

La localisation d'émetteurs de radiocommunication en zone urbaine

Radio transmitter localization in urban area

HEURGUIER Dominique,
THALES COMMUNICATION & SECURITY
Dominique.heurguier@thalesgroup.fr

Mots-clefs : localisation, LSU, AOA, TDOA, FDOA, DPD, ROEM.

Résumé

La localisation d'émetteurs de radiocommunication en zone urbaine intéresse à la fois des organismes civils et des entités militaires mais pour des besoins différents. La complexité de l'environnement électromagnétique urbain est telle qu'elle doit nécessairement être prise en compte dans les opérations de localisation, en premier lieu au niveau des traitements et des équipements puis au niveau des processus opérationnels. Cet article dresse un rapide panorama de cette problématique.

The localization of transmitters in urban area is highly interesting for civilian and military applications, but with some different needs. The high complexity of electromagnetic environment has to be taken into account in the localization applications, at first at the treatment and equipment level and then at the operational localization process level. This paper gives a brief panorama of this issue.

Introduction

La localisation des émetteurs répond principalement à deux besoins : un besoin de contrôle du spectre, qui est généralement de nature civile et assuré par des autorités de régulation, et un besoin de surveillance et/ou de renseignement radioélectrique, de nature militaire ou de sécurité civile. Ce dernier besoin relève du domaine COMINT (COMmunication INTelligence) qui est l'une des composantes du Renseignement d'Origine ElectroMagnétique (ROEM). La Zone Urbaine (ZU) est un milieu difficile pour la localisation des émetteurs de radiocommunication, en particulier pour les terminaux, en raison de la complexité de l'environnement radioélectrique et elle ne peut pas être traitée correctement par les techniques classiques.

1. Localisation en zone urbaine dans le cadre du contrôle du spectre

Les fréquences radioélectriques appartiennent généralement au domaine public. En France, l'État a confié à l'Agence Nationale des FRéquences (ANFR) le contrôle et la gestion du spectre, qui recouvrent des missions de planification, de gestion de l'implantation des émetteurs, de contrôle de conformité des émissions, de délivrance de certaines autorisations et certificats radio et enfin de gestion et d'analyse des situations de perturbation des services autorisés de communication radio.

Dans le cadre du contrôle du spectre et de la vérification de la conformité des émissions, la fonction localisation est essentielle et elle concerne principalement la détermination de la position de l'émetteur en latitude et en longitude (localisation 2D). La localisation permet de réaliser l'association entre l'émission interceptée et les caractéristiques de l'émetteur contrôlé mais elle permet aussi de déterminer la position géographique d'émetteurs illégaux. Le contrôle de conformité des émissions ne s'applique a priori qu'aux émetteurs fixes, permanents ou temporaires. En zone urbaine, il s'agit typiquement des émetteurs d'infrastructure des réseaux de télécommunication. Ces émetteurs sont le plus souvent bien dégagés pour ne pas être trop masqués par le milieu urbain. La fonction de localisation est généralement assurée par un réseau de stations fixes de contrôle du spectre, lequel permet une localisation instantanée (en utilisant des techniques classiques et typiquement de la triangulation). Il peut être complété par des stations mobiles qui affinent les localisations à partir de plusieurs points de mesure et réalisent in fine une localisation précise par « homing » en cherchant systématiquement à se rapprocher de l'émetteur. Ces deux derniers procédés relèvent de la Localisation à Station Unique (LSU).

