التقريـــر ITU-R M.2084*

الرصد الساتلي لرسائل نظام تحديد الهوية الأوتوماتي

(2006)

1 مقدمة

كانت الجمعية الدولية لسلطات الخدمات البحرية للملاحة والفنارات (IALA) أول من اقترح في أوائل تسعينات القرن الماضي وضع نظام عالمي محمول على متن السفن لتحسين السلامة البحرية وكفاءة الملاحة وللمساعدة في حماية البيئة البحرية. وفي أعقاب هذا الاقتراح، اعتمدت المنظمة البحرية الدولية (IMO) والاتحاد الدولي للاتصالات واللجنة الدولية الكهروتقنية (IEC) نظاماً جديداً للملاحة يُعرف الآن باسم نظام تحديد الهوية الأوتوماتي (AIS) للمساعدة في تحقيق هذه الأهداف. ويتمثل الهدف الرئيسي لهذا النظام في تيسير تبادل البيانات الملاحية بصورة تتسم بالكفاءة فيما بين السفن وبين السفن والمحطات الشاطئية لتحسين السلامة الملاحية بدرجة كبيرة وتعزيز الرقابة والرصد المحسّنين للأحداث البحرية. وتتضمن التوصية ITU-R M.1371 وصفاً تفصيلياً للخصائص التقنية لنظام تحديد الهوية الأوتوماتي الحالي باستخدام تقنيات النفاذ المتعدد بتقسيم زمني (TDMA) في النطاق المخصص للخدمات المتنقلة البحرية على الموجات المترية (VHF).

وكما ورد في هذه التوصية، صُمِّم نظام تحديد الهوية الأوتوماتي (AIS) للعمل بصورة مستقلة وأتوماتية لتبادل الرسائل القصيرة فيما بين السفن والمحطات الساحلية والخدمات الملاحية في مدى يتراوح بين 20 و30 ميلاً بحرياً (27 إلى 56 كيلومتراً) وذلك أساساً باستخدام شكل من التنظيم الذاتي لنظام النفاذ المتعدد بتقسيم زمني. وتشمل الرسائل البيانات مثل هوية السفن ومواقعها ومساراتها وسرعتها.

ووفقاً للمتطلبات التي حددتها الاتفاقية الدولية لسلامة الأرواح في البحار (SOLAS)، فإن تركيب واستخدام نظام تحديد الهوية الأوتوماتي أمر ملزم لجميع السفن التي تبلغ حمولتها الإجمالية 300 طن أو أكثر من ذلك العاملة في الرحلات الدولية. وسوف يتعين على جميع السفن التي تبلغ حمولتها الإجمالية 500 طن أو أكثر العاملة في الرحلات الوطنية أن تجهّز أيضاً في عام 2008 بنظام تحديد الهوية الأوتوماتي. وتعين تجهيزات نظام تحديد الهوية الأوتوماتي المصممة لهذه المتطلّبات المتعلقة بالحمل الإلزامي بأنها وحدات الصنف A. ويجري إعداد نسخة أقل قدرة متوخّاة للحمولة الطوعية تسمى الصنف B. وقد أثبت هذا النظام (AIS) منذ إدخاله، نجاحه الكبير في تلبية الأهداف الأصلية التي حددتها الجمعية الدولية لسلطات الخدمات البحرية للملاحة والمنارات.

وقد نشأت مؤخراً حاجة إلى قدرات لرصد وتتبّع السفن على مسافات من الخطوط الساحلية أكبر من تلك التي يمكن تحقيقها من خلال الاتصالات العادية بالموجات المترية للأرض (VHF). وتشير متطلبات هذه التطبيقات بعيدة المدى مثل تحسين مناولة الشحنات الخطرة، وتحسين الأمن، والتصدي للعمليات غير القانونية إلى الحاجة إلى رصد السفن التي تقترب على مسافات تبلغ 200 ميل بحري (370 كيلومتراً) من الشاطئ وما تجاوز ذلك.

ويقدم هذا التقرير الرصد الساتلي لنظام تحديد الهوية الأوتوماتي باعتباره من الوسائل التي يمكن استخدامها لتحقيق عملية رصد السفن بعيدة المدى. ويتناول التقرير الإمكانيات التقنية لهذا النظام، ويفحص القدرات الساتلية في ظل مختلف الظروف ويدرس الطرائق المحتملة لتحسين القدرات الساتلية. وقد وُضعت الأجزاء الباقية من هذه الوثيقة في ثمانية أقسام فرعية على النحو التالي: الخصائص التشغيلية والتقنية لنظام تحديد الهوية الأوتوماتي، وعرض عام للرصد الساتلي لهذا النظام، وتحليل

---

* ينبغي أن يُرفع هذا التقرير إلى عناية المنظمة البحرية الدولية والجمعية الدولية لسلطات الخدمات البحرية للملاحة والفنارات واللجنة الدولية للراديو البحري.

