
Table des matières

CHAPITRE I

Etat de l’art sur la goniométrie et les méthodes de localisation

I	Le traitement d’antennes	10
I.1.1	Généralités	10
I.1.2	Formulation des signaux	11
I.2	La goniométrie	13
I.2.1	Définition et applications	13
I.2.2	Techniques de traitement de goniométrie	14
I.2.2.a	Goniométrie d’amplitude	14
I.2.2.b	Goniométrie Watson-Watt.....	16
I.2.2.c	Goniométrie par interférométrie.....	17
I.2.2.d	Goniométrie à super-résolution et à haute-résolution	18
II.	Algorithmes de localisation.....	19
II.1.	Trilatération.....	20
II.2.	Triangulation.....	20
II.3.	Temps d’arrivée (ToA)	21
II.4.	Différentiel d’arrivée (TDoA)	22
II.5	Angle Of Arrival (AoA pour Angle of Arrival ou DoA pour Direction of Arrival)	24

CHAPITRE II

Localisation et positionnement

I. Introduction	26
II. Les estimateurs qu'on peut utiliser	27
II.1 L'algorithme MUSIC	27
II.1.1 Les avantages de l'algorithme MUSIC	28
II.2 La méthode CAPON	29
II.3 GCC-PHAT Corrélation croisée phase de transformation	29
III. La localisation par triangulation	30
III.1 Techniques de mesure par la triangulation	30
III.2 La méthode de calcul	31
III.3 Comment fonctionne la triangulation ?	31
III.4 Catégories de triangulation	32
III. Performances des différents algorithmes	34

CHAPITRE III

Localisation des sources

I. Introduction	35
II. Description de travail	35
II.1 Formule de triangulation	35
III. Géométrie des sources et des capteurs	36
III.1 La Forme d'onde	37
III.2 Signaux de rayonnement	37
III.3 L'angle d'arrivé	39
III.4 Estimation et triangulation	40
IX. Conclusion.....	42

Liste des figures

Figure	page
Fig. I.1 - Traitement d'antennes	10
Fig. I.2 - Filtrage Spatial	11
Fig. I.3 - Antenne Bellini-Tosi	13
Fig. I.4 - Diagramme en cardioïde d'une antenne à cadre avec un dipôle électrique.....	15
Fig. I.5 - Principe de la formation de faisceaux	16
Fig. I.6 - Antenne Adcock à huit éléments.....	17
Fig. I.7 - Principe de mesure par interférométrie	18
Fig. I.8 - Principe de la trilatération.....	20
Fig. I.9.a - Localisation à distance	21
Fig. I.9.b - Auto-localisation	21
Fig. I.10 - Exemple d'un système ToA	22
Fig. I.11 - Localisation avec <i>TDoA</i>	23
Fig. I.12 - Localisation exploitant les AOA	24
Fig. II.1 - : Principe de la localisation et du positionnement	26
Fig. II.2 - Triangulation	31
Fig. II.3 - localisation triangulaire	33
FigIII.1 : Schéma qui montre les coordonnées de réseaux de capteur et la source.....	36
Fig III.2 : les paramètres de fonctionnement.....	37
Fig III.3.1 : Paramètre de source.....	38
Figure III.3.2 : Paramètre de réseau de capteur 1.....	38

Figures	page
Fig III.3.3 : Paramètre de réseau de capteur 2.....	38
Fig III.4 : Propagateurs de signaux	38
Fig III.5 : Direction de propagation de la source.....	38
Fig III.6 : Rayonnement de signal de la source.....	39
Fig III.7 : Rayonnement de signal de réseau de capteur.....	39
Fig III.8 : Fonctions de direction d'arrivées	39
Fig III.9 : Accumulation de signal	40
Fig III.10 : Fonction de l'estimateur GCC.....	41
Fig III.11 : fonction d'angles d'arrivées	41
Fig III.12 : Formules de triangulation	41
Fig III.13 : Résultat estimé	42

Acronymes

TOA	Time Of Arrival
AOA	Angle Of Arrival
DOA	Direction of Arrival
TDOA	Time Difference Of Arrival
2D	Deux Dimension
MUSIC	MUltiple SIgnal Classification
ESPRIT	Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques
GCC-PHAT	Corrélation croisée phase de transformation

Introduction générale

L'utilisation des ondes radiofréquences pour la localisation des navires ou des avions est apparue au début du XXe siècle et n'a cessé de se sophistiquer au cours du siècle, améliorant couverture, précision, fiabilité et coût. Plus récemment, avec la révolution de l'électronique nomade grand public. Nous avons vu les applications de radiolocalisation apparaître dans notre quotidien. Par exemple le GPS pour la voiture guidée, ou dans de nombreux processus industriels, par exemple pour le transport et le stockage de marchandises.

Les applications de la radiolocalisation sont très nombreuses. Elles se développent, par exemple dans notre étude on a montré comment localiser une source d'un signal usant deux réseaux de capteurs, en utilisant la triangulation. En particulier, on a montré comment simuler, propager et traiter des signaux. Et l'algorithme GCC-PHAT est utilisé pour estimer la direction d'arrivée.

L'objectif de la radiolocalisation est de connaître la position aussi précisément que possible. Cet environnement peut être vaste comme dans les milieux ruraux ou limité.

Chapitre I : Etat de l'art sur la goniométrie et les méthodes de localisation

I. Le traitement d'antennes

I.1.1 Généralités.

Le traitement d'antenne regroupe tous les algorithmes de traitement du signal dédiés à des groupements d'antennes telle l'antenne-réseau. On obtient alors une antenne "intelligente" capable, selon diverses contraintes imposées, de localiser ou imager des sources, maximiser un signal noyé dans le bruit ou dans des interférences, optimiser la capacité de communications, etc[1].

La figure I.1 présente la structure générale d'un système de traitement d'antennes composé d'un réseau de plusieurs capteurs illuminés par des sources sous des angles d'incidences différents. Dans un contexte électromagnétique, les capteurs sont des antennes et les sources émettent un signal électromagnétique polarisé.

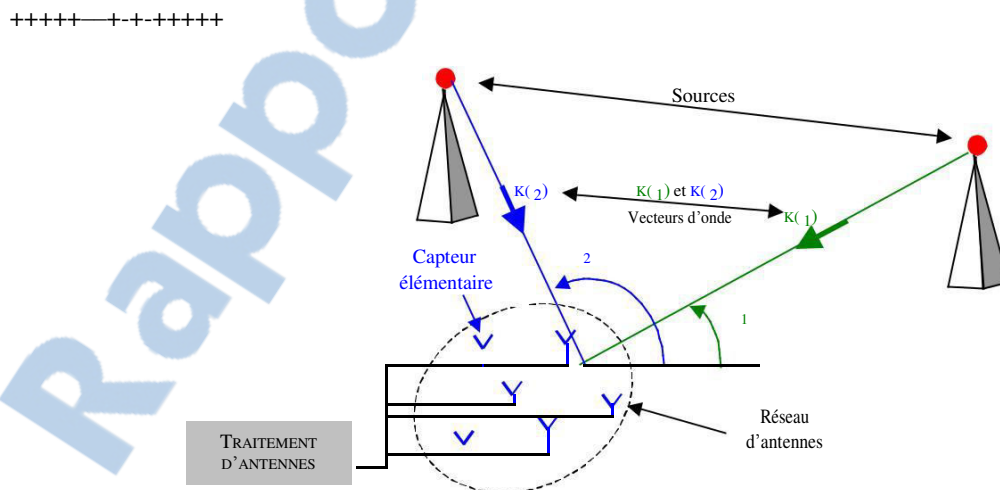


FIG. I.1 – Traitement d'antennes

Des diagrammes de rayonnement associés. Les techniques de traitement d'antennes exploitent la diversité spatiale : utilisation de la position des antennes du réseau pour discriminer en incidence et distance des sources. Le traitement d'antennes se décompose en grandes activités :

- Le filtrage spatial (voir la figure I.2) pour objectif de combiner les signaux du réseau de capteurs pour former un faisceau dans la direction d'une des sources. Ce domaine comprend les activités de séparation aveugle de sources, de MODEM multi-capteurs, de filtrage adapté spatial etc. . . [2]

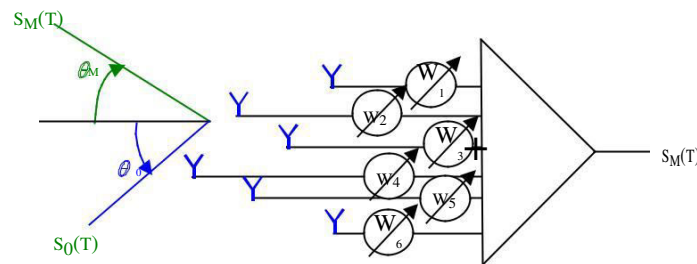


FIG. I.2 – Filtrage Spatial

I.1.2 Formulation des signaux

Avant de commencer, il est bon de définir les différents signaux avec la notation usuelle en traitement d'antenne i.e. la forme matricielle. D'abord, selon la convention, les vecteurs sont de type colonne et identifiés par une lettre minuscule soulignée. Les matrices sont, elles, identifiées par une lettre majuscule soulignée. La transposition est notée par le symbole T , la conjugaison par $*$ et la transposition-conjugaison par $\dagger$. Par contre, phraseurs et quantités complexes ne sont pas spécifiquement indiqués comme nombres complexes. Dans un but de simplification

- on travaillera dans un plan de sorte que seul l'angle θ sera considéré ;
- le réseau sera assumé linéaire uniforme avec un espacement inter-élément d