2. Localisation en zone urbaine dans le cadre du renseignement ou de la surveillance

Dans le cadre du renseignement ou de la surveillance des émissions, à l'inverse du contrôle du spectre, ce sont principalement les émetteurs mobiles (terminaux tactiques, terminaux radiocellulaires, terminaux PMR, Talkie-walkie ...) dont on recherche la localisation même si les émetteurs d'infrastructure peuvent faire ponctuellement l'objet de localisations dans le cadre d'opérations de renseignement et de remontée de réseaux. Contrairement aux émetteurs fixes d'infrastructure, les terminaux mobiles sont généralement masqués par le milieu urbain. C'est bien évidemment le cas lors d'émissions à l'intérieur de bâtiments (émission « indoor »), mais c'est aussi fréquemment le cas en émission extérieure (émission « outdoor »). La localisation recherchée est de type 2D et plus généralement 3D (détermination de l'altitude), dans le but typiquement de déterminer l'étage auquel est situé un émetteur. Selon le besoin, la localisation peut ne concerner qu'un seul émetteur, un type d'émetteur, ou bien l'ensemble des émetteurs présents dans une certaine bande de fréquence.

Par opposition aux méthodes de localisation génériques (ou aveugles), la localisation peut être informée et dédiée à certains types d'émission et faire appel à des méthodes de localisation informées. Il s'agit de localisation d'émetteurs pour lesquels on dispose d'une certaine connaissance de la forme d'onde, et qui est exploitée au niveau des senseurs. Un exemple typique est l'existence de séquences déterminées dans les canaux de synchronisation des formes d'ondes numériques qui peuvent par exemple être utilisées pour faire de la mesure de goniométrie à référence ou des mesures d'instant d'arrivée.

3. Contexte de la localisation d'émetteurs en zone urbaine

Les spécificités de la localisation en ZU sont liées à la complexité de l'environnement radioélectrique. Cette complexité résulte à la fois de la forte densité des émissions qui pose des problèmes de séparation des mesures provenant de différents émetteurs ainsi que de la complexité intrinsèque du canal de propagation. Une transmission entre un émetteur et un récepteur (ou intercepteur) en canal urbain va généralement se traduire par la création de plusieurs trajets (trajets multiples) provoqués par les phénomènes de diffraction et de réflexion, et l'apparition de trajets « diffus » dont la direction d'incidence est étalée en raison des phénomènes de diffusion. Cela se traduit au niveau d'un récepteur interceptant une émission par la présence d'un grand nombre de trajets (jusqu'à plusieurs dizaines) et par un étalement angulaire de certains trajets. Les procédés de mesure doivent nécessairement intégrer des capacités permettant de traiter cette complexité.

4. Rapide classification des procédés de localisation

Les procédés de localisation peuvent être classés à l'aide de cinq critères discriminants.

En premier lieu, sur un plan opérationnel, il y a les méthodes de localisation passives et les méthodes actives :

- Les méthodes passives reposent sur une interception totalement passive de l'émission. Il est impossible de savoir qu'un émetteur est intercepté et localisé avec le seul renseignement ROEM,
- Les méthodes actives sont moins discrètes mais souvent plus efficaces. Les émetteurs sont alors en effet mieux observables. De plus, dans le cas de méthodes semi-coopératives, telles que par exemple le leurrage de terminaux GSM par une BTS leurre, ceux-ci peuvent être identifiés, sélectionnés et maîtrisés, dans le but notamment de favoriser la localisation. Ceci est typiquement réalisé en forçant (à l'insu de l'utilisateur) un terminal à émettre sur un canal spécifié non encombré et propice à la goniométrie.

En matière de mise en œuvre, on distingue les procédés de Localisation à Station Unique (LSU) permettant, comme nous l'avons déjà vu, la localisation d'émetteur à partir d'une seule station de mesure et les procédés de localisation multi stations. Ces derniers sont des procédés de localisation quasi instantanés, ce qui n'est pas souvent le cas des procédés LSU passifs.

Pour ce qui est des traitements, on distingue les procédés de localisation globale, constitués d'une seule étape de traitement, des procédés de localisation en deux étapes, basés sur l'estimation de paramètres intermédiaires.

