

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Rapport UIT-R SM.2211
(06/2011)

Comparaison de la méthode de géolocalisation de signal fondée sur la différence entre les instants d'arrivée par rapport à celle fondée sur l'angle d'arrivée

Série SM
Gestion du spectre



Union
internationale des
télécommunications

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Rapports UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REP/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre

Note: Ce Rapport UIT-R a été approuvé en anglais par la Commission d'études aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2011

© UIT 2011

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RAPPORT UIT-R SM.2211

Comparaison de la méthode de géolocalisation de signal fondée sur la différence entre les instants d'arrivée par rapport à celle fondée sur l'angle d'arrivée

(2011)

Table des matières

	<i>Page</i>
1 Introduction	1
2 Présentation de la technologie TDOA	2
3 Points forts et points faibles de la méthode TDOA par rapport à la méthode AOA classique	2
4 Résumé	8
5 Références	8

1 Introduction

Le présent Rapport explicite les points forts et les points faibles de la méthode de géolocalisation de signal fondée sur la différence entre les instants d'arrivée (TDOA, *time-difference-of-arrival*) par rapport à celle fondée sur l'angle d'arrivée (AOA, *angle-of-arrival*). Le présent Rapport est consacré à la technique TDOA, mais il convient de noter qu'il existe d'autres techniques de géolocalisation¹. La méthode AOA, qui consiste à déterminer l'angle d'arrivée d'une onde en un point de mesure, est couramment utilisée dans de nombreuses applications de radiogoniométrie, et présente certains avantages mais aussi certains inconvénients, concernant les caractéristiques des antennes par exemple. La méthode TDOA consiste quant à elle à calculer la différence entre les instants d'arrivée d'une onde en plusieurs points de mesure, et à calculer le point source sur la base de comparaisons de caractéristiques temporelles et de caractéristiques de l'onde. Peu utilisée pour le contrôle du spectre, la méthode TDOA s'avère de plus en plus utile en raison de la disponibilité de calculateurs puissants qui sont compacts et peu onéreux, de récepteurs radio évolués, de liaisons de données accessibles facilement et d'un signal de rythme distribué qui est précis. Le présent document décrit brièvement la technologie TDOA puis donne les points forts et les points faibles de la méthode TDOA par rapport à la méthode AOA plus classique.

¹ La méthode de l'intensité du signal reçu (RSS, *received signal strength*) utilise la mesure du rapport de puissance d'un signal en plusieurs points de mesure pour calculer le point source. Elle est souvent utilisée pour la géolocalisation en intérieur. La méthode de la différence de fréquence à l'arrivée (FDOA, *frequency-difference-of-arrival*) utilise le décalage de fréquence Doppler d'une source en mouvement (et/ou plusieurs récepteurs) pour calculer le point source. Elle est souvent utilisée en association avec la méthode TDOA pour les applications à bord d'aéronefs.

2 Présentation de la technologie TDOA

La technique TDOA consiste à mesurer l'instant d'arrivée d'un signal RF en plusieurs points de l'espace et à comparer la différence entre les instants mesurés à chaque récepteur. La méthode classique utilisée pour estimer la différence TDOA consiste à calculer la corrélation croisée d'un signal arrivant dans deux récepteurs. Cette estimation correspond au délai qui maximalise la fonction de corrélation croisée. Si on connaît l'emplacement de chaque récepteur, on peut alors en déduire une estimation de l'emplacement de la source des émissions sous réserve que tous les récepteurs soient synchronisés temporellement. L'équivalent de la ligne de relèvement (LoB, *line-of-bearing*) obtenue avec un système AOA est une ligne hyperbolique correspondant à une différence constante entre les instants d'arrivée, appelée isochrone ou ligne de position (LoP, *line-of-position*). On trouvera plus de détails sur la méthode TDOA dans le Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre, Edition 2011, au § 4.7.3.2.

