**السلسلة SM**

**إدارة الطيف**

**مقارنة بين أسلوب الفارق الزمني في الورود وأسلوب زاوية الورود في تحديد   
الموقع الجغرافي لمصدر الإشارة**

**التقـرير ITU-R  SM.2211  
(2011/06)**

**تمهيـد**

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

**سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)**

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU‑T/ITU‑R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en> حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

|  |  |
| --- | --- |
| **سلاسل تقارير قطاع الاتصالات الراديوية**  (يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REP/en>) | |
| **السلسلة** | **العنـوان** |
| **BO** البث الساتلي | |
| **BR** التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية | |
| **BS** الخدمة الإذاعية (الصوتية) | |
| **BT** الخدمة الإذاعية (التلفزيونية) | |
| **F** الخدمة الثابتة | |
| **M** الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة | |
| **P** انتشار الموجات الراديوية | |
| **RA** علم الفلك الراديوي | |
| **RS** أنظمة الاستشعار عن بعد | |
| **S** الخدمة الثابتة الساتلية | |
| **SA** التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية | |
| **SF** تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة | |
| **SM إدارة الطيف** | |

|  |
| --- |
| ***ملاحظة****: وافقت لجنة الدراسات على النسخة الإنكليزية لهذا التقرير الصادر عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.* |

*النشر الإلكترون‍ي*جنيف، 2011

© ITU 2011

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التقـرير ITU-R  SM.2211

مقارنة بين أسلوب الفارق الزمني في الورود وأسلوب زاوية الورود  
في تحديد الموقع الجغرافي لمصدر الإشارة

(2011)

جدول المحتويات

الصفحة

[1 مقدمة 1](#_Toc307928622)

[2 لمحة عامة عن تكنولوجيا الفارق الزمني في الورود (TDOA) 1](#_Toc307928623)

[3 نقاط القوة والضعف في أسلوب الفارق الزمني في الورود (TDOA) بالمقارنة مع أسلوب زاوية الورود (AOA) التقليدي 2](#_Toc307928624)

[4 الخلاصة 6](#_Toc307928625)

[5 المراجع 7](#_Toc307928626)

# 1 مقدمة

يقارن هذا التقرير نقاط القوة والضعف لأسلوب الفارق الزمني في الورود (TDOA) وأسلوب زاوية الورود (AOA) في تحديد الموقع الجغرافي لمصدر الإشارة. وفي حين أن هذا التقرير يركز على أسلوب الفارق الزمني في الورود، تجدر الإشارة إلى وجود تقنيات أخرى لتحديد الموقع الجغرافي[[1]](#footnote-1). ويحدد أسلوب زاوية الورود زاوية ورود موجة عند نقطة قياس. وقد شاع استخدام أساليب زاوية الورود في العديد من تطبيقات تحديد زوايا الاتجاه. ولبعضها مزايا ولكن بعض العيوب أيضاً، فيما يتعلق بمتطلبات الهوائي مثلاً. ومن ناحية أخرى، تحسب أساليب الفارق الزمني في الورود الفارق الزمني في الورود في نقاط قياس متعددة، وتحسب نقطة المصدر استناداً إلى مقارنات التوقيت والموجة. وهي لم تُستخدم على نطاق واسع في مراقبة الطيف، ولكنها أصبحت مفيدة على نحو متزايد نظراً لتوافر القدرة الحاسوبية الرخيصة الثمن والصغيرة الحجم، وتكنولوجيا الاستقبال الراديوي الأكثر تقدماً، والتيسر الجاهز لروابط البيانات، وتوفر إشارة التوقيت الموزعة الدقيقة. وسوف تقدم هذه الورقة لمحة قصيرة عن تكنولوجيا الفارق الزمني في الورود وبعض المقارنة بين نقاط القوة والضعف في هذا الأسلوب قياساً بأساليب زاوية الورود الأكثر التقليدية.

# 2 لمحة عامة عن تكنولوجيا الفارق الزمني في الورود (TDOA)

تقيس تقنية الفارق الزمني في الورود وقت وصول إشارة ذات تردد راديوي في عدة نقاط في الفضاء وتقارن الفارق الزمني بين كل مستقبِل وآخر. ويتمثل النهج التقليدي لتقدير الفارق الزمني في الورود في حساب الارتباط المتبادل لإشارة واردة إلى مستقبلين. أما تقدير الفارق الزمني في الورود فهو التأخير الذي يحقق القيمة القصوى لدالة الارتباط المتبادل. ويمكن من خلال معرفة موقع كل مستقبِل، استنتاج تقدير لموقع مصدر البث شريطة تحقق التزامن بين جميع المستقبلات. ويكون متمم خط التقويم الزاوي (LoB) لنظام زاوية الورود (AOA) خطاً زائدياً بفارق زمني ثابت في الورود يشار إليه كمتساوي التزامن (isochron) أو كخط الموضع (LoP). ويرد بحث أوفى لأساليب الفارق الزمني في الورود في الفصل 2.3.7.4 من إصدار عام 2011 لكتيب الاتحاد الدولي للاتصالات بشأن مراقبة الطيف.