- Les procédés de localisation en deux étapes, dits « décentralisés », reposent sur une première étape d'estimation de paramètres intermédiaires par les capteurs puis sur une seconde étape d'estimation de la localisation à partir de ces paramètres intermédiaires sur la base d'un modèle physique. Ces méthodes s'appuient ainsi sur un traitement réparti composé :
 - o D'une étape de traitement local au niveau de chaque station de mesure avec une estimation de paramètres intermédiaires (AOA, TOA, POA, FOA, Niveau, Vector Of Arrival, polarisation, etc ...),
 - o Une étape de traitement centralisé qui, à partir de l'ensemble des mesures intermédiaires transmises par les différentes stations vers l'unité de traitement centrale, réalise une estimation de localisation avec un algorithme approprié aux types de mesures réalisées (triangulation, trilateration, multilateration ...)
- Les procédés de localisation en une seule étape, dits « centralisés », traitent l'ensemble des signaux « bruts » transférés vers un centre de fusion qui estime directement la localisation. Cette approche du problème de localisation est déjà mise en œuvre depuis de nombreuses années dans les configurations de stations monovoie (stations disposant d'un seul aérien) à l'aide de méthode de localisation par multilateration basées sur les retards différentiels TDOA. En revanche, la prise en compte de configurations multivoies a conduit récemment à la conception de nouveaux algorithmes tels que le « Direct Position Determination » (DPD). Une localisation centralisée sur l'ensemble de la bande va nécessiter à la fois un réseau de communication à très haute qualité de service et une synchronisation spatio-temporelle des senseurs très précise.

On distingue également les procédés de localisation intégrant des traitements mono émetteur et les procédés de localisation multi émetteurs ou multi utilisateurs.

L'environnement électromagnétique comporte toujours plusieurs émetteurs, mais il convient de distinguer :

- les contextes de multi émissions « simples », dans lesquels toutes les émissions peuvent être séparées en tête de traitement à l'aide de critères de corrélation technique¹, ce qui permet in fine de se ramener à des traitements de localisation mono source,
- les contextes de multi émissions « forts », dans lesquels toutes les émissions ne peuvent pas être séparées en tête à l'aide de critères de corrélation technique. Pour ces contextes, il est nécessaire de disposer de méthodes de localisation en réseau multi sources à base de traitements spatiaux permettant de séparer spatialement les émetteurs multiples et de gérer les ambiguïtés d'association.

En environnement urbain, on distingue enfin les méthodes de localisation selon le modèle de propagation sous-jacent au modèle physique exploité pour l'estimation de position :

- Les méthodes de localisation basées sur le trajet direct sont le « cas général » et reposent sur un modèle physique de propagation en trajet direct. Elles peuvent être plus ou moins robustes à la présence de trajets réfléchis.
- Les méthodes de localisation par inversion de canal qui supposent une connaissance précise du canal de propagation et reposent sur un modèle physique de propagation en trajet multiples et diffus.

5. Rapide panorama des procédés de localisation en zone urbaine

5.1 Triangulation

La localisation 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 dimensions sur toutes les gammes de fréquence (référence [1]). Des applications récentes intègrent des triangulations en trois dimensions avec le recours à des goniomètres 2D (mesure d'angle AOA en azimut 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 :

¹ Fréquence, activité temporelle, numéro de slot, durée de palier, etc ...

- 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.

La figure suivante illustre une localisation par triangulation dans un plan (localisation 2D) :

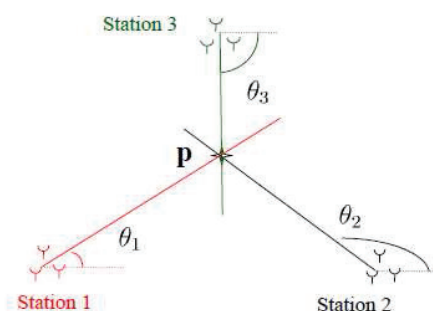


Figure 1 : Localisation par triangulation

Le prolongement de la méthode de triangulation dans le plan 2D à l'espace 3D se réalise de façon assez naturelle. Les traitements sont prolongés au contexte 3D en étendant les expressions mathématiques à la troisième dimension et à la prise en compte de la mesure du site.