La méthode TDOA a été utilisée à des fins de radiolocalisation dans certaines applications de défense et, plus récemment, dans certaines applications spécifiques comme la localisation de téléphones cellulaires mobiles pour des interventions urgentes (incendie, ambulance, etc.). Dans le passé, le principal obstacle à la généralisation de son utilisation pour des applications civiles était la nécessité de disposer d'une synchronisation temporelle de l'ordre de la nanoseconde. Étant donné que les rayonnements électromagnétiques se propagent à une vitesse d'environ 30 cm/ns, toute gigue de rythme importante entre les récepteurs aura une incidence directe sur la dilution de la précision de la localisation. Aujourd'hui, avec les systèmes de navigation par satellite (GPS, Galileo et GLONASS), on dispose de moyens accessibles et peu onéreux pour assurer la synchronisation temporelle. En conséquence, plusieurs fournisseurs de différents pays à travers le monde proposent désormais des systèmes reposant sur la méthode TDOA.

3 Points forts et points faibles de la méthode TDOA par rapport à la méthode AOA classique

Afin de mieux comprendre la méthode TDOA, nous présentons une brève analyse comparative de ses points forts et de ses points faibles par rapport à la méthode AOA. Il est à noter que les méthodes TDOA et AOA sont des techniques complémentaires pour la géolocalisation. Un système de géolocalisation qui combine les deux peut donner de meilleurs résultats que chacune d'elles utilisée seule [1]. Par ailleurs, le fait de disposer d'une deuxième méthode permettant de confirmer la géolocalisation peut être essentiel pour les mesures coercitives liées à l'utilisation du spectre.

Pour simplifier notre propos, nous supposons que le système TDOA utilise une détection fondée sur une corrélation croisée, et que les récepteurs de mesure transmettent les signaux échantillonnés à un serveur central en vue de déterminer les différences TDOA. Pour la plupart des applications de contrôle du spectre, cette méthode est celle qui est préférée à la fois pour ses performances en matière de localisation et pour sa souplesse. Pour simplifier encore notre propos, nous comparons le système TDOA à un système AOA utilisant un interféromètre corrélatif. L'interférométrie corrélatrice est une technique AOA largement mise en œuvre pour le contrôle des nouveaux signaux. On trouvera une présentation de l'interféromètre corrélatif au § 4.7.2.2.5 du Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre, Edition 2011.

(NOTE 1 – Les numéros de paragraphe cités dans les Tableaux 3-1 et 3-2 renvoient au Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre, Edition 2011. Les numéros entre crochets figurant dans les Tableaux renvoient aux documents de référence énumérés au § 5 Références.)