وقد استخدمت أساليب الفارق الزمني في الورود في مهام التحديد الراديوي للموقع في بعض التطبيقات العسكرية، ومؤخراً في بعض التطبيقات المحددة مثل تحديد موقع الهواتف الخلوية المتنقلة للاستجابة لحالات الطوارئ (الحريق والإسعاف، وغيرها). وفي الماضي، كانت العقبة الرئيسية التي تعترض النشر المدني على نطاق أوسع تتمثل في المزامنة المطلوبة للوقت على مستوى النانو ثانية. وإذ ينتشر الإشعاع الكهرمغنطيسي بسرعة cm/ns 30، فإن أي ارتعاش ذا شأن في التوقيت بين المستقبلات سيؤدي مباشرةً إلى تمييع دقة تحديد الموقع. واليوم يوفر ظهور أنظمة الملاحة الساتلية (GPS وGalileo وGLONASS) إحدى هذه الوسائل المتاحة وغير المكلفة للحفاظ على مزامنة الوقت. ونتيجة لذلك، تتوفر هذه الأيام أنظمة قائمة على الفارق الزمني في الورود (TDOA) من منافذ بيع عدة في بلدان مختلفة حول العالم.

# 3 نقاط القوة والضعف في أسلوب الفارق الزمني في الورود (TDOA) بالمقارنة مع أسلوب زاوية الورود (AOA) التقليدي

لتحسين فهم أسلوب الفارق الزمني في الورود، نقدم دراسة استقصائية قصيرة لنقاط القوة والضعف فيه بالمقارنة مع أسلوب زاوية الورود. وتجدر الإشارة إلى أن الأسلوبين هما من التقنيات المكملة لتحديد الموقع الجغرافي. ونظام تحديد الموقع الجغرافي الذي يجمع بينهما قد يتفوق بأدائه على كل منهما بمفرده [1]. كما أن وجود أسلوب بديل ومؤكد لتحديد الموقع الجغرافي قد يكون حاسماً بالنسبة إلى إجراءات الإنفاذ في الطيف.

ولتبسيط البحث، نفترض أن نظام الفارق الزمني في الورود يستخدم الكشف القائم على الارتباط المتبادل، وأن مستقبلات القياس ترحّل العينات المأخوذة من الإشارة إلى مخدّم مركزي لمعالجة الفارق الزمني في الورود. وفي معظم تطبيقات مراقبة الطيف، سيحبَّذ هذا الأسلوب لأدائه في تحديد الموقع ومرونته. وإمعاناً في تبسيط البحث، نقارن نظام الفارق الزمني في الورود مع نظام زاوية الورود ذي مقياس التداخل الارتباطي (CI). والقياس الارتباطي للتداخل هو من تقنيات زاوية الورود المنفذة على نطاق واسع في المراقبة الراديوية الحديثة. ويرد تعريف مقياس التداخل الارتباطي وبحثه في الفصل 5.2.2.7.4 من إصدار عام 2011 لكتيب الاتحاد الدولي للاتصالات بشأن مراقبة الطيف.

(**الملاحظة 1** - تشير الإحالات إلى "الفصل" في الجدولين 1‑3 و2‑3 إلى كتيب الاتحاد الدولي للاتصالات، إصدار عام 2011. أما الأرقام الواردة بين قوسين في الجدولين فهي تشير إلى المراجع المدرجة في الفقرة 5).