L'environnement radioélectrique typique d'une goniométrie en ZU est la présence de plusieurs directions d'incidence pour une même fréquence (phénomène de trajets multiples et/ou émissions multiples créés par la présence de plusieurs émetteurs émettant dans la même bande de fréquence). Ces directions peuvent également être diffuses. Afin de réaliser des mesures de goniométrie valides, le goniomètre doit disposer d'un réseau d'antennes performant et mettre en œuvre des traitements d'antenne avancés permettant de séparer et traiter convenablement cet environnement.

En outre, en contexte de multi émissions « fort » (où les émissions multiples ne peuvent pas toutes être séparées en amont par des critères de corrélation technique) et de multi trajets, une étape préalable de clustering des mesures (classification non supervisée réalisant un partitionnement des mesures) est nécessaire afin de regrouper les mesures par émetteur. Cette étape doit nécessairement prendre en compte des critères de séparation spatiale.

Malgré un modèle physique basé sur de la propagation en trajet direct, et une grande sensibilité aux erreurs de modèle introduites par le milieu urbain, cette méthode, si elle inclut des traitements de clustering, peut donner des résultats acceptables lorsque plusieurs stations de mesure interceptent un trajet direct.

5.2 Trilateration

La localisation par trilateration sur mesure de niveau, également nommée « Signal Strength Ranging » (RSS), est une méthode de localisation basée sur des mesures de niveau du signal intercepté (Received Signal Strength Indicator) (RSSI). Cette méthode consiste à estimer la distance de l'émetteur (« ranging ») sur la base d'une hypothèse de puissance émise par l'émetteur et d'un modèle d'atténuation du signal.

² Il existe aussi des solutions approximatives du problème linéarisé telles que la méthode de Stansfield.

L'émetteur se trouve alors schématiquement sur un cercle centré sur la position de la station de mesure. La figure suivante illustre une localisation par trilatération dans un plan (localisation 2D) :

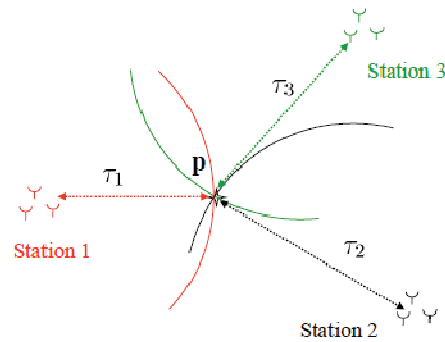


Figure 2 : Localisation par trilatération

A partir des mesures de niveau RSSI, une localisation dans le plan 2D en contexte mono émission est réalisée en déterminant la position la plus vraisemblable.

Cette méthode n'est pas adaptée aux émetteurs équipés d'un contrôle de puissance et est généralement peu précise en zone urbaine en raison de la forte variabilité des atténuations en fonction des conditions de propagation dans l'environnement local.

5.3 Multilateration

La localisation par multilatération, également dénommée localisation hyperbolique (par opposition aux méthodes angulaires par triangulation), est une méthode de localisation différentielles basée sur des mesures de retard différentiel TDOA (Time Difference Of Arrival). Cette méthode consiste à mesurer la différence du délai de propagation d'un signal entre un émetteur et plusieurs stations et repose sur un modèle de canal de propagation en trajet direct (référence [1]).

Dans cette méthode, une différence de délai de propagation (TDOA) est mesurée à partir du signal reçu sur deux antennes à des positions différentes. L'émetteur se trouve alors sur un hyperboloïde de révolution (une hyperbole si la localisation est effectuée dans un plan à deux dimensions, par exemple au sol) ayant pour foyer les deux récepteurs.