On appelle “épreuve” $\underline{x}_k$ le vecteur contenant les échantillons prélevés au temps $t_k = kT$ à la sortie de chacun des éléments du réseau. Ainsi :

$$\underline{x}_k = [x_1(t_k) \ x_2(t_k) \ \dots \ x_N(t_k)]^T$$

$(N \times 1)$

Où $x_n(t_k)$ représente la sortie à l'élément n au temps t_k , et N est le nombre d'éléments dans le réseau. On note que les signaux sont des nombres complexes comprenant un module et un

argument. Ce dernier, très important, est relié au déphasage dû au retard lorsque les signaux sont à bande étroite autour d'une fréquence porteuse f_0 (dans ces conditions $\beta = 2\pi f_0/c$). Pour obtenir un signal complexe dans la réalité, il suffit de démoduler en phase et en quadrature avant l'échantillonnage. Les K épreuves enregistrées pendant une certaine période de temps, sont emmagasinées dans une matrice des signaux reçus $\underline{X}$:

$$\underline{X} = [\underline{x}_1 \ \underline{x}_2 \ \dots \ \underline{x}_K] .$$

$(N \times K)$

Soient M sources émettant de diverses positions dans l'espace. La m -ème source est située dans la direction θ_m et possède une enveloppe complexe $s_m(t_k)$ à l'instant t_k . Considérant un bruit additif gaussien issu de l'électronique ou des parasites captés, une épreuve $\underline{x}_k$ s'écrit :

$$\begin{aligned} \underline{x}_k &= \sum_{m=1}^M s_m(t_k) \underline{a}(\theta_m) + \underline{n}(t_k) \\ &= \underline{A} \underline{s}_k + \underline{n}_k \end{aligned}$$

Avec, conformément à un réseau linéaire uniforme (ULA)

$$\begin{aligned} \underline{a}(\theta) &= [1 \ e^{-j\varphi} \ e^{-j2\varphi} \ \dots \ e^{-j(N-1)\varphi}]^T \\ (N \times 1) \quad \varphi &= \beta d \cos \theta \\ \underline{s}_k &= [s_1(t_k) \ s_2(t_k) \ \dots \ s_M(t_k)]^T \\ (M \times 1) \quad \underline{n}_k &= [n_1(t_k) \ n_2(t_k) \ \dots \ n_M(t_k)]^T \\ (M \times 1) \quad \underline{A} &= [\underline{a}_1 \ \underline{a}_2 \ \dots \ \underline{a}_M] . \\ (N \times M) \end{aligned}$$

Les vecteurs $\underline{a}_m$ sont connus sous le nom de vecteurs directionnels car ils contiennent l'information nécessaire pour récupérer la direction de la provenance des signaux. Avec les K épreuves, $\underline{X}$ s'écrit simplement sous forme matricielle :

$$\underline{X} = \underline{A} \underline{S} + \underline{N}$$

$$\begin{aligned} \underline{S} &= [\underline{s}_1 \ \underline{s}_2 \ \dots \ \underline{s}_K] \\ (M \times K) \quad \underline{N} &= [\underline{n}_1 \ \underline{n}_2 \ \dots \ \underline{n}_K] . \\ (N \times K) \end{aligned}$$

La plupart, voire toutes les techniques de traitement d'antenne fournissent un estimateur obtenu à l'aide d'un moyennage sur le module du signal analytique issu du traitement. Or, les deux variables stochastiques (qui dépendent du temps t_k) possibles sont les enveloppes complexes s_k et le bruit n_k .

On définit la matrice de covariance des signaux reçus (ou simplement matrice de covariance), l'espérance mathématique $E\{ \}$ des épreuves :

$$\begin{aligned}
\underline{R}_{xx} &= E\{\underline{x}_k \underline{x}_k^\dagger\} \\
(N \times N) &= \underbrace{A E\{s_k s_k^\dagger\} A^\dagger}_{\underline{R}_{ss}} + \underbrace{E\{n_k n_k^\dagger\}}_{\underline{R}_{nn}} \\
&= \underbrace{A \underline{R}_{ss} A^\dagger}_{\underline{R}_{xx}} + \underline{R}_{nn} .
\end{aligned}$$

La matrice $\underline{R}_{xx}$ est la matrice de covariance des signaux reçus sans tenir compte du bruit additif, ce dernier contribuant par le biais de la matrice de covariance du bruit $\underline{R}_{nn}$. La matrice de covariance des sources $\underline{R}_{ss}$ de dimensions $(M \times M)$, indique le niveau de corrélation et la puissance des sources. En effet :

- la diagonale principale contient des nombres réels liés à la puissance σ_{sm}^2 de chacune des M sources;
- Les éléments extra-diagonaux sont nuls si les sources non-corrélées mais deviennent complexes et égaux à $(\sigma_{sp} \sigma_{sq} c)$ où $|c|$ est le niveau de corrélation ($0 \leq |c| \leq 1$) entre les sources p et q .

La matrice $\underline{R}_{nn}$ de dimensions $N \times N$, est la matrice de covariance du bruit et :

- tend vers $\sigma_n^2 \mathbf{I}$ lorsque le bruit a la même puissance d'un élément à l'autre et non-corrélé entre eux.

Normalement, il faudrait une infinité d'échantillons à chaque élément pour déterminer précisément une matrice de covariance. Avec K épreuves, on peut obtenir une approximation (de plus en plus valide lorsque K augmente) de la matrice de covariance des signaux reçus [1] :

$$\underline{R}_{xx} \approx \tilde{\underline{R}}_{xx} = \frac{1}{K} \underline{X} \underline{X}^\dagger .$$

I.2 La goniométrie

I.2.1 Définition et applications

La goniométrie est un processus d'estimation permettant d'estimer la direction d'arrivée d'une onde émise par une source rayonnante. L'onde peut être acoustique, électrique, sismique ou électromagnétique (EM). Elle est mesurée par un ensemble de capteurs permettant d'extraire les propriétés du champ incident, utiles à l'estimation de direction d'arrivée. Dans le cas d'une onde EM, on parle de radiogoniométrie. Un radiogoniomètre désigne le système complet permettant l'estimation.

La radiogoniométrie, apparue au début du XXème siècle avec l'utilisation d'antennes directives, est en constante évolution. En 1909, E. Bellini et A. Tosi ont breveté la première antenne de goniométrie électromécanique compacte, composée de deux boucles croisées [3] (cf. figure I.3). Les premières techniques de goniométrie automatique permettant de mesurer les angles d'arrivée instantanément, sont arrivées un peu plus tard, en 1926, avec la technique Watson-Watt [4]. D'abord basée sur l'utilisation de deux antennes cadres croisées, elle fût étendue à l'utilisation d'antennes de type Adcock [5].



Figure I.3 – Antenne Bellini-Tosi.

I.2.2 Techniques de traitement de goniométrie

Les techniques de traitements de goniométrie sont utilisées pour extraire l'information de direction d'arrivée à partir des observations traitées et numérisées en sortie du récepteur. L'ensemble de ses traitements est basé sur l'hypothèse que l'onde incidente est localement plane. Dans cette partie, nous allons présenter les principales techniques de traitement, à savoir :

- la goniométrie d'amplitude [6, 7] ;
- la goniométrie Watson-Watt [6] ;
- la goniométrie par interférométrie [6] ;
- la goniométrie à super-résolution et à haute-résolution [8].

I.2.2.a Goniométrie d'amplitude

La goniométrie d'amplitude [6, 7] utilise directement le diagramme de l'antenne pour repérer le maximum d'amplitude par calcul ou par formation de faisceaux, le minimum d'amplitude lors de l'utilisation d'antennes cadres ou encore en comparant l'amplitude entre deux antennes dont les diagrammes se recouvrent. La recherche du minimum d'amplitude

à partir d'une antenne à cadre tournante est l'approche la plus ancienne. Un dipôle électrique est utilisé pour lever l'ambiguïté de 180° en formant un diagramme en cardioïde par sommation (cf. figure I.4).

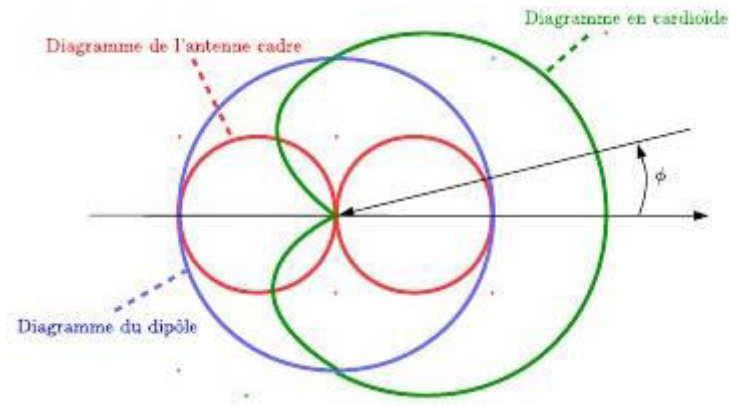


Figure I.4 – Diagramme en cardioïde d'une antenne à cadre avec un dipôle électrique.

La formation de faisceaux est une technique plus récente issue des traitements radar. Elle utilise un ensemble de capteurs spatialement répartis.

Les sorties d'antennes sont pondérées en phase (cf figure I.5) puis sommées. Cette pondération est fonction du déphasage progressif d'une antenne à une autre, qui dépend de la direction d'arrivée et de la distance entre capteurs.

Les pondérations permettent ainsi de remettre en phase les signaux et d'obtenir un diagramme avec un maximum dans la direction d'arrivée.

Avec cette technique, la précision d'estimation dépend de la largeur du lobe principal et du nombre d'échantillons mesurés. Plus le nombre de capteurs est élevé, plus le faisceau est étroit et meilleure.

On peut jouer aussi sur la distance entre capteurs cependant cela augmente l'amplitude des lobes secondaires risquant de provoquer des estimations ambiguës. Ainsi, pour assurer de bonnes performances, le système antennaire doit comporter suffisamment de capteurs ce qui augmente l'encombrement du dispositif. C'est pourquoi, on retrouve cette technique pour des applications radar, là où les fréquences sont plus élevées.