TABLEAU 3-1

Points forts de la méthode TDOA

Caractéristiques d'antenne plus simples	<p>L'antenne est peu onéreuse et peu complexe, et peut avoir de petites dimensions.</p> <p>Les récepteurs TDOA peuvent employer une seule antenne simple (par exemple une antenne unipolaire ou une antenne doublet). Contrairement aux systèmes AOA, il n'est pas nécessaire que l'antenne présente des tolérances mécaniques et une précision électrique élevées, ni qu'elle fasse l'objet de tests opérationnels et de mesures pour l'étalonnage. Un autre avantage est que l'antenne peut être de petites dimensions et discrète, ce qui est important lorsqu'il s'agit de déployer des systèmes de contrôle dans des sites historiques ou restreints du point de vue architectural ou lorsqu'il s'agit de négocier des accords d'emplacement avec des tierces parties.</p>
Critères plus simples pour l'emplacement et l'étalonnage	<p>Les critères d'emplacement sont moins restrictifs que pour un système AOA et un système TDOA nécessite peu voire pas d'étalonnage.</p> <p>On dispose ainsi d'une plus grande marge de manœuvre pour choisir les emplacements des récepteurs TDOA, lesquels sont donc plus rapides à mettre en place. En zone urbaine, des récepteurs TDOA supplémentaires peuvent être utilisés pour pallier aux effets d'écran dus aux structures hautes.</p> <p>En revanche, les emplacements des récepteurs AOA doivent être choisis de manière à ce que la distorsion du front d'onde résultant de la ré-émanation due aux obstacles locaux, aux réflexions sur le sol et aux modifications de la conductivité du sol soit minimale. Certains réseaux d'antennes AOA doivent être étalonnés après leur installation afin de minimiser les erreurs en fonction de la fréquence et de la direction. L'étalonnage des réseaux d'antennes est l'un des facteurs les plus importants qui limitent les performances dans le cas de la méthode AOA [2]. Pour plus de détails sur le choix des emplacements des récepteurs AOA, on se reportera aux § 4.7.2.3.1.2 et 2.6.1.3.</p>
Signaux large bande, signaux à faible rapport signal/bruit, et signaux de courte durée	<p>La méthode TDOA donne de bons résultats pour les nouveaux signaux à modulation complexe, large bande ou de courte durée.</p> <p>La méthode AOA donne tout particulièrement de bons résultats pour les signaux à bande étroite, mais on peut appliquer des méthodes AOA évoluées pour localiser des signaux large bande, complexes ou de courte durée.</p> <p>Les performances de la méthode TDOA dépendent fortement de la largeur de bande du signal. Celles de la méthode AOA sont grosso modo indépendantes de la largeur de bande du signal sous réserve que l'espacement des canaux FFT soit analogue à la largeur de bande du signal. D'une manière générale, la méthode TDOA donne des résultats d'autant meilleurs que la largeur de bande du signal est plus grande.</p> <p>Plus le rapport signal/bruit des signaux est élevé et plus les durées d'intégration sont longues, meilleures sont les performances des deux méthodes TDOA et AOA. Le gain de traitement lié à la corrélation permet aux systèmes TDOA de détecter et de localiser des signaux pour lesquels le rapport signal/bruit est faible (voire négatif). De plus, le gain de traitement lié à la corrélation permet à des récepteurs TDOA supplémentaires de participer à une géolocalisation même s'ils reçoivent un signal pour lequel le rapport signal/bruit est très faible ou négatif. Les systèmes AOA de base ne peuvent pas détecter et localiser des signaux pour lesquels le rapport signal/bruit est négatif, et peuvent avoir des difficultés à localiser des signaux pour lesquels le rapport signal/bruit est faible. Des systèmes AOA évolués, par exemple avec résolution avancée ou avec corrélation fondée sur des données (radiogoniométrie de référence), peuvent traiter ces signaux.</p> <p>Les systèmes AOA de base ne tirent pas parti du gain de traitement lié à la corrélation des signaux, mais ils tirent parti dans une certaine mesure du gain système lié à l'utilisation de plusieurs éléments d'antenne et canaux de réception.</p> <p>Pour la géolocalisation de signaux de courte durée, il faut des récepteurs coordonnés, synchronisés temporellement sur une fraction de l'inverse de la largeur de bande du signal. Cette capacité est fondamentale pour les systèmes TDOA. De plus, les systèmes TDOA peuvent effectuer une géolocalisation en utilisant des mesures de très courte durée sur des signaux de durée plus longue. Si on permute les éléments d'antenne AOA, la durée d'intégration nécessaire sera plus faible.</p>

TABLEAU 3-1 (suite)