En situation de mono-émission, un réseau de N stations donne un jeu de $C_2^N = N(N-1)/2$ surfaces d'hyperboloïde qui se recoupent en théorie au point où se trouve l'émetteur. En pratique, les mesures sont bruitées et l'estimation est effectuée à l'aide d'un estimateur du maximum de vraisemblance.

Au moins quatre stations sont nécessaires pour réaliser une localisation 3D (trois stations pour une localisation 2D).

Dans l'approche « classique » de la localisation hyperbolique des émetteurs de communication, la localisation est effectuée par un traitement centralisé reposant sur des calculs d'intercorrélation des signaux mono-voies transmis par les différentes stations. Les signaux sont ainsi numérisés au niveau des stations, horodatés et transmis vers le centre de localisation (dans les anciens systèmes, les signaux étaient diffusés sous forme analogique et la synchronisation était effectuée par calibration).

A partir des mesures TDOA, une localisation par multilatération dans le plan, en contexte mono émission, est réalisée en plusieurs étapes, de façon similaire à ce qui est décrit pour le procédé de triangulation :

- 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 d'hyperboles, par le barycentre des intersections 2 à 2 des hyperboles, ou par d'autres méthodes de pseudo-linéarisation des mesures reposant sur la minimisation d'un critère de distance quadratique (ex : méthodes PX, SX, SI, ...),

- 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 également sous le nom de méthode de Torrieri).
- Une itération du processus jusqu'à convergence vers un minimum du critère. Les deux procédés d'optimisation précédemment cités s'appliquent : algorithmes de Gauss-Newton ou de Levenberg-Marquardt.

Comme pour la triangulation, le prolongement de la méthode à l'espace 3D se réalise de façon assez naturelle, même si elle introduit une complexité calculatoire. Il faut cependant noter que si en principe 3 stations suffisent généralement pour une localisation hyperbolique dans le plan, il en faut au minimum 4 pour une localisation hyperbolique 3D.

Certaines configurations de localisation sont ambiguës et les performances de précision sont très liées à la configuration géométrique des stations et de la cible à localiser (procédé de localisation fortement non linéaire).

Dès que l'on est en présence d'un contexte de multi émissions « fort » (c'est à dire d'émissions ne pouvant être séparées en amont), un traitement de séparation spatiale de sources devient nécessaire, soit par un traitement TDOA multivoies, soit par une séparation aveugle des signaux suivie d'un traitement TDOA sur chacun des signaux séparés. Cette séparation est ensuite suivie d'une étape de corrélation-association des mesures afin de regrouper ces mesures par émetteur.

Cette méthode offre de bonnes performances sur les signaux large bande.

Son principal inconvénient est la nécessité de disposer d'un réseau de communication très haut débit afin d'acheminer vers le centre de traitement de localisation l'ensemble des signaux numérisés sur chacune des stations du réseau de localisation.

Cette méthode nécessite également une synchronisation et le partage d'une référence temporelle précise (qui peut être satisfaite en utilisant le service temps 1PPS du GPS).

Compte tenu de l'évolution des formes d'ondes numériques de communication, il existe des méthodes alternatives de localisation hyperbolique reposant sur des mesures intermédiaires de TOA au niveau des stations. Historiquement, la localisation hyperbolique à base de mesures de TOA n'était mise en œuvre que sur des interceptions de signaux radar en raison de leur nature impulsionnelle (et large bande). L'évolution des formes d'ondes de communication et la systématisation des signaux numériques rendent maintenant possible la mesure de TOA sur des séquences discriminantes connues.

Bien que basée sur un modèle de propagation à trajet direct, cette méthode est relativement robuste aux erreurs de modèles introduites par l'environnement urbain.