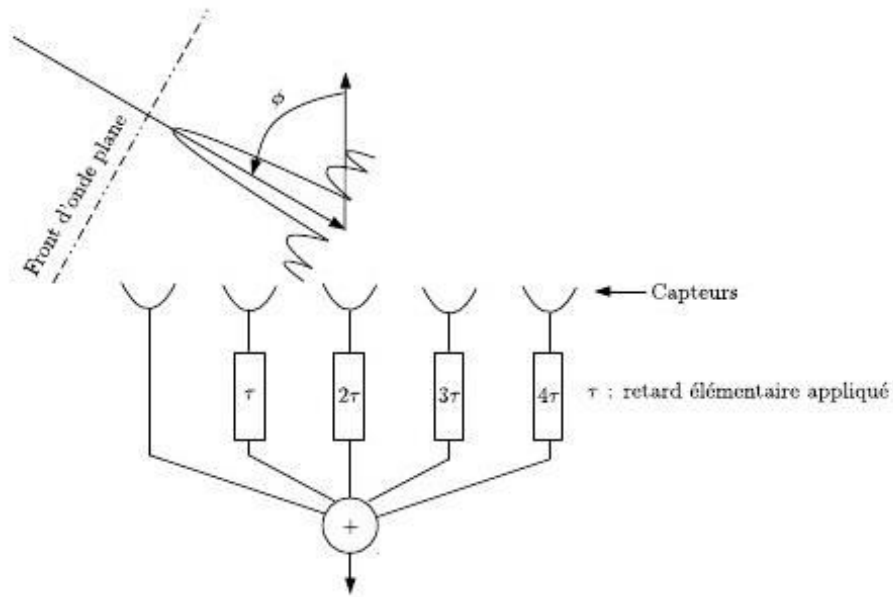


Figure I.5 – Principe de la formation de faisceaux

I.2.2.b Goniométrie Watson-Watt

La goniométrie Watson-Watt [6] consiste à échantillonner l'onde EM incidente à partir de deux capteurs orthogonaux ayant respectivement un diagramme en $\cos(\phi)$ et un diagramme en $\sin(\phi)$, et générant ainsi deux signaux dont le rapport d'amplitude est proche de $\tan(\phi)$. Les premières antennes utilisant cette technique étaient composées de deux antennes cadres orthogonales. Depuis, d'autres antennes telles que l'antenne Adcock [5] ont été utilisées.

Une antenne Adcock est une antenne circulaire de diamètre d , composée de dipôles verticaux équidistants. Avec l'antenne Adcock à huit éléments (cf figure I.6), il est possible de recomposer les deux signaux orthogonaux en sortie d'antennes S_v et S_h associés respectivement au diagramme en $\cos(\phi)$ et au diagramme en $\sin(\phi)$:

$$S_v = S \sin\left(\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\theta) \cos(\phi) \cos(\gamma/2)\right) \cos\left(\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\theta) \sin(\phi) \sin(\gamma/2)\right)$$

$$S_h = S \sin\left(\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\theta) \sin(\phi) \cos(\gamma/2)\right) \cos\left(\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\theta) \cos(\phi) \sin(\gamma/2)\right)$$

Avec S désignant l'amplitude du signal reçu, λ la longueur d'onde à la fréquence de réception,

θ l'angle en site de l'onde incidente ($\theta = 90^\circ$ dans le plan de O_{xy}) et γ l'écart angulaire entre deux

dipôles constituant l'antenne Adcock à huit éléments. La direction d'arrivée ϕ peut ensuite être déterminée, pour $\theta = 90^\circ$, par la relation :

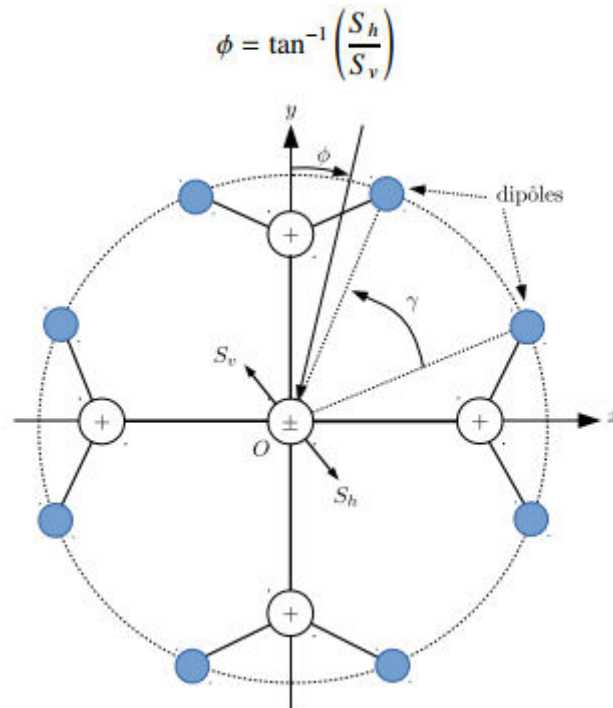


Figure I.6 – Antenne Adcock à huit éléments.

I.2.2.c Goniométrie par interférométrie

La goniométrie par interférométrie [6] est considérée comme une technique plus performante comparée à celles citées précédemment à la différence des deux techniques précédentes, le traitement dans cette goniométrie n'est pas entièrement analogique.

Des calculs numériques, plus ou moins complexes, sont nécessaires suivant la topologie de l'antenne utilisée. Elle n'a donc pu être mise en œuvre qu'à partir de l'arrivée des microprocesseurs. L'interférométrie est basée sur la mesure des différences de phase entre les signaux en sortie des capteurs illuminés par une onde EM plane. Prenons l'exemple d'une antenne composée de seulement deux capteurs espacés d'une distance d (cf. figure I.7).

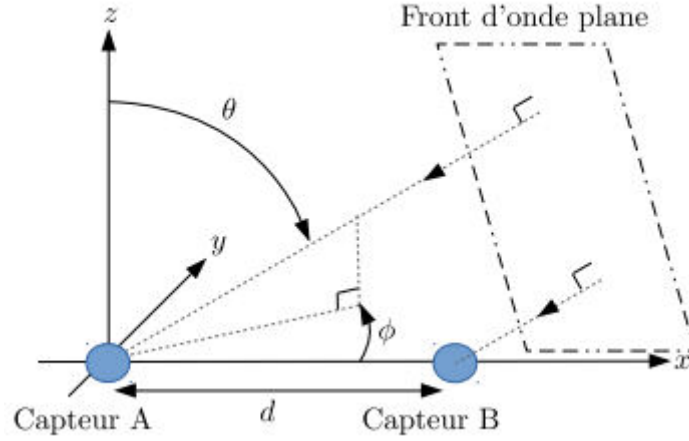


Figure I.7 – Principe de mesure par interférométrie

La différence de phase $\delta\phi$, modulo 2π , entre le capteur A et le capteur B est exprimée par la relation:

$$\delta\phi = \frac{2\pi d}{\lambda} \cos(\phi) \sin(\theta) + 2k\pi$$

Dans le cas d'une antenne composée de M capteurs, on obtient un vecteur de déphasages $\Delta\phi = [\delta\phi(1), \dots, \delta\phi(M)]^T$. Pour calculer l'angle en azimut ϕ et l'angle en site θ , on utilise la technique du minimum des modules qui consiste à comparer le vecteur de déphasages mesurés $\Delta\phi_m$ avec ceux calculés $\Delta\phi_c$ pour chaque direction d'arrivée. Connaissant la géométrie de l'antenne et la fréquence du signal incident, ce dernier peut être calculé analytiquement ou bien peut être extrait d'un processus d'étalonnage de l'antenne.

Cet étalonnage, préalablement exécuté, permet de déterminer pour chaque direction d'arrivée le vecteur de déphasages correspondant. Ainsi, l'estimation revient à minimiser la fonction $Q(\phi, \theta)$ pour $\phi \in [0; 2\pi]$ et $\theta \in [0; \pi/2]$ définie par :

$$\begin{aligned} Q(\phi, \theta) &= [\Delta\phi_m - \Delta\phi_c]^2 \\ &= \sum_{i=1}^M [\delta\phi_m(i) - \delta\phi_c(i)]^2 \end{aligned}$$

L'avantage de l'interférométrie est qu'elle peut s'appliquer à différentes géométries d'antennes. Cependant, une estimation non ambiguë de la direction d'arrivée nécessite un minimum de 3 capteurs avec une distance inter-éléments inférieure à $\lambda/2$.

I.2.2.d Goniométrie à super-résolution et à haute-résolution

Les traitements à super-résolution et à haute-résolution [8] regroupent toutes les techniques permettant d'obtenir une meilleure résolution angulaire que celles obtenues à l'aide des techniques classiques monosource telles que Watson-Watt ou l'interférométrie.

La technique à super-résolution la plus connue est la technique Capon [9], aussi appelée MVDR (Minimum Variance Distortionless Response), initialement développée à la fin des années 1960 pour analyser des données sismiques.

Ce traitement est basé sur le calcul de la puissance du signal en sortie d'un filtre spatial adapté permettant, tout en conservant un gain unitaire dans la direction d'arrivée recherchée, de réduire la contribution des sources de bruit et interférences venant des autres directions.

Le spectre de Capon en sortie du filtre adapté $P(\phi, \theta)$ s'écrit :

$$P(\phi, \theta) = \frac{1}{\mathbf{d}^*(\phi, \theta) \mathbf{R}_{XX}^{-1} \mathbf{d}(\phi, \theta)}$$

avec $\mathbf{d}(\phi, \theta) \in \mathbb{C}^M$, correspondant à la réponse en amplitude et en phase en sortie des M capteurs et $\mathbf{R}_{XX}$ la matrice de covariance des observations.

Les travaux de Capon [9] ont démontré que cette technique permet d'atteindre une résolution quatre fois supérieure aux méthodes conventionnelles

D'autres techniques, dites de haute-résolution ont été introduites au début des années 1980. Celles le plus souvent référencées dans la littérature sont la méthode MUSIC (MUltiple SIgnal Classification) proposée par R.O. Schmidt [10] et E. Ferrara [11], et la méthode ESPRIT, proposée par Roy et al. [10] qui utilise deux sous-réseaux d'antennes identiques.