الجـدول 1-3

نقاط القوة في أسلوب الفارق الزمني في الورود (TDOA)

|  |  |
| --- | --- |
| **متطلبات أبسط من الهوائي** | الهوائي منخفض الكلفة والتعقيد، ويمكن أن يكون صغيراً في مقاسه.  ويمكن أن تستخدم مستقبلات TDOA هوائياً واحداً بسيطاً (كأحادي القطب أو ثنائي القطب). وخلافاً لأنظمة AOA، لا يتطلب الهوائي درجة عالية من التفاوتات الميكانيكية والدقة الكهربائية، ولا يتطلب اختباراً تشغيلياً وقياساً من أجل المعايرة. ومن الفوائد الإضافية، إمكانية تصغير مقاس الهوائي بحيث لا يلفت النظر. وهذا أمر مهم عند نشر أنظمة مراقبة في أماكن تاريخية أو معمارية مقيدة أو عند التفاوض على اتفاقات بشأن أماكن نصب الهوائيات مع أطراف ثالثة. |
| **متطلبات أبسط من حيث أماكن التركيب والمعايرة** | متطلبات أماكن التركيب أقل تقييداً منها في أنظمة AOA وتتطلب قدراً قليلاً أو حتى معدوماً من المعايرة.  وهذا يسمح بمزيد من المرونة في اختيار أماكن TDOA. ونتيجة لذلك، يكون نشر منشآت TDOA أسرع. وفي المنشآت في المناطق الحضرية، يمكن وضع مستقبلات TDOA إضافية للتغلب على آثار تظليل الهياكل الشاهقة.  وفي المقابل، يجب اختيار أماكن AOA للإقلال إلى أدنى حد من تشوه صدر الموجة جراء معاودة الانبثاق من العوائق المحلية والانعكاسات عن الأرض والتغيرات في إيصالية الأرض. ويجب معايرة بعض صفائف هوائيات AOA بعد تركيبها في أماكنها للإقلال إلى أدنى حد من الأخطاء المرتبطة بالتردد والاتجاه. وتعد معايرة صفيفة الهوائيات من أهم القضايا التي تحد من الأداء في أنظمة AOA، ويرد بحث قضايا تحديد أماكن تركيب AOA بمزيد من التفصيل في الفصلين 2.1.3.2.7.4 و3.1.6.2. |

الجـدول 1-3 (*تابع*)