موازنة الوصلات، وتحليل التداخل فيما بين الأنظمة (الصنف A فقط، والصنف A المختلط، والصنف B، وتوزيع السفن غير الموحد)، والتوافق مع الأنظمة المتنقلة الحالية والتقنيات الخاصة بتحسين الأداء والتقاسم، ثم موجز.

2 الخواص التشغيلية والتقنية لنظام تحديد الهوية الأوتوماتي المحمول على متن السفن

بغية المساعدة في وضع وصف وظائفي وفهم لطبيعة رصد نظام تحديد الهوية الأوتوماتي (AIS) ساتلياً، يرد في الفقرات التالية موجز لخصائص هذا النظام التقليدي للأرض على النحو الوارد في التوصية ITU-R M.1371.

ويعمل نظام AIS كنظام اتصالات من سفينة لسفينة ومن سفينة للشاطئ حيث يمكن للسفن المجهزة بهذا النظام أن ترسل بصورة دورية رسائل ثابتة قصيرة وطويلة من خلال النفاذ المتعدد بتقسيم زمني بما في ذلك البيانات مثل الهوية والموقع والمسار والسرعة وغير ذلك من المعلومات الخاصة بالحالة. وتقوم أجهزة الاستقبال ذات الصلة بنظام AIS على متن السفن وفي المحطات الشاطئية برصد هذه المعلومات من جميع السفن القريبة ومن ثم توفير صورة شاملة عن البيئة المحلية لاستكمال خدمات الرادار وغير ذلك من الخدمات الملاحية.

وتستند بنية إشارات النفاذ المتعدد بتقسيم زمني إلى رتل من دقيقة واحدة مقسم إلى 250 2 فترة زمنية تحتل فيها كل رسالة عادة فترة زمنية واحدة. ويتم في الأسلوب العادي، إرسال هذه الرسائل الخاصة بالهوية بصورة دورية بالتناوب على القناتين البحريتين العاملتين بالموجات المترية (VHF) اللتين تم تعيينهما لهذا الغرض. ويتم الحصول على موقع السفينة من جهاز إلكتروني لتحديد المواقع على متن السفينة. ويتم الحصول على توقيت النفاذ المتعدد بتقسيم زمني من جهاز استقبال النظام العالمي للملاحة الجوية الساتلية المثبت في محطة نظام الهوية الأوتوماتي. ويبلغ مجموع قدرة نظام تحديد الهوية الأوتوماتي، بالقناتين، 500 4 رسالة وحيدة الفترة الزمنية/في الدقيقة.

وقد صُمّم نظام AIS حول خطة للنفاذ تسمى النفاذ المتعدد بتقسيم زمني ذاتي التنظيم (TDMA). ويعمل النظام، من خلال هذه التقنية، دون مراقب مركزي لنظام النفاذ المتعدد بتقسيم زمني كما هو الحال في خطط النفاذ المتعدد بتقسيم زمني ثابتة التخصيص. ومن خلال الاستشعار المستمر لإشارات نظام AIS في البيئة المحلية وإعلان فترة إرسالها التالية المعتزمة، يتحقق التنسيق فيما بين جميع السفن المشاركة في البيئة المحلية ويقل التضارب في استخدام الفترة الزمنية المعينة إلى أدنى حد ممكن. كما تستخدم خطط النفاذ الأخرى في إطار النفاذ المتعدد بتقسيم زمني لبعض أنماط الرسائل.

ويتضمن الجدول 1 المعلمات التقنية لقدرة التردد (RF) والبيانات في نظام AIS. وكما يرد في الجدول، فإن طول الرسالة الأساسية يبلغ 256 بتة مع قيام البتات الأربعة والعشرين الأخيرة بدور الدارئ لاستيعاب التأخيرات في الانتشار والتكرار وارتعاش التوقيت والبتات الإضافية نتيجة لحشو البتات. وعادة ما تكون مواقع الـ 20 بتة الأخيرة فارغة. ولم يجرِ تعريف خصائص الهوائي وما يتصل به من معلمات خط الإرسال الذي سيجري تركيبه على السفن المجهزة بنظام AIS في توصية الاتحاد الأساسية إلا أنها أُضيفت هنا لتعريف خصائص النظام AIS بصورة أكثر اكتمالاً. ومن الناحية العملية، فإن هناك نمطين من الهوائيات يشيع استخدامهما وهما ثنائي القطب ½ λ وأحادي القطب المغذى من طرفه و8/5 λ مع كسب يتراوح بين 2 و4,5 dBi. ويفترض باستخدام أرقام متحفظة لهذه الدراسة أن الهوائي الثنائي القطب ½ λ ينطوي على كسب أقصى يبلغ ما يقرب من 2 dBi مع نمط كسب ارتفاع جيب التمام المربع البسيط. ويتباين نمط خط الإرسال وطوله بحسب التركيب. ولأغراض هذه الورقة، تُفترض خسارة قدرها 3 dB لكي تؤخذ في الاعتبار خسائر الكبل وغيره من الخسائر المختلفة المرتبطة بجهاز إرسال السفينة المزوّدة بنظام تحديد الهوية الأوتوماتي. ويتضمن الجدول 2 هيكل بتات رزمة البيانات بالتغيب.