Ces techniques permettent une estimation simultanée de plusieurs sources décorréélées avec des traitements basés sur la décomposition en sous-espace à partir de la matrice de covariance $\mathbf{R}_{XX}$.

II. Algorithmes de localisation

Quand un mobile a suffisamment d'information de distances/angles et de positions, il peut calculer sa position. Pour cela, plusieurs méthodes sont utilisées. Le choix de la méthode de calcul de la position influe sur les performances finales du système de localisation. Ce choix dépend des informations disponibles et des ressources du processeur.

Les algorithmes plus utilisées seront discutées sur cette section : la trilatération, la multilatération et la triangulation. Et il existe d'autres méthodes comme le cadre englobant et la position centrale.

II.1. Trilatération

La trilatération est la méthode qui calcule la position d'un mobile par l'intersection de trois cercles, comme illustré sur la Figure I.8.

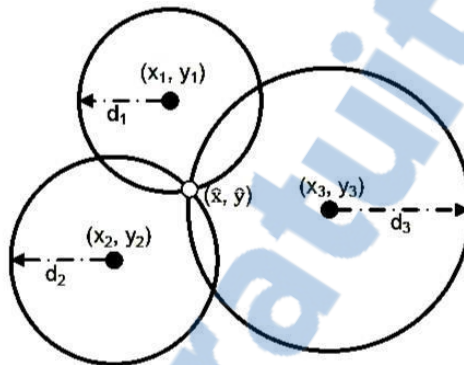


Figure I.8 – Principe de la trilatération

$$(\hat{x} - x_n)^2 + (\hat{y} - y_n)^2 = d_n^2 \quad \hat{x}^2 + \hat{y}^2 - 2(\hat{x}x_n + \hat{y}y_n) + x_n^2 + y_n^2 - d_n^2 = 0$$

$(\hat{x}, \hat{y})$: Position du mobile à localiser

Dans les cas réels, les imprécisions des distances mesurées et des positions rendent le calcul de la localisation très erroné.

Une solution du problème consiste à faire la multilatération, c'est-à-dire, définir un système surdéterminé (le nombre d'équation est plus grand que le nombre d'inconnus) en utilisant un nombre supplémentaire d'antenne de référence [12].

II.2. Triangulation

La triangulation [12] ressemble à la trilatération, mais à la place des distances, elle utilise les angles. Il existe deux types de triangulation et les deux utilisent la trigonométrie.

- Le premier type, voir Figure I.9-a, il faut au moins deux références pour estimer l'angle d'arrivée des signaux du mobile à localiser, et pouvoir calculer la position du mobile qui n'est que l'intersection des deux droites qui partent des deux mobiles avec les deux angles mesurés respectivement. Ce type de triangulation est surtout utilisé dans les réseaux de téléphonie mobile.

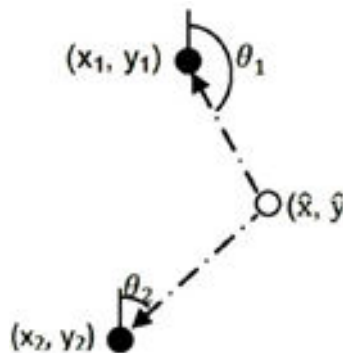


Figure I.9 -a : Localisation à distance

Le deuxième type est l'auto-localisation, voir Figure I.9-b. Ce cas est basé sur l'estimation des angles entre le mobile et les antennes émetteurs de base (qui forment un triangle).

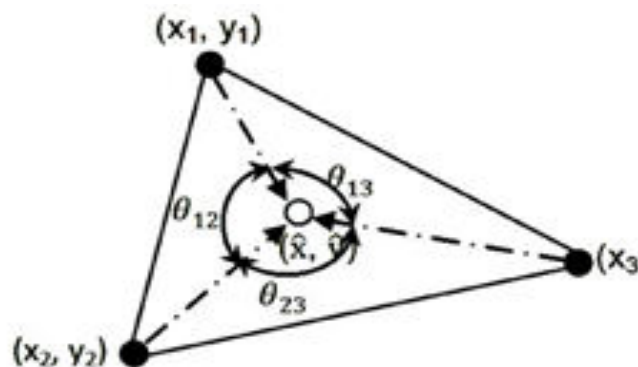


Figure I.9 -b : Auto-localisation

II.3. Temps d'arrivée (ToA)

La technique de temps d'arrivée (*time of arrival – ToA en anglais*) est basée sur le principe que les ondes électromagnétiques se propagent à une vitesse c constante en espace libre (célérité de la lumière). A partir du temps t mis pour que le signal direct arrive de l'émetteur au récepteur et en sachant la vitesse de propagation, la distance d qui sépare les capteurs est obtenue directement par l'équation (1) :

$$d = c . t \quad (1)$$

Il existe deux classes de techniques : « l'aller simple » et « l'aller-retour ». La première catégorie exige une parfaite synchronisation entre l'émetteur et le récepteur et est utilisée dans le cas des réseaux cellulaires et des communications satellitaires. Elle consiste en envoyer dans le signal transmis l'instant de l'émission et la position du point de référence de l'émetteur. Tandis que la seconde ne nécessite pas de synchronisation et le signal envoyé par le point de référence est renvoyé par l'objet désirant se localiser avec le temps qui a été utilisé pour traiter et retransmettre l'information.

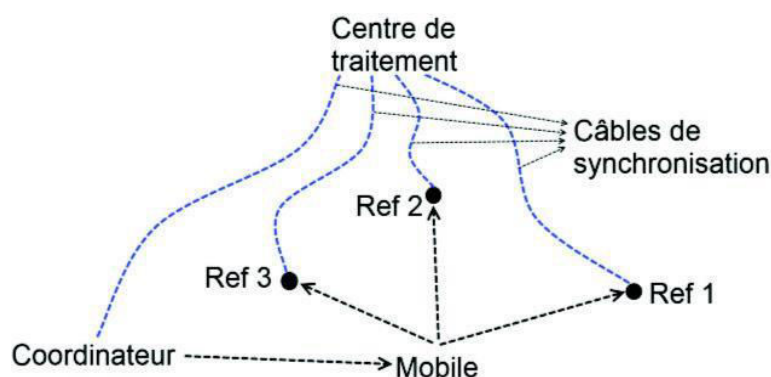


Figure I.10 - Exemple d'un système ToA

L'inconvénient majeur de cette technique est la nécessité d'une synchronisation temporelle efficace entre les points de référence et le récepteur. Un défaut de synchronisation résulte à des erreurs dans le calcul du temps pris par le signal et en conséquence conduit à des erreurs de localisation[12].

II.4. Différentiel d'arrivée (TDoA)

Contrairement à la technique ToA, la technique *TDoA* (*time difference of arrival* en anglais) n'a pas besoin de synchronisation entre l'émetteur et le récepteur, mais il y a synchronisation entre plusieurs récepteurs avec des positions connues. Ces systèmes sont basés sur l'exploitation de la différence du temps d'arrivée entre les éléments de deux ou plusieurs paires de récepteurs. La TDoA entre les éléments d'un couple de récepteurs ij est exprimé sous la forme de la formule (2). Une façon d'accéder à la *TDoA* est de mesurer le retard des signaux arrivant au niveau de chaque récepteur et effectuer leur différence [9].

$$\text{TDoA}_{ij} = \tau_i - \tau_j = \frac{d_i - d_j}{c} = \frac{d_{ij}}{c} \quad (2)$$

Avec c la vitesse de propagation des ondes dans le milieu considéré et d la distance de chaque trajet.

Pour chaque mesure *TDoA*, l'émetteur doit se trouver sur une hyperbole avec une différence de distance constante entre les deux unités de mesure [10]. Une localisation 2-D peut être estimée à partir des deux intersections de deux ou plusieurs mesures *TDoA*, comme indiqué dans la Figure 4. Deux hyperboles sont formées à partir de mesures de temps d'arrivée à partir des récepteurs A, B et C afin d'avoir le point d'intersection P.

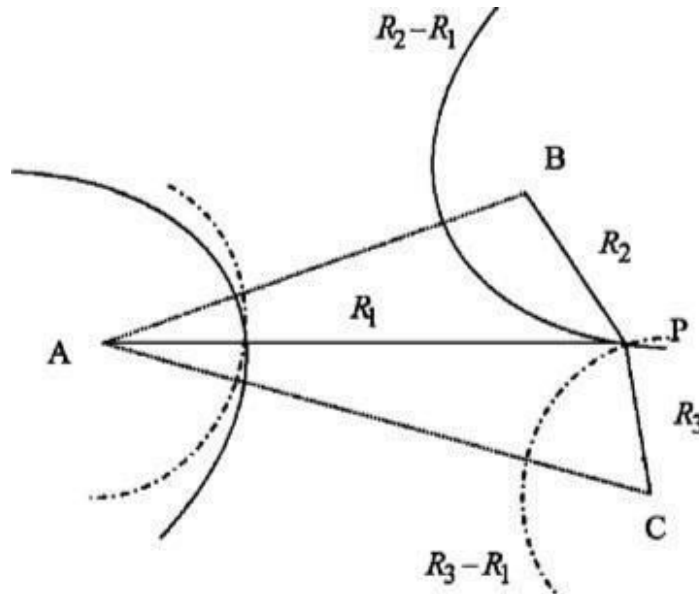


Figure I.11 - Localisation avec *TDoA*

Comme généralement dans le cas des systèmes utilisant cette technique, les récepteurs ne sont pas synchronisés avec l'émetteur (comme la technique ToA) mais uniquement entre eux, la *TDoA* mesurée ainsi va inclure un offset qui sera en revanche identique à cause de la synchronisation entre les récepteurs. Une autre méthode d'estimation de la *TDoA* est la corrélation entre les signaux reçus aux différents récepteurs, cette méthode est aussi appelée de Cross-Corrélation Généralisée (CCG).