|  |  |
| --- | --- |
| **الإشارات عريضة النطاق التي تنخفض فيها نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR)، والإشارات قصيرة الأمد** | يكون أداء TDOA جيداً للإشارات الجديدة والناشئة ذات التشكيلات المعقدة وعروض النطاق الواسعة والآماد القصيرة.  ويكون أداء AOA جيداً عادةً لإشارات النطاق الضيق، ولكن يمكن تطبيق أساليب AOA متقدمة لتحديد موقع مصدر أي إشارات بما فيها تلك ذات النطاق العريض والمعقدة وقصيرة الأمد.  وإذ يعتمد أداء TDOA كثيراً على عرض نطاق الإشارة. فإن أداء  AOA مستقل تقريباً عن عرض نطاق الإشارة، عندما يشابه تباعد قناة تحويل فورييه السريع (FFT) عرض نطاق الإشارة. ويتحسن أداء TDOA عموماً مع تزايد عرض نطاق الإشارة.  ويتحسن أداء أسلوبي TDOA وAOA كليهما في الإشارات التي تعلو فيها نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) وتطول فيها أزمنة التكامل. ويتيح كسب المعالجة من الارتباط لتقنيات TDOA أن تكشف الإشارات التي تنخفض فيها نسبة الإشارة إلى الضوضاء (وحتى تلك التي تكون هذه النسبة سلبية فيها)، وأن تحدد موقع مصدرها. وبالإضافة إلى ذلك، يتيح كسب المعالجة من الارتباط مشاركة مستقبلات TDOA إضافية في تحديد الموقع الجغرافي للمصدر رغم الانخفاض الشديد أو السلبية لنسبة الإشارة إلى الضوضاء فيها. بينما تعجز تقنيات AOA الأساسية عن كشف وتحديد موقع مصدر الإشارات ذات النسبة السلبية للإشارة إلى الضوضاء، وقد تعاني من مشاكل في تحديد موقع مصدر الإشارات التي تنخفض فيها نسبة الإشارة إلى الضوضاء. ويمكن لتقنيات AOA المتقدمة معالجة هذه الإشارات. ومن هذه التقنيات، تقنيات الاستبانة المتقدمة أو تقنيات AOA الارتباطية بمساعدة البيانات (تحديد زاوية الاتجاه المرجعية).  ورغم أن تقنيات AOA الأساسية لا تستفيد من كسب المعالجة جراء ارتباط الإشارة، فهي تستفيد إلى حد ما من كسب النظام المتأتي من استخدام عناصر هوائيات وقنوات استقبال متعددة.  ويتطلب تحديد الموقع الجغرافي لمصدر الإشارات قصيرة الأمد مستقبلات منسقة ومتزامنة في الوقت بحدود جزء من مقلوب عرض نطاق الإشارة. وتعد هذه القدرة أساسية لأنظمة TDOA. وبالإضافة إلى ذلك ، يمكن لهذه الأنظمة تحديد الموقع الجغرافي باستخدام قياسات قصيرة الأمد جداً على إشارات أطول أمداً. وإذا ما تم تقويم عناصر هوائي AOA، سيُختصر أمد التكامل المطلوب. |
| **تعقيد النظام** | مستقبِل نظام TDOA وهوائيه أقل تعقيداً من صفيف الهوائيات والمستقبِل مزدوج أو متعدد القنوات في نظام AOA النمطي.  ويتطلب مستقبِل نظام TDOA قناة واحدة على الأقل تعمل بالترددات الراديوية في الوقت الفعلي لتحقيق المعالجة غير المتقطعة وأعلى احتمال لالتقاط الإشارة(1). وقد يؤدي ذلك إلى مستقبِل أقل تعقيداً في بيئات راديوية بسيطة. وتدعو الضرورة لتقنيات معالجة متقدمة في نظام TDOA عند استخدام مستقبل بسيط في بيئات راديوية معقدة. وتتوفر بسهولة أساليب فعالة لمزامنة الوقت (GPS) وسطوح بينية لربط البيانات. |
| **نبذ الضوضاء والتداخل غير المرتبطين** | يمكن لمعالجة الارتباط المستخدمة في نظام TDOA أن تكبت إشارات الضوضاء والتداخل المتزامنة في القناة المشتركة وغير المرتبطة بين المواقع. وتمكن هذه الخاصية النظام من تحديد الموقع الجغرافي لمصدر الإشارات التي تنخفض فيها نسبة الإشارة إلى التداخل ونسبة الإشارة إلى الضوضاء (SINR).  وتجرى قياسات الوقت المنسقة على جميع المستقبلات. وتُكبت الإشارات غير المشتركة بين مستقبلين أو أكثر. وبالمعالجة المتقدمة، يمكن لنظام TDOA أن يحدد الموقع الجغرافي بواسطة الارتباطات فقط مع أفضل رصد لإشارة البث. ويرد، في الفصل 5.5.8.4، تطبيق ذو صلة لتقنيات الارتباط المتبادل في تحليل التداخل.  ويمكن لأنظمة AOA المتقدمة التخفيف من آثار التداخل غير المرتبط والمتزامن في القناة المشتركة من خلال استخدام الارتباط مع إشارات مرجعية. ويمكن لتقنيات المعالجة المتقدمة الأخرى مثل MUSIC أن تكون منيعة للضوضاء والتداخل غير المرتبطين. بيد أن هذه التقنيات مكلفة حسابياً ولا تستخدم على نطاق واسع لمراقبة الطيف. |
| **تحديد الموقع الجغرافي في الأماكن المغلقة وفي الملعب الرياضي وفي الحرم الجامعي** | يمكن استخدام TDOA بتقنيات المعالجة المتقدمة لتحديد الموقع الجغرافي لإشارات ذات عرض النطاق الرحب داخل المباني وخارجها على مسافة قصيرة (100 > متر في جانب واحد) وفي البيئات المكتظة بالمسيرات المتعددة [4].  ولا تقدم أنظمة AOA عادة أداء جيداً في ظل هذه الظروف. ويمكن التغلب على التحدي المتمثل في مزامنة توقيت دقيق في الأماكن المغلقة بأجهزة تبديل إيثرنت متوافقة مع معيار IEEE‑1588 ومستقبلات TDOA. وتجدر الإشارة إلى أن تقنية تحديد الموقع الجغرافي البديلة التي تستخدم شدة الإشارة المستقبَلة (RSS) تتفوق عموماً على TDOA في بيئات قصيرة المدى تكتظ بالمسيرات المتعددة، وخاصة بالنسبة إلى الإشارات ضيقة النطاق. |

الجـدول 1-3 (*تتمة*)