Complexité du système	<p>Les récepteurs et les antennes des systèmes TDOA sont moins complexes que les réseaux d'antennes et les récepteurs bi- ou multicanaux des systèmes AOA types.</p> <p>Un récepteur TDOA a besoin d'au moins un canal RF en temps réel pour éviter toute interruption dans le traitement et faire en sorte que la probabilité d'interception de signal soit la plus élevée possible⁽¹⁾. Un récepteur de faible complexité peut alors suffire dans les environnements radioélectriques simples. Des techniques de traitement TDOA avancées sont nécessaires lorsqu'on utilise un récepteur simple dans des environnements radioélectriques complexes. Des méthodes efficaces de synchronisation temporelle (GPS) et des interfaces de liaison de données sont disponibles facilement.</p>
Rejet du bruit et du brouillage non corrélé	<p>Le traitement par corrélation utilisé dans la méthode TDOA permet de supprimer les signaux de bruit et de brouillage cocanal simultanés qui ne sont pas corrélés entre les sites. Ainsi, le système peut géolocaliser des signaux pour lesquels le rapport signal/brouillage + bruit est faible.</p> <p>Des mesures coordonnées dans le temps sont réalisées à tous les récepteurs. Les signaux qui ne sont pas communs à deux récepteurs ou plus sont supprimés. Avec un traitement évolué, un système TDOA peut effectuer une géolocalisation en utilisant uniquement les corrélations avec la meilleure observation du signal émis. L'application de techniques de corrélation croisée pour l'analyse du brouillage est décrite au § 4.8.5.5.</p> <p>Des systèmes AOA évolués peuvent réduire les effets du brouillage cocanal simultané non corrélé en opérant une corrélation avec des signaux de référence. Si d'autres techniques de traitement évoluées telles que MUSIC sont efficaces contre le bruit et le brouillage non corrélés, elles nécessitent en revanche de nombreux calculs et sont peu utilisées pour le contrôle du spectre.</p>
Géolocalisation en intérieur, dans un stade et sur un campus	<p>Un système TDOA doté de techniques de traitement évoluées peut être utilisé pour géolocaliser des signaux large bande en intérieur ou en extérieur dans des zones peu étendues (< 100 m de côté) et où les trajets multiples sont nombreux [4].</p> <p>Les systèmes AOA ne donnent généralement pas de bons résultats dans ces conditions. Il est possible de remédier au problème de la précision de la synchronisation temporelle en intérieur en utilisant des commutateurs Ethernet compatibles IEEE-1588 et des récepteurs TDOA. Il est à noter qu'une autre technique de géolocalisation utilisant l'intensité du signal reçu (RSS, <i>received signal strength</i>) donne généralement de meilleurs résultats que la méthode TDOA dans les zones peu étendues et où les trajets multiples sont nombreux, en particulier pour les signaux à bande étroite.</p>
Réduction du brouillage cocanal cohérent (trajets multiples) dans certaines conditions	<p>Les trajets multiples, également appelés brouillage cocanal cohérent, ont une incidence aussi bien sur la méthode TDOA que sur la méthode AOA. Cette incidence est différente selon la position du capteur par rapport aux réflexions par trajets multiples.</p> <p>Avec une largeur de bande de signal suffisante, la méthode TDOA est moins sensible à la distorsion du front d'onde due aux obstacles locaux (trajets multiples locaux). Dans la méthode TDOA, un traitement du signal évolué peut être nécessaire pour résoudre les ambiguïtés de localisation dues à des obstacles distants (trajets multiples distants). Le traitement évolué peut en outre filtrer les paires de corrélation utilisées dans la géolocalisation TDOA afin d'améliorer les résultats en présence de nombreux trajets multiples. Avec un traitement TDOA évolué, on peut supprimer les trajets multiples résolus dans le temps entre sites [5], d'où de bons résultats en zone urbaine dense⁽²⁾.</p>

TABLEAU 3-1 (*fin*)