En résumé, la valeur de TDoA qui est une valeur de différence de temps sur deux récepteurs distincts peut être calculée par deux techniques différentes :

1. Soustraction de temps d'arrivée (ToA) de chacun des capteurs.
2. Corrélation de deux signaux provenant des capteurs.

Le principal inconvénient de cette méthode est que, dans les environnements avec la présence des multi-trajets les performances se dégradent considérablement [12].

II.5 Angle Of Arrival (AoA pour Angle of Arrival ou DoA pour Direction of Arrival)

Cette technique est basée sur l'exploitation des angles d'incidence des signaux émis par l'objet mobile au niveau d'au moins deux points de réception.

Cette technique est illustrée dans la **Figure I.12**. L'estimation des angles d'arrivée se fait à l'aide des antennes directives ou des réseaux d'antennes utilisées conjointement avec des méthodes à haute résolution.

La position de l'émetteur est donnée par l'intersection des droites passant par chaque récepteur et d'angle les AOA calculés par rapport à une référence arbitraire.

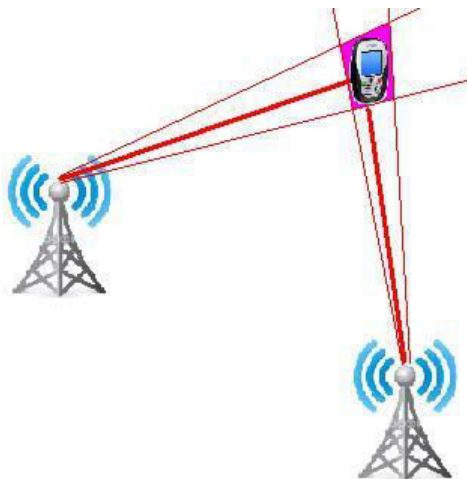


Figure I.12: Localisation exploitant les AOA

Souvent une marge d'erreur d'estimation de la DOA est introduite, conduisant à l'intersection des faisceaux, qui définit une zone possible de la position de l'émetteur.

La dimension de chaque faisceau augmente avec la distance par rapport à l'émetteur conduisant à des erreurs plus importantes.

Dans le cas où l'émetteur se trouve sur la ligne qui réunit les deux récepteurs, l'estimation de la position n'est plus possible. La présence d'un récepteur supplémentaire est nécessaire.

L'inconvénient majeur de cette technique est lié à la nécessité de disposer de réseaux d'antennes qui augmentent la taille des équipements utilisés et qui impliquent des coûts supplémentaires [12].

Chapitre II : Localisation et positionnement

I. Introduction

La réalisation d'un système de localisation implique une infrastructure contenant un ensemble des capteurs permettant d'acquérir les informations nécessaires sous diverses formes (acoustique, électrique, etc.), une référence par rapport à laquelle la position de l'objet à localiser est déterminée et une partie intelligente permettant de traiter les échantillons acquis et d'extraire l'information nécessaire pour déterminer la position.

Le traitement des données peut être effectué à un emplacement dédié du réseau ou au niveau de l'objet mobile souhaitant se localiser. Dans le premier cas le procédé est appelé localisation tandis que dans le deuxième il est connu sous le nom de positionnement [BEN02]. Si l'information sur la position est calculée au niveau du réseau et retransmise à l'objet mobile ou inversement, les deux notions peuvent être inter-changées.

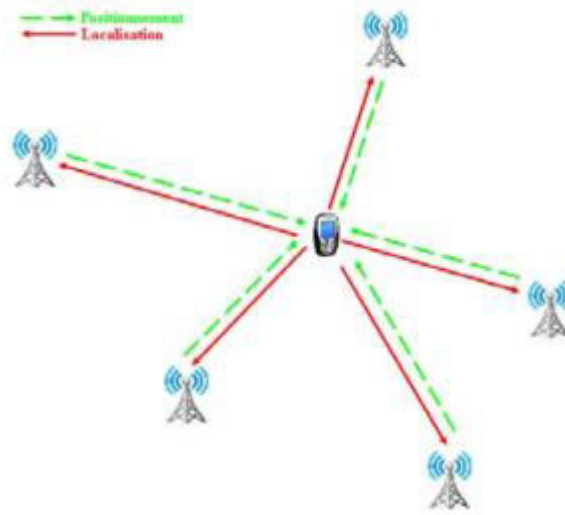


Figure II.1: Principe de la localisation et du positionnement

Globalement, ils existent trois approches utilisées pour localiser et/ou positionner des objets mobiles en espace libre :

- Positionnement basé sur les satellites : l'objet mobile est localisé à l'aide de récepteurs de signaux satellitaires. On peut citer le système américain GPS, le système européen Galileo ou le système russe GLONASS.
- Localisation/positionnement basé sur les réseaux cellulaires (ou solutions terrestres): l'objet mobile est localisé à l'aide des signaux qu'il transmet au réseau cellulaire de type GSM par exemple ou trouve sa position à l'aide des signaux reçus.
- Les méthodes hybrides ou coopératives associent les réseaux cellulaires terrestres et satellitaires.

II. Les estimateurs qu'on peut utiliser

II.1 MUSIC

L'algorithme MUSIC (MUltiple Signal Classification) est connu comme un des meilleurs algorithmes pour estimer les angles de multi trajets. Il fait la décomposition en valeurs propres de la matrice de covariance à fin d'obtenir des vecteurs propres du signal et du bruit. Son avantage est une bonne résolution. Un des inconvénients est qu'il faut utiliser beaucoup de données. De plus les signaux ne peuvent pas être changés pendant traitement et ils doivent être décarrelés.

C'est un algorithme qui permet de la séparation spatio-temporelle active des multi trajets. En début il était développée dans le domaine temporel, mais après il est devenu amélioré à grâce de la dimension spatiales qui était ajouté. Mais comme algorithme active il a besoin d'envoi périodique d'un signal connu.

Le signal reçus par un capteur de N capteurs est échantillonné à fin d'obtenir le vecteur X de K échantillons. MUSIC fait la décomposition en valeurs propres de la matrice de covariance de ce vecteur. On utilise la formule :

$$X=AS+B \quad \text{où}$$

$$S= [s_1(t), s_2(t)...s_k(t)]^T$$

$$B= [b_1(t), b_2(t)...b_k(t)]^T$$

$A=[a(\varphi_1), a(\varphi_2)...a(\varphi_k)]$ de dimension $N \times K$, obtenu par combinaison linéaire de matrices élémentaires paramétrées en angles et en retards.

Après on forme la matrice de covariance empirique R_{xx} qui corresponde aux P observations successives.

$$R_{xx} = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P x(p)x(p)^H$$

$x(p)^H$ -le transposé conjugué de $x(p)$

Maintenant on utilise une décomposition en éléments propres de la matrice de covariance.

Il faut séparer les échantillons en deux sous-espaces orthogonaux : sous-espace « bruit » et sous-espace « signal ».

L'espace signal sera identifié comme M plus grandes valeurs propres. On définit E_S le vecteur associé aux M valeurs propres les plus importantes (sous-espace signal) et E_N le vecteur des valeurs propres associé aux N-M valeurs propres les plus faibles (sous-espace bruit). Après il faut trouver un projecteur sur l'espace bruit. On détermine la fonction discriminante :

$$F_D(\lambda, \theta) = a^H(\varphi) E_N E_N^H a(\varphi)$$

Pour estimer des directions d'arrivée des sources il faut chercher les valeurs maximales de la fonction :

$$P = \frac{1}{F_D(\lambda, \theta)}.$$

II.1.1 Les avantages de l'algorithme MUSIC

C'est parce que l'algorithme MUSIC a une haute résolution, une précision et une stabilité dans certaines conditions, ce qui attire un grand nombre de chercheurs pour mener des recherches approfondies et des analyses. En général, il présente les avantages suivants lorsqu'il est utilisé pour estimer le DOA d'un signal.

- 1) La capacité à mesurer simultanément plusieurs signaux.
- 2) Mesure de haute précision.
- 3) Haute résolution pour signaux de faisceau d'antenne.
- 4) Applicable aux circonstances de données courtes.

5) Il peut réaliser un traitement en temps réel après utilisation de la technologie de traitement à grande vitesse.

II.2 CAPON

(ou Minimum Variance Distortionless Response algorithm « MVDR ») aussi utilise la matrice de covariance, qui est calculée à partir des échantillons de la réponse impulsionnelle du canal. En utilisant cette méthode il faut minimaliser la puissance de sortie de système sauf la direction du signal désirée.

$$R_{xx} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X(n)X(n)^H$$

où

N – le nombre d'échantillons.

Puis il faut définir le spectre de Capon

$$P = \frac{1}{a(Az, El)^T R_{xx} a(Az, El)}$$

où :

- Az – l'angle d'azimut,
- El – l'angle d'élévation,
- a – le vecteur source du réseau d'antennes,

Afin d'estimer des directions d'arrivée il faut maximiser ce spectre.

II.3 GCC-PHAT Corrélation croisée phase de transformation

Le calcul du délai de l'arrivée (TDOA) entre chacun des canaux considérés et le canal de référence est répété le long de l'enregistrement afin que la forme du faisceau réponde aux changements dans le haut-parleur.

La taille de la fenêtre d'analyse et de la taille du segment constitue un compromis. Une grande fenêtre d'analyse ou une fenêtre de segment conduit à une réduction de la résolution des changements dans le TDOA. D'autre part, l'utilisation d'une très petite fenêtre d'analyse réduit la robustesse de l'estimation de corrélation croisée, car moins de trames acoustiques sont utilisées pour la calculer. La réduction de la taille du segment augmente également le coût de calcul du système,

Afin de calculer le TDOA entre le canal de référence et tout autre canal pour un segment donné, il est habituel de l'estimer comme le délai qui fait que la corrélation croisée entre les deux segments de signaux soit maximale. Afin d'améliorer la robustesse contre la réverbération, il est normal d'utiliser la corrélation croisée généralisée avec la phase de transformation (GCC-PHAT) présentée par Knapp et Carter (1976) et Brandstein et Silverman (1997).

