta \underline{X}(iP) (y(iP) - \underline{H}((i-1)P)^T \underline{X}(iP))$$

où  $\delta$  est le pas d'adaptation et  $\alpha$  le facteur d'oubli.

La mise à jour des coefficients peut survenir à chaque instant  $n$  (avec  $P=1$ ) ou à des instants multiples de  $P$  afin de limiter la quantité de calcul.

Une estimation de la différence de marche de l'onde acoustique est obtenue à partir de la réponse impulsionnelle  $h_n(k)$  où  $v$  est la vitesse du son et  $f_e$  la fréquence d'échantillonnage :

$$\hat{\Delta}_{iRiM} = \arg \max_k \{h_n(k)\} \frac{v}{f_e}$$

Pour chaque couple de microphones, cette estimation  $\hat{\Delta}_{iRiM}$  donne accès à l'équation de l'asymptote du lieu des points associés à la même différence de marche (voir **Figure 1**), de la forme :

$$X \cos(\Theta_m) + Y \sin(\Theta_m) = \rho_m, \quad 1 \leq m \leq N_C$$

Pour  $N_C$  couples avec  $N_C \geq 2$ , la position  $(X_S, Y_S)$  de la source sonore peut être obtenue en

minimisant le critère  $\sum_{m=1}^{N_C} d_m^2$  où  $d_m$  est la distance entre la source et la  $m^{\text{ième}}$  asymptote :

$$d_m^2 = (X_S \cos(\Theta_m) + Y_S \sin(\Theta_m) - \rho_m)^2$$

On résout alors le système linéaire  $A \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \end{pmatrix} = B$

avec :

$$A = \begin{pmatrix} \sum_{m=1}^{N_C} \cos^2(\Theta_m) & \sum_{m=1}^{N_C} \sin(\Theta_m) \cos(\Theta_m) \\ \sum_{m=1}^{N_C} \sin(\Theta_m) \cos(\Theta_m) & \sum_{m=1}^{N_C} \sin^2(\Theta_m) \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} \sum_{m=1}^{N_C} \rho_m \cos(\Theta_m) \\ \sum_{m=1}^{N_C} \rho_m \sin(\Theta_m) \end{pmatrix}$$

### 3. Résultats

Un dispositif avec  $N = 4$  microphones combinés en  $N_C = 3$  couples a été réalisé. Ces microphones sont alignés sur un axe horizontal, équidistants et disposés au plafond de la pièce (voir **Figure 1**). Une carte d'acquisition Hercules 16/12 FW réalise la numérisation synchrone des 4 canaux à une fréquence  $f_e = 48$  kHz. Elle est couplée à un PC qui effectue le traitement décrit en temps réel et délivre une information de position 6 fois par seconde environ. Pour que la mesure du temps de retard pour chaque couple soit pertinente, celle-ci n'est effectuée que lorsque l'énergie du signal est supérieure à un certain seuil. Une alarme peut alors être déclenchée si l'altitude mesurée est inférieure à un seuil.

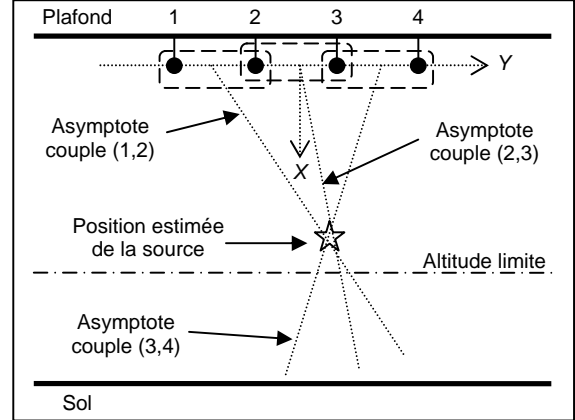


Figure 1: configuration matérielle

### 4. Discussion

L'utilisation d'un filtre adaptatif pour estimer les différences de marche permet d'être moins sensible aux propriétés spectrales des signaux. La complexité associée peut être rédhibitoire dans une formulation classique (voir [2]) mais un sous-échantillonnage sur la mise à jour des coefficients rend le traitement accessible au temps réel. La précision obtenue pour l'estimation de la position est de l'ordre d'une dizaine de centimètres dans chaque direction, suffisante pour l'application présentée ici.

### 5. Conclusion

Le dispositif proposé permet de vérifier l'altitude à laquelle une émission sonore survient. Les traitements mis en œuvre sont effectués en temps réel et le démonstrateur réalisé permet de valider le fonctionnement dans des situations réalistes. Pour effectuer un contrôle dans un espace plus étendu, une étude est en cours pour généraliser le procédé en plaçant les couples de microphones dans des positions qui ne se limitent pas à un plan vertical.

### Références

- [1] Mumolo E., Nolich M., Vercelli G., Algorithms for acoustic localization based on microphone array in service robotics. *Robotics and Autonomous systems*, **2003**, 69-88.
- [2] Van Lancker E., Acoustic goniometry : a spatio-temporal approach. *Thèse EPFL*, **2002**.
- [3] Bellanger M., Traitement numérique du signal. *Masson*, **1984**.

### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la Région Lorraine, les fonds FEDER et le conseil général de Moselle pour leur soutien financier.