|  |  |
| --- | --- |
| **تخفيف التداخل المتماسك في القناة المشتركة (مسيرات متعددة) في ظروف معينة** | إن المسيرات المتعددة التي تُعرف أيضاً بالتداخل المتماسك في القناة المشتركة تتسبب باختلال أسلوبي AOA وTDOA. ويتأثر كل أسلوب على نحو مختلف بموضع جهاز الاستشعار بالنسبة إلى انعكاسات المسيرات المتعددة.  وإذ يتوفر عرض نطاق كاف للإشارة، يصبح أسلوب TDOA أقل حساسية لتشوه صدر الموجة من العوائق المحلية (المسيرات المتعددة المحلية). وقد يتطلب أسلوب TDOA معالجة متقدمة للإشارة لتبديد الغموض الذي يكتنف تحديد المواقع والناجم عن العوائق البعيدة (المسيرات المتعددة البعيدة). ويمكن للمعالجة المتقدمة أن تقدم اصطفاءً إضافياً لأزواج الارتباط المستخدمة في تحديد الموقع الجغرافي بأسلوب TDOA لتحسين النتائج في الظروف التي تكتظ فيها المسيرات المتعددة. وبالمعالجة المتقدمة بأسلوب TDOA، يمكن كبت ما يُحل زمنياً من المسيرات المتعددة بين المواقع [5]، مما يؤدي إلى جودة الأداء في بيئات حضرية كثيفة.(2) |
| **اعتبارات هندسية** | يكون أسلوبا TDOA وAOA كلاهما على أعلى درجة من الدقة عندما يتركز مصدر الإشارة داخل محيط أماكن القياس.  وتتحدد دقة تحديد الموقع الجغرافي في TDOA بواسطة التمييع الهندسي للدقة (GDOP)، وجودة تزامن الوقت، وجودة تقدير TDOA. ولا صلة مباشرة للارتياب في تحديد الموقع مع مسافة خط القاعدة بين مستقبلات [6] TDOA. فذلك يمكن أن يكون مفيداً في ظروف معينة.  وفي المقابل، فإن دقة أساليب AOA على صلة مباشرة بالمسافة بين المصدر وكل مستقبِل AOA.ويكون الارتياب في موضع AOA دالةً للارتياب في زاوية التقويم الزاوي والمسافة بين المستقبِل والموضع المقدر. وعندما يكون المصدر بعيداً خارج محيط القياس، يقرّب أسلوب TDOAخط الموضع على نحو يماثل خط التقويم الزاوي في AOA. وفي هذه الحالة، يتنامى الارتياب في الموقع والتقويم الزاوي مع بعد المسافة في كلا الأسلوبين. |
| **مناسب تماماً للاستخدام في شبكات أجهزة الاستشعار العاملة بالترددات الراديوية** | وفي أسلوبي TDOA وAOA كليهما، تفضي زيادة المستقبلات إلى نتائج أفضل من خلال ميزة القرب وتحسين الإحصاءات.  وأسلوب TDOA مناسب تماماً لتعدد نشر المستقبلات، نظراً لقلة تعقيده ومقاسه وقدرته وهوائيه الأبسط والمتطلبات المبسطة لتحديد مكان النشر. وإذ تزداد كثافة محطات المراقبة عن بعد، المشار إليها أعلاه بأجهزة الاستشعار العاملة بالترددات الراديوية، يقترب مستقبِل المراقبة من الإشارة التي تسترعي الاهتمام. ويتحسن أداء الكشف وتحديد الموقع الجغرافي جراء الانخفاض الناتج في خسارة المسير التي يشار إليها أحياناً باسم "كسب القرب" [7]. وبالإضافة إلى ذلك، فإن كسب المعالجة من الارتباط في تقنيات TDOA يمكّن مشاركة المزيد من أجهزة الاستشعار في تحديد الموقع الجغرافي رغم الانخفاض الشديد أو السلبية لنسبة الإشارة إلى الضوضاء فيها. |
| **إمكانية إجراء تحليل كامل خارج الخط في مخدّم مركزي** | يمكن لأنظمة TDOA أن تخزن وتصنف قياسات الإشارة المنسقة زمنياً من جميع المستقبلات، بحيث يمكن إجراء تحليل كامل خارج الخط في مخدّم مركزي. ويشمل ذلك التحليل الطيفي لإشارة كل مستقبِل، وإجراء قياسات الارتباط المتبادل وتحديد الموقع الجغرافي.  ويمكن لأنظمة AOA أيضاً أن تخزن وتصنف بعض قياسات الإشارة(مثل نتائج التقويم الزاوي والثقة في التقويم الزاوي) في مخدم مركزي. وهذه القياسات منسقة زمنياً بالقدر الذي يمكن فيه تحقيق التزامن في الوقت في نظام AOA. وليس من المعتاد إجراء قياسات من قبيل التحليل الطيفي والارتباطات المتبادلة لأنها تقتضي متطلبات مماثلة لمتطلبات أنظمة TDOA من حيث معدل بيانات وصلة الربط. |

(1) تستخدم أنظمة قياس التداخل الارتباطية تعدد الإرسال بتقسيم زمني (TDM) للحد من عدد من المستقبلات المطلوبة. وتتطلب هذه الأنظمة مستقبلين إلى ثلاثة مستقبلات يجري تبديلها بين 5 أو 7 هوائيات أو أكثر. وهذه الأنظمة أقل تعقيداً من أنظمة تحديد زاوية الاتجاه المتوازية تماماً، لكنها تتطلب أمداً أطول للإشارة بالحد الدنى من أجل تحديد الموقع.