5.4 Localisation DPD par détermination directe de position

La méthode « Direct Position Determination » DPD, issue des travaux de Amar et Weiss (référence [2]), repose sur une hypothèse de propagation en trajet direct et sur une modélisation bande étroite des émissions à l'échelle du réseau de localisation³. L'algorithme DPD permet toutefois de traiter les émissions large bande à l'échelle du réseau en décomposant le signal sur un banc de filtres (et en utilisant un critère large bande défini comme une sommation de critères appliqués à des signaux filtrés vérifiant l'hypothèse bande étroite).

Les principaux résultats théoriques sont les suivants :

- En contexte mono émission bande étroite à l'échelle du réseau d'antenne d'une station, une approche classique en deux étapes par goniométrie puis triangulation est au moins aussi performante asymptotiquement⁴ qu'une approche globale :

³ L'hypothèse bande étroite traduit un produit TxB « produit du retard différentiel maximum entre deux aériens du réseau global par la largeur de bande du signal » très petit devant l'unité. Cette hypothèse permet d'exprimer le retard différentiel du signal sous la forme d'un déphasage sur la porteuse (ou de façon équivalente, sous la forme d'un coefficient complexe traduisant la réponse de l'aérien).

⁴ C'est à dire avec un bon rapport signal sur bruit.

- Si l'hypothèse bande étroite est vérifiée à l'échelle du réseau de localisation multi stations, l'approche par triangulation est équivalente à l'approche globale du DPD (les deux approches permettent d'atteindre la borne de Cramer-Rao mono source),
- Si l'hypothèse bande étroite n'est pas vérifiée à l'échelle du réseau de localisation, le DPD n'atteint plus la borne de Cramer-Rao mono source, contrairement à l'approche par goniométrie et localisation.
- Dès que l'on est en présence d'un contexte de multi émissions « fort » (c'est à dire d'émissions ne pouvant être séparées en amont et qui impliquent donc un traitement de séparation spatiale), une approche globale de type DPD est plus performante qu'une approche en deux étapes (tant du point de vue de la capacité de séparation des sources, des ambiguïtés d'association ou de la précision d'estimation),
- Le DPD est un estimateur efficace en bande étroite (il atteint les bornes de Cramer-Rao mono et multi sources si l'hypothèse bande étroite est vérifiée à l'échelle du réseau de localisation),
- Le DPD n'est pas un estimateur efficace en large bande (il n'atteint pas les bornes de Cramer-Rao). En particulier, le DPD n'est pas robuste à la présence de faibles niveaux sur certains canaux du banc de filtres.

Mentionnons toutefois qu'il existe des améliorations du procédé DPD en large bande, telle que la méthode LOST (référence [3]) qui repose sur un traitement spatio-temporel du signal. Cette méthode présente de meilleures performances que le DPD en présence de signaux large bande car elle s'avère beaucoup plus robuste à la méconnaissance de l'enveloppe spectrale de l'émission. En effet, contrairement au DPD qui peut prendre en compte des canaux où le niveau de l'émission est très faible, LOST s'adapte à l'enveloppe spectrale perçue par le récepteur. LOST présente ainsi une robustesse aux émissions de spectre inconnu ainsi qu'aux phénomènes de fading sélectif en fréquence susceptibles d'engendrer des canaux sans énergie. Cependant, il n'existe aujourd'hui aucune méthode d'estimation atteignant les bornes de Cramer-Rao mono ou multi source.

Bien qu'une approche globale de type DPD présente des avantages indéniables pour les contextes de multi émissions, elle présente de grandes difficultés de mise en œuvre en raison des contraintes suivantes :