Géométrie	<p>Pour les deux méthodes TDOA et AOA, la plus grande précision est obtenue lorsque la source du signal est centrée à l'intérieur d'un périmètre passant par les sites de mesure.</p> <p>Pour la méthode TDOA, la précision de la géolocalisation est déterminée par la dilution géométrique de la précision (GDOP, <i>geometric dilution of precision</i>), la qualité de la synchronisation temporelle et la qualité de l'estimation de la différence TDOA.</p> <p>L'incertitude relative à l'emplacement n'est pas liée directement à la longueur de la ligne de base entre les récepteurs TDOA [6], ce qui peut présenter des avantages dans certaines conditions.</p> <p>En revanche, la précision de la méthode AOA est liée directement à la distance entre la source et chaque récepteur AOA. Dans la méthode AOA, l'incertitude relative à l'emplacement est fonction de l'incertitude relative à l'angle de relèvement et de la distance entre le récepteur et l'emplacement estimé. Lorsque la source est située loin en dehors du périmètre, la méthode TDOA donne une ligne de position approximative de manière analogue à la ligne de relèvement obtenue dans le cas de la méthode AOA.</p> <p>Dans cette situation, l'incertitude relative à l'emplacement et au relèvement augmente de façon analogue en fonction de la distance pour les deux méthodes.</p>
Méthode bien adaptée pour une utilisation dans des réseaux de capteurs RF	<p>Pour les deux méthodes TDOA et AOA, un plus grand nombre de récepteurs donne de meilleurs résultats grâce au gain de proximité et à des statistiques améliorées.</p> <p>La méthode TDOA est bien adaptée aux déploiements de multiples récepteurs car les récepteurs sont peu complexes, de petites dimensions et utilisent une puissance faible, les antennes sont simples, et les critères pour le choix des emplacements sont simples également. Une plus forte densité de stations de contrôle distantes, appelées capteurs RF ci-dessus, permet d'avoir un récepteur de contrôle plus proche du signal auquel on s'intéresse. La réduction résultante de l'affaiblissement sur le trajet, parfois appelée «gain de proximité», permet d'améliorer les résultats de la détection et de la géolocalisation [7]. De plus, le gain de traitement lié à la corrélation obtenu dans les systèmes TDOA permet à des capteurs supplémentaires de participer à une géolocalisation même s'ils reçoivent un signal pour lequel le rapport signal/bruit est très faible ou négatif.</p>
Possibilité d'analyse complète en différé dans un serveur central	<p>Les systèmes TDOA peuvent enregistrer et cataloguer les mesures de signal coordonnées dans le temps effectuées par tous les récepteurs, de sorte qu'il est possible de procéder à une analyse complète en différé dans un serveur central, à savoir une analyse spectrale du signal de chaque récepteur, des mesures de corrélation croisée et une géolocalisation.</p> <p>Les systèmes AOA peuvent aussi enregistrer et cataloguer certaines mesures de signal (par exemple les résultats de relèvement et la confiance associée) dans un serveur central. Ces mesures sont coordonnées dans le temps jusqu'à un certain point, qui est fonction de la synchronisation temporelle qu'il est possible d'obtenir dans le système AOA. Des mesures telles qu'une analyse spectrale et des corrélations croisées ne sont pas courantes car les débits de données nécessaires sur les liaisons de raccordement sont analogues à ceux qui sont nécessaires pour la méthode TDOA.</p>

- (1) En général, les systèmes utilisant l'interférométrie corrélative emploient le multiplexage temporel pour réduire le nombre de récepteurs nécessaires. Ces systèmes ont besoin de deux à trois récepteurs avec commutation entre les 5 ou 7 antennes ou plus. Ils sont moins complexes que des systèmes de radiogoniométrie entièrement parallèles mais il leur faut une durée minimale de signal plus longue pour la localisation.
- (2) La méthode TDOA a permis de géolocaliser des signaux à bande étroite (30 kHz) de téléphone cellulaire AMPS dans une zone urbaine dense avec une précision de l'ordre de quelques centaines de mètres RMS [5].