(2) ذُكر أن أسلوب TDOA يحدد الموقع الجغرافي لمصدر إشارات هاتف خليوي AMPS ضيق النطاق (kHz 30) في بيئات حضرية كثيفة بما يقل عن بضع مئات من الأقدام كقيمة فعالة (5).

الجـدول 2-3

نقاط الضعف في أسلوب الفارق الزمني في الورود (TDOA)

|  |  |
| --- | --- |
| **إشارات ضيقة النطاق** | عند الاستعانة بتقنيات TDOA، قد يصعب أو يستحيل تحديد مصدر الإشارات المتغيرة ببطء التي تشمل الموجات الحاملة المستمرة (CW) غير المشكّلة والإشارات ضيقة النطاق.  ويعتمد أداء TDOA إلى حد كبير على عرض نطاق الإشارة ويتردى الأداء بتقلص عرض نطاق الإشارة. وكذلك، فإن تعدد المسيرات يحتمل أن يشكل مشكلة أكبر للإشارات ضيقة النطاق عندما تكون الخصائص الزمنية للإشارة عريضة بالنسبة إلى امتداد التأخر. ففي ظل هذه الظروف، يغدو تمييز تشوه شكل النبضة جراء تعدد المسيرات أكثر صعوبة مما يضيف خطأ إلى تقدير فارق الوقت. وسيختلف الحد الأدنى المطلوب من عرض نطاق الإشارة للحصول على أداء مقبول تبعاً للتطبيق. فقد ذُكر مثلاً أن أسلوب TDOA يحدد الموقع الجغرافي لمصدر إشارات هاتف خليوي AMPS ضيق النطاق (kHz 30) في بيئات حضرية كثيفة بما يقل عن بضع مئات من الأقدام كقيمة فعالة [5]. ومن شأن ارتفاع نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) وامتداد أوقات الرصد لفترة أطول أن يحسن تحديد الموقع بأسلوبTDOA لبعض الإشارات ضيقة النطاق.  وتؤدى أنظمة AOA أداءً جيداً في الإشارات ضيقة النطاق وغير المشكّلة وكذلك في الإشارات عريضة النطاق. |
| **تعذر التوجيه الذاتي والانزواء بواسطة محطة واحدة** | يحتاج أسلوبا التوجيه الذاتي والانزواء إلى محطتي TDOA كحد أدنى، تكون إحداهما على الأقل متنقلة، وإلى وصلة بيانات(1).  فيما يمكن تحقيق التوجيه الذاتي والانزواء بأساليب AOA لتحديد الموقع الجغرافي بواسطة محطة محمولة واحدة فقط. ويسمح ذلك بتحديد الموقع الجغرافي في البيئات التي لا تكون فيها مستقبلات TDOA المربوطة شبكياً عملية أو فعالة من حيث التكلفة. ويرد وصف هذه الأساليب في الفصل 3.3.7.4. |
| **وصلات اتصالات ذات معدل بيانات أعلى** | إن أنظمة TDOA التي ترسل عينات من أشكال الموجة من مستقبلات إلى مخدم مركزي تتطلب وصلات اتصالات ذات معدل بيانات عال. أما احتياجات الربط الشبكي للمستقبل فهي غير متناظرة مع عرض نطاق رفع البيانات الذي يفوق عرض نطاق تحميلها. ويمكن للمعالجة المتقدمة، بما فيها ضغط الإشارة، أن تقلل البيانات المرسلة. وتكون المتطلبات من معدل البيانات أكثر تواضعاً لأنظمة TDOA التي تقيم نظام TOA في المستقبِل. ويرد بحث أوفى لمتطلبات وصلة بيانات TDOA في الفصل 4.2.3.7.4 بعنوان "اعتبارات الشبكة".  وتتطلب أنظمة AOA معدلات بيانات أدنى لأن بعض خصائص الإشارة مثل زاوية التقويم الزاوي والتردد والوقت تُنقل إلى موقع مركزي. |
| **تحسس بمصادر فك ارتباط الإشارة** | يجب أن يحرص نظام TDOA على التخفيف من جميع المصادر المحتملة لإشارة فك الارتباط بين المستقبلات. وهي تشمل التخالفات النسبية في التردد المرجعي بين المستقبلات والتخالفات النسبية في تردد الإشارة (انزياح دوبلر) بفعل المصادر المتحركة أو البيئة المحلية. وسيُحد الزمن الأقصى للتكامل المتماسك ليس بأمد الإشارة فحسب، بل أيضاً باستقرار المذبذب المرجعي للمستقبل وبديناميات القناة اللاسلكية.  وستشمل أنظمة TDOA عالية الجودة عرى تتبُّع للحفاظ على تماسك التردد والوقت. ويعد التصحيح الدوبلري التلقائي ضرورياً للتعويض عن آثار فك الارتباط من مصادر انزياح دوبلر.  ولا تتحسس أنظمة AOA الأساسية وبعض أنظمة AOA المتقدمة للاستبانة (باستخدام MUSIC) بإشارة فك الارتباط بين أماكن القياس. فيما تتحسس أنظمة AOA المتقدمة، التي ترتبط مع إشارات مرجعية، بإشارة فك الارتباط. |
| **مزامنة أدق للوقت** | يتطلب أسلوب TDOA جودة مزامنة عالية للوقت بالنسبة إلى مقلوب عرض نطاق الإشارة التي تسترعي الاهتمام. ويمكن تحقيق مزامنة لوقت المستقبِل بأفضل من ns 20 بالتكنولوجيا الحالية (مثل GPS).  أما أنظمة AOA فهي أقل تطلباً في متطلبات مزامنة الوقت. إذ يمكن أن تكون هذه المتطلبات فضفاضة فتبلغ بضع ثوان بين المستقبلات. وفي الواقع العملي، تتطلب بعض الإشارات في دائرة الاهتمام، كالإشارات قصيرة الأمد أو إشارات القفز، مستويات أعلى من مزامنة محطة AOA. |
| **الإشارات الحاوية لعناصر دورية** | يُستبعد أن تنتج خوارزميات TDOA، في ظل بعض الظروف، إجابات غير صحيحة للإشارات التي تحتوي على عناصر دورية. ومن أمثلة هذه الإشارات، متواليات البيانات المتكررة أو نبضات التزامن. ويرد وصف هذه المشكلة وكذلك وسيلة للتقليل منها إلى أدنى حد في الفصل 3.2.3.7.4 بعنوان "العوامل المؤثرة على الدقة".  وبما أن أنظمة AOA الأساسية لا تؤدي مهام الترابط المتبادل للإشارة، فهي ليست معرضة لهذه المشكلة. |