- Cette méthode nécessite un réseau de communication à qualité de service élevée, offrant en particulier un très haut débit de transmission (permettant d'acheminer vers le centre de traitement de localisation l'ensemble des signaux numérisés sur toutes les voies de réception de chacune des stations du réseau de localisation).
- Elle impose également de fortes contraintes de synchronisation :
 - La prise en compte de toutes les positions des éléments antennaire (réseau antennaire « global ») implique une connaissance précise des positions et attitudes des stations au cours du temps,
 - Les stations doivent être synchronisées de façon à partager une référence temporelle précise (cette contrainte peut être satisfaite en utilisant le service temps 1PPS du GPS).
- Les approches de type DPD sont peu robustes et peu appropriées à la présence de multi-trajets. En effet, la prise en compte du contexte large bande à l'échelle du réseau global repose sur une décomposition du signal « de départ » en une somme de signaux bande-étroite sur lesquels sont appliqués des algorithmes de la famille MUSIC. Ceux-ci sont d'autant moins efficaces en présence de multi-trajets que ceux-ci sont corrélés temporellement, ce qu'accentue l'opération de filtrage en sous-bande étroite.

5.5 Inversion de canal

Les méthodes de localisation par « inversion » de canal reposent sur une connaissance fine du canal de propagation et sur la capacité à déterminer directement la position d'un émetteur à partir des caractéristiques du signal intercepté. Elles s'appuient sur un maillage de l'espace géographique où chaque centre de maille correspond à une position possible de l'émetteur et elles mettent en œuvre une inversion du canal par approche directe. L'approche directe repose sur deux étapes :

- La détermination des mesures attendues. A partir de la position considérée de la station de mesure, les mesures attendues sont calculées de façon théorique pour chacune des mailles à l'aide d'un logiciel de prédiction de la propagation.
- La localisation de l'émetteur. Celle-ci est estimée par minimisation d'un critère quadratique évaluant l'écart entre les mesures réalisées et les mesures attendues (estimateur MV).

Cette méthode n'est en pratique pas utilisable en zone urbaine pour les raisons suivantes :

- Méthode intrinsèquement ambiguë et très peu robuste aux erreurs de mesures (pour un environnement supposé idéalement connu),
- Erreurs de modèles du terrain (mesures prédites très sensibles aux erreurs de représentation du terrain),
- Erreurs de modèles de propagation (décalage entre les mesures prédites par un modèle de propagation et les mesures réelles en raison de la complexité de la propagation réelle),
- Procédé fortement calculatoire (complexité numérique élevée).

Les méthodes de localisation par « inversion » de canal ne sont en pratique utilisables que dans des situations très particulières d'environnement peu complexe et parfaitement connu.

5.6 Localisation hybride

Les méthodes de localisation hybride réalisent une localisation en exploitant conjointement un ensemble de mesures de différentes natures.

Typiquement, la localisation hybride AOA – TDOA exploite conjointement des mesures de goniométrie AOA et des mesures d'instant d'arrivée TOA. Le procédé repose sur des traitements analogues à ceux décrits pour la localisation par triangulation :

- Initialisation de l'algorithme par une première estimation de position,
- 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),
- Itération du processus jusqu'à la convergence vers un minimum du critère.

Comme pour les précédentes méthodes, en contexte de multi émissions, une étape préalable de corrélation-association des mesures est nécessaire afin de regrouper les mesures par émetteur.

6. Conclusion

La zone urbaine est un environnement complexe pour la localisation des émetteurs de radiocommunication et tout particulièrement des terminaux. A défaut de disposer de nouveaux procédés, les méthodes classiques de localisation en réseau peuvent être utilisées en les adaptant aux spécificités de cet environnement. En particulier, les procédés de localisation hybride en deux étapes reposant sur des mesures intermédiaires conjointes, telles que la direction et l'instant d'arrivée, peuvent donner des résultats satisfaisants à condition d'adapter les traitements aussi bien au niveau des stations de mesure que de l'algorithme de localisation.

Références bibliographiques

- 1- Statistical Theory of Passive Location Systems, D.J. Torrieri, IEEE AES-20 n°2, March 1984.
- 2- Direct position determination of multiple radio signals, A Amar and AJ Weiss, EURASIP J.Appl. Signal Process, 2005.
- 3- Thèse ENS Cachan – THALES « Géolocalisation de sources radioélectriques : stratégies, algorithmes et performances », J. Bosse, 2012.