TABLEAU 3-2

Points faibles de la méthode TDOA

Signaux à bande étroite	<p>Avec les techniques TDOA, il peut être impossible ou difficile de localiser des signaux à variation lente, comme les porteuses non modulées ou les signaux à bande étroite.</p> <p>Les performances de la méthode TDOA dépendent fortement de la largeur de bande du signal et elles diminuent lorsque la largeur de bande du signal diminue. En outre, les trajets multiples sont susceptibles d'être plus problématiques pour les signaux à bande étroite lorsque ceux-ci présentent des caractéristiques temporelles larges par rapport à l'étalement des temps de propagation. Dans ces conditions, la distorsion de la forme d'impulsion due aux trajets multiples est difficile à distinguer, ce qui a pour effet d'ajouter une erreur à l'estimation de la différence TDOA. La largeur de bande minimale du signal pour des résultats acceptables variera en fonction de l'application. Par exemple, la méthode TDOA a permis de géolocaliser des signaux à bande étroite (30 kHz) de téléphone cellulaire AMPS dans une zone urbaine dense avec une précision de l'ordre de quelques centaines de mètres RMS [5]. Un rapport signal/bruit plus élevé et une durée d'observation plus longue permettent d'améliorer la localisation de certains signaux à bande étroite à l'aide de la méthode TDOA.</p> <p>Les systèmes AOA donnent de bons résultats pour les signaux à bande étroite ou non modulés ainsi que pour les signaux large bande.</p>
Impossibilité d'appliquer la méthode de radioralliement et la méthode à distance avec une seule station	<p>Au moins deux stations TDOA, l'une des deux au moins étant mobile, et une liaison de données sont nécessaires pour la méthode de radioralliement et la méthode à distance⁽¹⁾.</p> <p>Dans le cas des systèmes AOA, les méthodes de radioralliement et à distance peuvent être appliquées avec une seule station portable, ce qui permet d'opérer une géolocalisation dans les zones où il est impossible ou onéreux d'utiliser des récepteurs TDOA en réseau. Ces méthodes sont décrites au § 4.7.3.3.</p>
Liaisons de communication à plus haut débit	<p>Les systèmes TDOA qui transmettent des formes d'onde échantillonnées depuis les récepteurs vers un serveur central ont besoin de liaisons de communication à haut débit. Les besoins sont asymétriques, la largeur de bande nécessaire pour le téléversement étant supérieure à la largeur de bande nécessaire pour le téléchargement. Un traitement évolué, notamment une compression du signal, permet de réduire le volume de données transmises. Les systèmes TDOA pour lesquels l'instant d'arrivée est établi au récepteur auront besoin d'un débit moins élevé. On trouvera plus de détails sur les besoins des liaisons de données TDOA au § 4.7.3.2.4 «Considérations relatives au réseau».</p> <p>Les systèmes AOA ont besoin de débits moins élevés car seules certaines caractéristiques du signal telles que l'angle de relèvement, la fréquence et le temps, sont transmis à un site central.</p>
Sensibilité aux sources de décorrélation des signaux	<p>Un système TDOA doit veiller à réduire toutes les sources potentielles de décorrélation des signaux entre les récepteurs. Il s'agit notamment des décalages relatifs de fréquence de référence entre les récepteurs et des décalages relatifs de fréquence des signaux (décalage Doppler) dus à des sources en mouvement ou à l'environnement local. La durée d'intégration cohérente maximale sera limitée non seulement par la durée du signal, mais aussi par la stabilité de l'oscillateur de référence du récepteur et les variations du canal hertzien.</p> <p>Les systèmes TDOA de haute qualité comporteront des boucles de poursuite afin de maintenir la cohérence fréquentielle et temporelle. Une correction automatique de l'effet Doppler est essentielle pour compenser les effets de décorrélation dus aux sources avec décalage Doppler.</p> <p>Les systèmes AOA de base et certains systèmes AOA à résolution évoluée (utilisant MUSIC) ne sont pas sensibles à la décorrélation des signaux entre les sites de mesure. Les systèmes AOA évolués qui effectuent une corrélation avec des signaux de référence sont sensibles à la décorrélation des signaux.</p>

TABLEAU 3-2 (*fin*)