الجـدول 2-3 (*تتمة*)

|  |  |
| --- | --- |
| **سرعة الحساب في تحديد الموقع الجغرافي** | تحال عادة عينات الإشارات إلى مخدّم تحديد الموقع الجغرافي من أجل الحساب. ويشكل ذلك أعباءً على سعة الربط الشبكي وسرعته. ويمكن لوصلة بطيئة أن تؤخر كثيراً الوقت اللازم لحساب تحديد الموقع الجغرافي.  ويمكن أن تبلغ معدلات تحديد الموقع الجغرافي النمطية موضعاً مستخرجاً واحداً في الثانية بأسلوب TDOA مقابل 100 موضع مستخرج في الثانية بأسلوب AOA. ويمكن لتوسيع عرض نطاق وصلات بيانات TDOA أن يحسن سرعة تحديد الموقع الجغرافي. ويمكن أيضاً لاستخدام أوقات رصد أقصر و/أو تقنيات ضغط متقدمة أن يقلل من متطلبات عرض نطاق البيانات. وبمجرد إرسال القياسات لمخدم مركزي، تصبح إعادة حساب عمليات تحديد الموقع الجغرافي أسرع بشكل ملحوظ نظراً لأنها تعمل على مخزون البيانات المحلية. |
| **غير مناسب تماماً لتحديد الموقع الجغرافي للعديد من المرسلات في آن واحد** | تدعم بعض أنظمة AOA تحديد الموقع الجغرافي في آن واحد للعديد من الإشارات المنفصلة عن بعضها البعض ترددياً. وغالباً ما يشار إلى ذلك على أنه التحديد واسع النطاق لزاوية الاتجاه. ولئن كانت هذه القدرة ممكنة فهي ليست مهيأة لأسلوب TDOA، ويعود ذلك أساساً إلى متطلبات أعلى بكثير لإرسال البيانات.  ويمكن خفض إرسال البيانات بأسلوب TDOA في حالة البيانات المساعدة من خلال أداء مزامنة الإشارة (إنشاء TOA) في كل مستقبل. |
| **تعذر تحديد موقع مكان واحد (SSL)** | يلزم جهازا استشعار بالحد الأدنى لتوليد خط موضع، و3 أجهزة استشعار بالحد الأدنى للتحديد الجغرافي ثنائي الأبعاد للموقع و4 أجهزة استشعار بالحد الأدنى للتحديد الجغرافي ثلاثي الأبعاد للموقع.  ويمكن استخدام أسلوب AOA لتحديد موقع مكان واحد. |
| **اعتبارات هندسية** | يكون أسلوبا TDOA وAOA كلاهما على أعلى درجة من الدقة (أفضل تمييع هندسي للدقة ((GDOP) عندما يتركز مصدر الإشارة داخل محيط أماكن القياس.  وخارج المنطقة المحددة ضمن أماكن القياس، يكون تناقص دقة تحديد الموقع بأسلوب TDOA أسرع منه بأسلوب AOA.  وعندما يكون المصدر بعيداً خارج محيط القياس، يقرّب أسلوب TDOA خط الموضع على نحو يماثل خط التقويم الزاوي في AOA. وفي هذه الحالة، يتنامى الارتياب بشأن الموقع والتقويم الزاوي مع بعد المسافة في كلا الأسلوبين. |
| **تحليل خارج الخط بقياسات مكان واحد** | يمكن بأسلوب AOA تحليل خط التقويم الزاوي خارج الخط باستخدام قياسات من مكان واحد فقط. ويتعذر إجراء تحليلات خارج الخط لخطوط الموضع بأسلوب TDOA باستخدام قياسات من مكان واحد. |