On peut aussi examiner la technique de préfiltration appelée Phase Process (PHAT) et discutez de la façon dont elle est utilisée pour améliorer la fiabilité des techniques d'estimation du DOA.

Bien que la valeur maximale corresponde au TDOA estimé pour ce segment particulier, il existe trois cas particuliers pour lesquels il a été jugé non approprié d'utiliser le maximum absolu de la fonction de corrélation croisée. D'une part, le maximum peut être dû à un bruit parasite ou un événement non lié au haut-parleur actif à ce moment-là dans la région acoustique environnante, étant le haut-parleur d'intérêt représenté par un autre maximum local de la corrélation croisée.

D'autre part, lorsque deux haut-parleurs ou plus se chevauchent, chaque haut-parleur sera représenté par un maximum de la fonction de corrélation croisée, mais le maximum absolu ne peut pas être constamment attribué au même haut-parleur, ce qui entraîne une commutation artificielle des haut-parleurs. Afin d'améliorer efficacement le signal, il serait optimal de détecter d'abord si plus d'un locuteur parle en même temps et ensuite d'obtenir un signal de filtre et de somme pour chacun d'eux, en stabilisant les retards sélectionnés et en les évitant de commuter en permanence.

En outre, lorsque le segment qui a été traité est entièrement rempli de données acoustiques non verbales (bruit ou événements acoustiques aléatoires), la fonction GCC-PHAT obtenue ne sera pas du tout instructive. Dans ce cas, aucune information de retard de source ne peut être extraite du signal et les retards doivent être éliminés et remplacés par quelque chose de plus informatif[13].

III. La localisation par triangulation

III.1 Techniques de mesure par la triangulation

Quand un mobile a suffisamment d'information de distances/angles et de positions, il peut calculer sa position. Pour cela, plusieurs méthodes sont utilisées.

Le choix de la méthode de calcul de la position influe sur les performances finales du système de localisation. Ce choix dépend des informations disponibles et des ressources du processeur.

Le but de cette phase est de trouver les positions des nœuds qui respectent au mieux les distances inter-nœuds estimées.

Si nous connaissons la position de quelques nœuds du réseau dans un certain système de coordonnées, les positions des autres nœuds dans ce système de coordonnées peuvent être trouvées.

III.2 La méthode de calcul

L'angle d'incidence du signal émis par le mobile peut être utilisé pour retrouver sa position. Considérons deux balises $B1(x1,y1)$ et $B2(x2,y2)$ à portée du mobile $M(x,y)$.

Chacune dispose des moyens matériels de mesurer l'angle sous lequel elle reçoit le signal de M. Soient α et β ces deux angles.

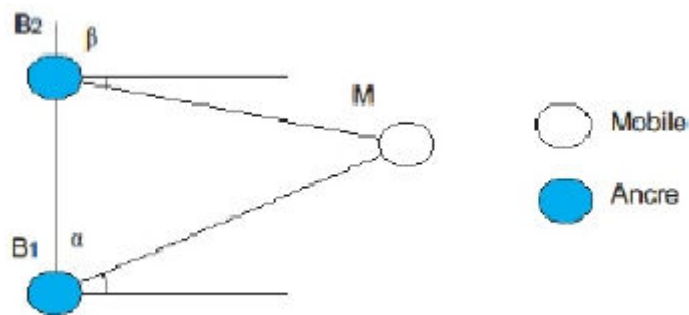


Figure II.2 : Triangulation

Le point M se retrouve à l'intersection des droites passant par les couples $(B1,M)$ et $(B2,M)$ (figure II.2). En définissant un nouveau repère dont l'origine est B1 et où $(B1,B2)$ se confond avec l'axe des ordonnées, la position de point M se donne sous l'équation suivante [14]:

$$M\left(\frac{y_2}{\tan \alpha + \tan \beta}; \frac{y_2 \tan \alpha}{\tan \alpha + \tan \beta}\right)$$

L'algorithme de triangulation nécessite pour estimer la position de l'objet mobile, les AOA d'au moins deux sources. Pour deux stations de base B1 et B2 les angles d'incidence en azimut des trajets provenant de l'objet mobile, donnés respectivement par α et β .

III.3 Comment fonctionne la triangulation ?

La triangulation réseau : la triangulation repose sur le traitement croisé de trois mesures ou plus. Un téléphone mobile dépend d'une seule cellule, mais capte généralement le signal d'au moins deux autres stations.

Les informations sont croisées en fonction du temps de transmission du signal à chaque cellule. La triangulation est aussi obtenue à partir de l'angle d'arrivée du signal ou de sa puissance.

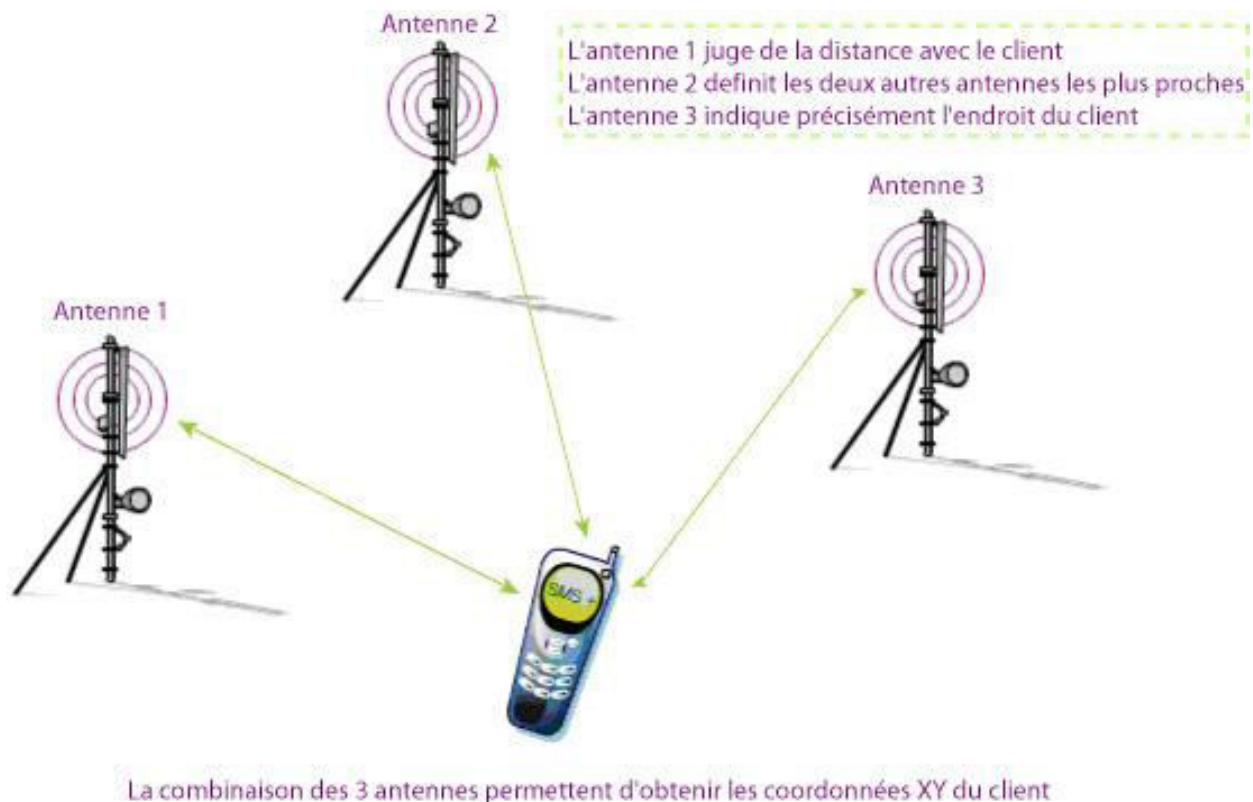
La mesure s'effectue en quelques secondes et la position calculée peut être relativement précise (une centaine de mètres en milieu urbain et quelques centaines de mètres en milieu rural).

En revanche, selon les fournisseurs de technologies, mettre en œuvre ces méthodes implique parfois d'introduire des éléments de mesure locaux (LMU) et de modifier la carte à puce du terminal mobile, ou le terminal lui-même.

III.4 Catégories de triangulation

On peut distinguer 5 grandes catégories de triangulation :

- 1- la triangulation théorique qui consiste à utiliser plus d'une perspective théorique pour analyser les « données » ;
- 2- la triangulation des outils de cueillette qui renvoie au fait de faire usage de plus d'un outil (par exemple, utiliser des entretiens, des observations, de l'analyse de documents);
- 3- la triangulation des chercheurs où la recherche a recours aux points de vue de plus d'un chercheur ;
- 4- la triangulation des sources qui signifie que les données sont recueillies auprès de plusieurs sources différentes ;
- 5- enfin, la triangulation «écologique» où les analyses et les interprétations sont soumises à la vérification auprès des sujets participants à la recherche[15].



FigureII.3 : localisation triangulaire

Le positionnement par triangulation d'émetteurs à partir d'un réseau de goniomètres est une méthode classique de localisation en deux étapes qui est fréquemment mise en œuvre en deux mesures sur toutes les séries de fréquence.

Des nouvelles applications intègrent des triangulations en trois dimensions avec le recours à des goniomètres 2D (mesure d'angle AOA en azimuth et en site).

A partir des mesures de direction AOA délivrées par les capteurs, une localisation par triangulation dans le plan en contexte mono émission est réalisée en deux ou trois étapes :

- Une initialisation de l'algorithme correspondant à une première estimation de la position de la cible. Celle-ci est typiquement estimée par l'intersection d'un couple de relevés de goniométrie, par le barycentre des intersections 2 à 2 des relevés ou encore par une méthode de moindres carrés visant à minimiser la distance quadratique entre le point d'estimation initial et les demi-droites définies par les directions d'arrivée.