Synchronisation temporelle plus précise	<p>Les systèmes TDOA ont besoin d'une synchronisation temporelle de haute qualité par rapport à l'inverse de la largeur de bande du signal auquel on s'intéresse. La technologie actuelle (par exemple GPS) permet d'obtenir une synchronisation temporelle des récepteurs TDOA meilleure que 20 ns.</p> <p>Les systèmes AOA ont des exigences moins strictes en matière de synchronisation temporelle. Une synchronisation à quelques secondes près entre les récepteurs peut par exemple suffire. Dans la pratique, pour certains signaux tels que les signaux de courte durée ou les signaux à saut de fréquence, une meilleure synchronisation entre les stations AOA est nécessaire.</p>
Signaux contenant des éléments périodiques	<p>Bien que la probabilité soit faible, il est possible que, dans certaines conditions, les algorithmes TDOA génèrent des réponses incorrectes pour des signaux qui contiennent des éléments périodiques, par exemple des séquences de données qui se répètent ou des impulsions de synchronisation. On trouvera une description plus approfondie de ce problème et d'un moyen de le réduire significativement au § 4.7.3.2.3 «Facteurs ayant une incidence sur la précision».</p> <p>Etant donné que les systèmes AOA de base n'effectuent pas de corrélation croisée de signaux, ils ne sont pas sensibles à ce problème.</p>
Vitesse de géolocalisation	<p>D'une manière générale, les signaux échantillonnés sont transmis à un serveur pour effectuer la géolocalisation, d'où un besoin de capacité de réseau et de vitesse de transmission. Une liaison lente peut nettement retarder la géolocalisation.</p> <p>Les vitesses de géolocalisation types peuvent être de l'ordre d'une position par seconde pour les systèmes TDOA contre 100 positions par seconde pour les systèmes AOA. L'utilisation de liaisons de données ayant une bande plus large permet d'améliorer la vitesse de géolocalisation TDOA. Le recours à des durées d'observation plus courtes et/ou à des techniques de compression évoluées permet également de réduire la largeur de bande nécessaire pour les données. Une fois que les mesures ont été transmises à un serveur central, les géolocalisations TDOA sont beaucoup plus rapides car elles sont effectuées à partir de données enregistrées localement.</p>
Méthode pas très bien adaptée pour la géolocalisation simultanée de nombreux émetteurs	<p>Certains systèmes AOA prennent en charge la géolocalisation simultanée de nombreux signaux espacés en fréquence. On parle souvent de radiogoniométrie large bande. Cette prise en charge est possible sur les systèmes TDOA mais n'est pas adaptée, surtout en raison du volume beaucoup plus grand de données à transmettre.</p> <p>Le volume de données à transmettre peut être réduit pour les systèmes TDOA dans le cas fondé sur des données en effectuant une synchronisation des signaux (établissement de l'instant d'arrivée) à chaque récepteur.</p>
Impossibilité de localisation par un seul site	<p>Au moins 2 capteurs sont nécessaires pour générer une ligne de position, et au moins 3 capteurs sont nécessaires pour la géolocalisation en 2-D, et 4 pour la géolocalisation en 3-D.</p> <p>Avec la méthode AOA, la localisation par un seul site est possible.</p>
Géométrie	<p>Pour les deux méthodes TDOA et AOA, la plus grande précision (meilleure dilution géométrique de la précision) est obtenue lorsque la source du signal est centrée à l'intérieur d'un périmètre passant par les sites de mesure.</p> <p>Immédiatement en dehors de la zone délimitée par les sites de mesure, la précision de la localisation diminue plus rapidement dans le cas de la méthode TDOA que dans le cas de la méthode AOA.</p> <p>Lorsque la source est située loin en dehors du périmètre, la méthode TDOA donne une ligne de position approximative de manière analogue à la ligne de relèvement obtenue dans le cas de la méthode AOA. Dans cette situation, l'incertitude relative à l'emplacement et au relèvement augmente de façon analogue en fonction de la distance pour les deux méthodes.</p>
Analyse en différé avec des mesures obtenues par un seul site	<p>Avec la méthode AOA, la ligne de relèvement peut être analysée en différé sur la base de mesures obtenues par un seul site. Les analyses en différé des lignes de position TDOA sont impossibles avec des mesures obtenues par un seul site.</p>

⁽¹⁾ Dans le cas des approches fondées sur l'intensité du signal reçu (RSS), la méthode de radioralliment et la méthode à distance peuvent être appliquées avec une seule station portable.