(1) يمكن استخدام نُهُج شدة الإشارة المستقبَلة (RSS) للتوجيه الذاتي والانزواء بواسطة محطة محمولة واحدة فقط.

# 4 الخلاصة

الفارق الزمني في الورود (TDOA) هو تكنولوجيا تكميلية لتحديد الموقع الجغرافي لا تستخدم على نطاق واسع في المراقبة الراديوية. وقد أصبح أسلوب الفارق الزمني في الورود مفيداً على نحو متزايد نظراً لتوافر قدرة الحوسبة المدمجة الرخيصة وتكنولوجيا الاستقبال الراديوي الأكثر تقدماً وتوصيلية البيانات في كل مكان والمزامنة الدقيقة للتوقيت الموزع. وهو يتمتع بنقاط قوة معينة بالنسبة إلى أسلوب AOA، وخاصة في كشف الإشارات الحديثة عريضة النطاق وتحديد الموقع الجغرافي لمصدرها، ومتطلباته الأبسط من الهوائي، وقدرته على معالجة الانتشار قريب المدى عبر مسيرات متعددة في البيئات الحضرية، وملاءمته لنشر شبكات الاستشعار منخفضة التكلفة. كما تشوبه نقاط ضعف بالنسبة إلى أسلوب AOA، وخصوصاً في تحديد مصدر الإشارات ضيقة النطاق غير المشكَّلة، وفي المستلزمات الأكثر تطلباً لوصلة ربط البيانات. وهو يتطلب مستقبلين على الأقل للحصول على معلومات خط الموضع، و3 مستقبلات بالحد الأدنى للتحديد ثنائي الأبعاد للموقع. مراقبة الإشارة الحديثة اتجاهاً نحو تواصل تزايد عروض نطاق الإشارة وتناقص كثافات القدرة الطيفية. ويمكن استخدام تكنولوجيات تحديد الموقع الجغرافي التكميلية مثل الفارق الزمني في الورود لتحسين احتمال كشف الإشارات الحديثة وتحديد موقع مصدرها في بيئات كثيرة. ويمكن لأنظمة AOA/TDOA الهجينة أن تحيّد بعض نقاط الضعف في كل أسلوب بمفرده.

# 5 المراجع

[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.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. يستخدم أسلوب شدة الإشارة المستقبَلة (RSS) نسبة القدرة المقيسة لإشارة في عدة نقاط قياس لحساب نقطة المصدر. وكثيراً ما تُستخدم شدة الإشارة المستقبَلة لتحديد الموقع الجغرافي في الأماكن المغلقة. ويستخدم أسلوب الفارق الترددي في الورود (FDOA) الانزياح الدوبلري لمصدر متحرك (و/أو مستقبلات متعددة) لحساب نقطة المصدر. وغالباً ما يُستخدم أسلوب الفارق الترددي في الورود بالاقتران مع أسلوب الفارق الزمني في الورود للتطبيقات المحمولة جواً. [↑](#footnote-ref-1)