- Une estimation de la position de la cible à l'aide d'un critère statistique (en général, le maximum de vraisemblance MV) appliqué au problème linéarisé au point d'initialisation (estimation pseudo linéaire connue sous le nom de méthode de Torrieri²)
- Une troisième étape éventuelle d'itération permet d'améliorer l'estimation dans le cas où les erreurs de goniométries sont importantes. Deux procédés d'optimisation sont fréquemment utilisés : l'algorithme de Gauss-Newton (à pas d'itération constant ou variable) et l'algorithme de Levenberg-Marquardt qui introduit un facteur d'amortissement adaptatif.

III. Performances des différents algorithmes

Les performances des algorithmes à haute résolution ont été analysées de manière statistique en fonction des facteurs tels le nombre de capteurs du réseau, le rapport signal à bruit, le facteur R, et les simulations en bande étroite ont été réalisées à une fréquence stable.

Pour diminuer l'erreur d'estimation de la DOA dans le cas où le facteur R est faible, une solution pourrait consister à augmenter le nombre de capteurs ou les degrés de liberté des méthodes en utilisant des algorithmes multidimensionnels d'estimation conjointe des paramètres. Dans ce cas, les méthodes spectrales (MUSIC et Beamforming) nécessitant des temps de calculs élevés pour l'évaluation des spectres multidimensionnels, et aussi leurs performances étant similaires aux méthodes paramétriques beaucoup plus rapides.

L'estimation du nombre de signaux devant se faire avant l'utilisation des algorithmes d'estimation des paramètres. En fonction de la corrélation entre les signaux, le SNR, etc.

Le nombre de signaux estimés ne reflète pas toujours la réalité. Ceci est particulièrement valable quand les signaux reçus sont fortement corrélés ou le SNR est très faible.

C'est précisément dans ce contexte que nous étudions, dans cette section, les erreurs d'estimation engendrées par un nombre de signaux fixé a priori dans l'algorithme différent de celui correspondant aux signaux réellement reçus [16].

Chapitre 3 : Localisation des sources

I. Introduction :

L'emplacement de la source diffère de l'estimation de la direction de l'arrivée (DOA). L'estimation de DOA cherche à déterminer uniquement la direction de la source à partir d'un capteur. La localisation des sources détermine sa position. C'est pour Cela on va traiter ce problème.

La localisation des sources se compose de deux étapes :

La première est l'estimation du DOA :

Estimation de la direction de la source de chaque ensemble de capteurs à l'aide de l'algorithme d'estimation DOA (estimation de l'arrivée de l'arrivée). Pour calculer les différences de temps d'arrivée, on utilise l'algorithme de corrélation croisée généralisée avec la phase de transformation (GCC-PHAT). À partir des différences d'heure d'arrivée, on peut calculer le DOA.

La deuxième est la triangulation :

Pour Calculer la position de la source par triangulation. D'abord, on doit tracer des lignes droites à partir des tableaux conformément les instructions d'arrivée. Ensuite, on calcule l'intersection de ces deux lignes. C'est le site source. La localisation des sources nécessite une connaissance de la position et de l'orientation des capteurs récepteurs ou des réseaux de capteurs.

II. Description de travail

On va montrer comment déterminer la position de la source d'un signal en usant une corrélation croisée généralisée (GCC) et une triangulation. Pour simplifier, notre travail est limité à un scénario bidimensionnel composé d'une source et de deux ensembles de capteurs récepteurs.

II.1 Formule de triangulation

L'algorithme de triangulation est basé sur des formules trigonométriques simples. Supposons que les tableaux de capteurs sont situés aux coordonnées 2-D (0,0) et (L, 0) et l'emplacement source inconnu est (x, y) . À partir de la connaissance des positions des matrices des capteurs et des deux directions d'arrivée dans les tableaux, θ_1 et θ_2 , On peut calculer les coordonnées (x, y) de

$$L = Y.\tan(\theta_1) + Y.\tan(\theta_2)$$

Qu'on peut résoudre pour Y :

$$Y = L / (\tan(\theta_1) + \tan(\theta_2))$$

Et ensuite pour X :

$$X = Y . \tan(\theta_1)$$

III. Géométrie des sources et des capteurs

On configure deux réseaux de récepteurs ULA, chacun a 4 récepteurs alignés le long de l'axe x du système de coordonnées globales et espacés de 50 mètres l'un de l'autre.

Le centre de phase du premier réseau est $(0,0)$. Le centre de phase du second réseau est $(50,0)$. La source est située à $(35,150)$ mètres. Comme indiqué sur la figure, le réseau de réception gagne un point dans la direction $+y$. La source est transmise dans la direction $-y$.

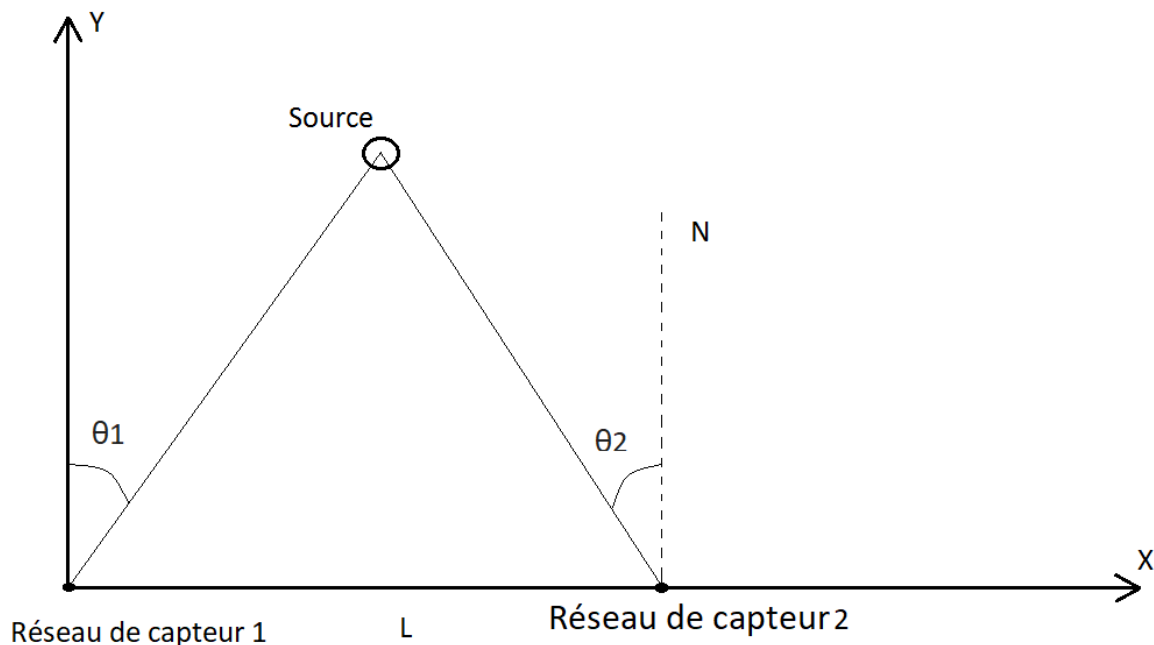


Figure III.1 : Schéma qui montre les coordonnées de réseaux de capteur et la source.

Maintenant on doit créer un récepteur de 4 éléments ULA de microphones omnidirectionnels.

On peut utiliser la même phased.ULA pour la phased.WidebandCollector

et phased.GCCEstimator. On spécifie la position et l'orientation de la première matrice de capteurs. Lorsque on crée un ULA, les éléments du tableau sont automatiquement espacés le long de y -axe. On doit faire tourner les axes du tableau de 90° pour aligner les éléments le long du x -axe du repère global.

On Spécifie la position et l'orientation du deuxième tableau capteur. On Choisi les axes les du deuxième tableau pour s'aligner avec les axes les du premier tableau.

On Spécifie la source de signal comme un seul transducteur omnidirectionnels.

III.1 La Forme d'onde

On doit choisir le signal source comme une forme d'onde LFM large bande. Supposons que la fréquence de fonctionnement du système soit de 300 MHz et que la bande passante du signal atteigne 100 kHz. Supposons une portée maximale de fonctionnement de 150 m. Ensuite, On peut définir l'intervalle de répétition des impulsions (PRI) et la fréquence de répétition des impulsions (PRF). Supposons un cycle de service de 10%. Enfin, on utilise une vitesse de son dans un canal sous-marin de 1500 m / s.

```
fc = 300e6;           % 300 MHz
c = 1500;             % 1500 m/s
dmax = 150;           % 150 m
pri = (2*dmax)/c;
prf = 1/pri;
bw = 100.0e3;         % 100 kHz
fs = 2*bw;
```

Figure III.2 : les paramètres de fonctionnement

III.2 Signaux de rayonnement

- La modélisation du rayonnement et de la propagation pour les systèmes à large bande est plus compliquée que la modélisation des systèmes à bande étroite.
- L'atténuation dépend de la fréquence.
- Le décalage Doppler ainsi que les déphasages entre les éléments en raison de la direction entrante du signal varient en fonction de la fréquence.
- On a utilisé une approche de sous-bande $nfft = 256$.
- Ainsi, il est essentiel de modéliser ces comportements lorsqu'ils traitent des signaux à large bande.