4 Résumé

La méthode TDOA est une technique de géolocalisation complémentaire, peu utilisée pour le contrôle des émissions. Mais elle s'avère de plus en plus utile en raison de la disponibilité de calculateurs puissants qui sont compacts et peu onéreux, de récepteurs radio évolués, d'une connectivité ubiquitaire pour les données et d'une synchronisation temporelle répartie qui est précise. Elle présente certains points forts par rapport à la méthode AOA, en particulier en ce qui concerne la détection et la géolocalisation des nouveaux signaux large bande, des caractéristiques d'antenne plus simples, la capacité de traiter la propagation par trajets multiples proches en zone urbaine, et le fait qu'il s'agisse d'une méthode adaptée au déploiement de réseaux de capteurs peu onéreux. Elle présente aussi des points faibles par rapport à la méthode AOA, en particulier en ce qui concerne la localisation de signaux non modulés ou à bande étroite, des exigences généralement plus importantes concernant les liaisons de raccordement pour les données, et le fait qu'au moins deux récepteurs soient nécessaires pour obtenir une ligne de position et qu'au moins trois récepteurs soient nécessaires pour la localisation en 2-D. En matière de contrôle des nouveaux signaux, la tendance est à l'augmentation des largeurs de bande des signaux et à la diminution des densités spectrales de puissance. L'utilisation de technologies de géolocalisation complémentaires telles que la technologie TDOA permet d'améliorer la probabilité de détection et de localisation des nouveaux signaux dans de nombreux environnements. Avec des systèmes hybrides AOA/TDOA, certains points faibles de chacune des techniques pourront être neutralisés.

5 Références

- [1] BROUMANDAN, ALI *et al.* [2008] *Practical Results of Hybrid AOA/TDOA Geolocation Estimation in CDMA Wireless Networks*. Calgary: s.n., 2008. IEEE 68th Vehicular Technology Conference. 978-1-4244-1722-3.
 - [2] KRIZMAN, KEVIN J., BIEDKA, THOMAS E. and RAPPAPORT, THEODORE S. [1997] *Wireless Position Location: Fundamentals, Implementation Strategies, and Sources of Error*. s.l.: IEEE, 1997. Vehicular Technology Conference. Vol. 2, p. 919-923.
 - [3] SCHWOLEN-BACKES, ANDREAS. [2010] *A comparison of radiolocation using DOA respective TDOA*. Hamburg: Plath GmbH.
 - [4] PATWARI, NEAL *et al.* [July 2005] Locating the nodes: Cooperative localization in wireless sensor networks. *IEEE Signal Processing Magazine*. p. 54-69.
 - [5] STILP, LOUIS A. [1997] TDOA technology for locating narrowband cellular signals: Cellphone location involves several practical and technical considerations. Time difference-of-arrival (TDOA) technology provides accuracy for locating analog cellphones in urban environments. *Urgent Communications*. [Online] 4 1.
http://mrtmag.com/mag/radio_tdoa_technology_locating/index.html.
 - [6] TORRIERI, DON J. [1984] Statistical Theory of Passive Location Systems. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. Vols. AES-20, 2.
 - [7] AGILENT TECHNOLOGIES [2009] *Techniques and Trends in Signal Monitoring, Frequency Management, and Geolocation of Wireless Emitters*. Application Note. 5990-3861EN.
-