Maintenant je spécifie le radiateur source et les collecteurs de matrices de capteurs :

```
sigrad = phased.WidebandRadiator('Sensor',srcsensor,...  
    'PropagationSpeed',c,'SampleRate',fs,...  
    'CarrierFrequency',fc,'NumSubbands',nfft);
```

Figure III.3.1 : Paramètre de source

```
sigcoll = phased.WidebandCollector('Sensor',rxsensor,...  
    'PropagationSpeed',c,'SampleRate',fs,...  
    'CarrierFrequency',fc,'NumSubbands',nfft);
```

Figure III.3.2 : Paramètre de réseau de capteur 1

```
sigcoll2 = phased.WidebandCollector('Sensor',rxsensor,...  
    'PropagationSpeed',c,'SampleRate',fs,...  
    'CarrierFrequency',fc,'NumSubbands',nfft);
```

Figure III.3.3 : Paramètre de réseau de capteur 2

- Création des propageurs de signaux pour les chemins de la source vers les deux ensembles de capteurs :

```
sigchan1 = phased.WidebandFreeSpace('PropagationSpeed',c,...  
    'SampleRate',fs,'OperatingFrequency',fc,'NumSubbands',nfft);  
sigchan2 = phased.WidebandFreeSpace('PropagationSpeed',c,...  
    'SampleRate',fs,'OperatingFrequency',fc,'NumSubbands',nfft);
```

Figure III.4 : Propagateurs de signaux

- Détermination des directions de propagation de la source vers les tableaux des capteurs. Les directions de propagation sont en rapport avec le système de coordonnées local de la source.

```
[~,ang1t] = rangeangle(rxpos1,srcpos,srcax);  
[~,ang2t] = rangeangle(rxpos2,srcpos,srcax);
```

Figure III.5 : Direction de propagation de la source

- Rayonnement de signal de la source dans les directions des réseaux de capteurs :

```
xt = step(sigrad,x,[anglt ang2t]);
```

Figure III.6 : Rayonnement de signal de la source

- Ensuite, propagation de signal aux tableaux des capteurs :

```
xp1 = step(sigchan1,xt(:,1),srcpos,rxpos1,srcvel,rxvel1);  
xp2 = step(sigchan2,xt(:,2),srcpos,rxpos2,srcvel,rxvel2);
```

Figure III.7 : Rayonnement de signal de réseau de capteur

III.3 L'angle d'arrivé

Toutes les techniques basées sur la détermination des Directions D'Arrivée (DDA ou AOA pour Angle Of Arrival) utilisent le vecteur signal reçu $x(t)$ et la connaissance de la diversité spatiales des antennes pour obtenir d'une part une estimation des directions d'incidence des sources. Plusieurs techniques dites à haute résolution telles que MUSIC, ESPRIT, WSF et GCC-PHAT peuvent être utilisées pour déterminer les angles d'arrivée. La contrainte principale de ces méthodes est de ne fonctionner que lorsque le nombre de fronts d'onde incident sur le réseau est inférieur au nombre d'antennes moins un.

Une classification possible des différentes méthodes pour estimer les directions d'arrivée des ondes (DOA) peut être faite de la façon suivante :

- **Calcul des directions d'arrivée du signal propagé sur les réseaux de capteurs.**

Étant donné que la réponse du collecteur est fonction des instructions d'arrivée dans le système de coordonnées local du réseau de capteurs, on passe les matrices des axes de coordonnées locales à la fonction rangeangle.

```
[~,anglr] = rangeangle(srcpos,rxpos1,rxax1);
[~,ang2r] = rangeangle(srcpos,rxpos2,rxax2);
```

Figure III.8 : Fonctions de direction d'arrivées

- Collection de signal sur les tableaux des capteurs de réception :

```
xr1 = step(sigcoll,xp1,anglr);
xr2 = step(sigcoll,xp2,ang2r);
```

Figure III.9 : Accumulation de signal

III.4 Estimation et triangulation :

- On crée les estimateurs de *phase de transformation* GCC-PHAT :

On a utilisé la technique phase de transformation GCC-PHAT pour améliorer la fiabilité des techniques d'estimation du DOA.

Dans la première étape, les synchronisations temporelles sont estimées pour chaque paire de microphones dans le tableau.

La deuxième étape consiste à combiner ou fusionner cette information en fonction de la géométrie connue du tableau pour obtenir la meilleure estimation du DOA.

Il existe diverses techniques qui peuvent être utilisées pour calculer des retards de temps par paires, tels que la méthode de corrélation croisée généralisée (GCC) ou le filtrage à bande étroite suivie d'une estimation de différence de phase des sinusoides.

La phase de transformation (PHAT) est le pré-filtre le plus couramment utilisé pour le GCC.

Le délai estimé pour une paire de microphones est supposé être le délai qui maximise la fonction GCC-PHAT pour cette paire.

```
gcc1 = phased.GCCEstimator('SensorArray',rxsensor,'SampleRate',fs,...
    'PropagationSpeed',c);
gcc2 = phased.GCCEstimator('SensorArray',rxsensor,'SampleRate',fs,...
    'PropagationSpeed',c);
```

Figure III.10 : Fonction de l'estimateur GCC

- Estimez les indications d'arrivée :

```
123 -   angest1 = step(gcc1,xr1)
124 -   angest2 = step(gcc2,xr2)
```

Command Window

```

angest1 =

    -13.0752

angest2 =

     5.7120
```

Figure III.11 : fonction d'angles d'arrivées

- Triangulation de position source utilisant les formules établies précédemment. le scénario est limité au plan xy , on règle la coordonnée z à zéro.

```
yest = L/(abs(tand(angest1)) + abs(tand(angest2)));
xest = yest*abs(tand(angest1));
zest = 0;
srcpos_est = [xest;yest;zest]
```

Figure III.12 : Formules de triangulation

- Enfin L'emplacement estimé de la source correspond à l'emplacement réel

```
Command Window  
srcpos_est =  
  
    34.9485  
   150.4771  
          0
```

Figure III.13 : Résultat estimé

IX. Conclusion

On a montré comment effectuer la localisation des sources en utilisant la triangulation. En particulier, on a montré comment simuler, propager et traiter des signaux. Et l'algorithme GCC-PHAT est utilisé pour estimer la direction d'arrivée. On a utilisé le vecteur signal reçu, sachant la diversité spatiales des antennes pour obtenir d'une part une estimation des directions d'incidence des sources. L'estimateur GCC-PHAT peuvent être utilisées pour déterminer les angles d'arrivée. La contrainte principale de ces méthodes est de ne fonctionner que lorsque le nombre de fronts d'onde incident sur le réseau est inférieur au nombre d'antennes moins un. Et enfin on a utilisé les lois de triangulations cités au chapitre 2 pour avoir les coordonnées de cible.

Conclusion générale

Dans notre travail nous avons proposé une méthode qui essaye de répondre au challenge de localisation d'une source en utilisant une corrélation croisée généralisée (GCC) et une triangulation. Pour simplifier, notre travail est limité à un scénario bidimensionnel composé d'une source et de deux ensembles de capteurs récepteurs. L'estimation des paramètres nécessaires à la localisation est effectuée à l'aide des algorithmes à haute résolution de problèmes. Ces algorithmes ont été implémentés dans l'environnement Matlab et validés dans des configurations avec des paramètres connus. L'algorithme GCC est actuellement en cours d'optimisation et de validation pour différents scénarios. Les études paramétriques de performances des algorithmes ont permis de déterminer les ressources nécessaires pour l'estimation des retards et des paramètres angulaires avec des précisions compatibles avec des applications de localisation. Nous avons proposé des solutions en termes de phase d'initialisation de l'algorithme et l'extension permettant d'éliminer les ambiguïtés introduites par l'utilisation des valeurs relatives et des angles de départ et d'arrivée.

Bibliographie

- [1] http://chamilo2.grenet.fr/inp/courses/PHELMMAA3SICOM5PMSMUL/document/ant_smart.pdf
- [2] Radio-goniométrie : modélisation, algorithmes, performances de Anne Ferréol 2005
- [3] E. Bellini et A. Tosi, “System of directed wireless telegraphy,” Brevet US943 960 A, 1909.
- [4] H. Jenkins, Small-Aperture radio Direction-finding. Artech House, Incorporated, 1991.
- [5] R. Ellis et F. (Adcock, “Improvements in means for determining the direction of a distant source of electro-magnetic radiation,” British Brevet GB130 490 A, 1919.
- [6] G. Multedo, “Radiosurveillance du spectre,” Université de Cergy Pointoise, Tech. Rep., 1994.
- [7] T. E. Tuncer et B. Friedlander, Classical and Modern Direction-of-Arrival Estimation, Elsevier, Ed. Academic PRESS, 2009.
- [8] P. J. D. Gething, Radio Direction Finding and Superresolution. P. Peregrinus Ltd. on behalf of the Institution of Electrical Engineers, 1991.
- [9] J. Capon, “High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis,” Proceedings of the IEEE, vol. 57, no. 8, pp. 1408–1418, 1969.
- [10] R. O. Schmidt, “Multiple emitter location and signal parameter estimation,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 34, pp. 276 – 280, 1986.
- [11] J. Ferrara, E. et T. Parks, “Direction finding with an array of antennas having diverse polarizations,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 31, no. 2, pp. 231– 236, 1983.
- [12] Conception d’un système d’antennes pour la localisation en temps réel avec réseau de capteurs sans fils. Evanaska Maria Barbosa Nogueira 2013.
- [13] <http://www.xavieranguera.com/phdthesis/node92.html> Valeurs TDOA Sélection 2008.

- Amundson I., Koutsoukos X.D., “A Survey on Localization for Mobile Wi-reless Sensor Networks”, International Workshop on Mobile Entity Localization (MELT), septembre 2009.
- [14]
- [15] <http://propOSSurlemonde.blogspot.com/2012/02/triangulation-en-recherche-qualitative.html>
- [16] Rapport de thèse pour obtenir le grade de Docteur : Application des algorithmes de haute résolution à la localisation de mobiles en milieu confiné Le 24 Juin 2010.

Résumé

La goniométrie est un processus d'estimation permettant d'estimer la direction d'arrivée d'une onde émise par une source rayonnante. À l'aide des antennes directives ou des réseaux d'antennes utilisées conjointement avec des méthodes à haute résolution.

Usant une corrélation croisée généralisée (GCC) et une triangulation. Dans un scénario bidimensionnel composé d'une source et de deux ensembles de capteurs récepteurs.

Mots clés : *Direction d'arrivée DOA, Corrélation croisée généralisée GCC, Triangulation*

Abstract

Goniometry is an estimation process to estimate the direction of arrival of a wave emitted by a radiant source. Using directional antennas or antenna arrays used in conjunction with high resolution methods.

Using a generalized cross-correlation (GCC) and a triangulation. In a two-dimensional scenario consisting of a source and two sets of receiver sensors.

Keywords : *Arrival Direction DOA, Generalized Cross Correlation GCC, Triangulation*