الجدول 1

عرض عام للمعلمات التقنية لنظام AIS المحمول على متن سفينة

معلمات AIS	القيم
الترددات	161,975 و162,025 MHz
عرض نطاق القناة	25 kHz
المنصات	السفن من الصنف A، السفن من الصنف B، المحطات الساحلية والخدمات الملاحية
الطاقة	12,5 واط (الصنف A)؛ 2 واط (الصنف B)
نمط الهوائي[1]	2/1 λ ثنائي
كسب الهوائي[1]	2 dBi نمط ارتفاع رأسي جيب التمام مربع 2 dBi الكسب الأدنى = 10 dBi
خسارة الكبل[1]	3 dB (تقديرية)
حساسية جهاز الاستقبال	– 107 dBm من خطأ رزمة قدره 20% (كحد أدنى)
التشكيل	9 600 بتة GMSK
أسلوب النفاذ المتعدد	TDMA (ذاتية التنظيم) (عشوائي وثابت وإضافي)
طول رتل TDMA	زمن 1 دقيقة؛ 250 2 فترة زمنية
طول فترة TDMA	26,7 ms، 236 بتة (انظر الجدول 2)
أنماط الرسائل	22 نمطاً
طول الرسالة	1 إلى 5 فترات مع فترة واحدة منها من النمط المسيطر
الفترة الفاصلة بين الرسائل الدورية	10 dB في = 20%[2]

(1) المعلمات النمطية غير المعرفة في التوصية ITU-R M.1371

(2) المعلمات الموصفة في IEC 61 993-2

الجدول 2

هيكل بتات رزم البيانات بالتغيّب

زيادة الطاقة	8 بتات	
تتابع التدريب	24 بتة	ضرورية للتزمين
علم البدء	8 بتات	
البيانات	168 بتة	الطول بالتغيب
شفرة الاطناب الدوري	16 بتة	ضرورية لرصد الخطأ
علم النهاية	8 بتات	
دارئ	24 بتة (مواقع العشرين بتة الأخيرة عادة فارغة)	ضرورية لاستيعاب حشو البتة، والانتشار وتأخرات المكرر والارتعاش
المجموع	256 بتة	

ولاستيعاب مختلف الوظائف التي يؤديها نظام تحديد الهوية الأوتوماتي، يجري تعريف 22 نمطاً للرسائل في المعيار، ويمكن تجميع هذه الرسائل في أربع فئات: الدينامية والسكونية والرحلة والسلامة والإدارة والبيانات. وتشكل الرسائل الدينامية التي يتم

إرسالها دورياً أكبر حجم من الحركة في بيئة نظام تحديد الهوية الأوتوماتي. وثمة متغيِّر رئيسي واحد يتمثل في الوتيرة التي ترسل بها مختلف المنصات هذه الرسائل الدورية. ويجري بالنسبة لأنماط عديدة من المنصات تحديد مدى الفواصل بين التبليغ في المعيار بحسب دينامية السفينة مثل السرعة والمسار. ويوجز الجدول 3 الفواصل بين تبليغ الرسائل بالنسبة لمختلف المنصات.

وكما سيتبين في فقرات لاحقة، فإن للفواصل بين تبليغ الرسائل دوراً هاماً في أداء الرصد الساتلي لنظام AIS. وكما يرد في الجدول 3، فإن فواصل التبليغ بالنسبة للسفن من الصنف A تتباين على مدى واسع يتراوح بين كل 2 ثانية إلى كل 3 دقائق بحسب الحالة الدينامية للسفينة. ومن الضروري لتحديد متوسط فواصل الإرسال على المدى الطويل للسفن من الصنف A، توافر تقدير لتوزيع السفن فيما بين مختلف أوضاع الحالة الدينامية. ويتضمن الجدول 4 فئات الحالة وفواصل التبليغ لكل منها وتقديراً لنسبة السفن في كل فئة في أي وقت معين. ويوضع التقدير الشامل لفواصل التبليغ استناداً إلى هذه البيانات.

الجدول 3

فواصل التبليغ لرسائل نظام تحديد الهوية الأوتوماتي AIS

منصة AIS	فواصل التبليغ
معلومات دينامية	161,975 و162,025 MHz
محطة ساحلية	الفترة الفاصلة من 3⅓ إلى 10 ثوان (10 ثوان عادةً)
سفينة من الصنف A	الفترة الفاصلة (نحو 7 ثواني في المتوسط (انظر الجدول 4)
سفينة من الصنف B	الفترة الفاصلة من 2 ثانية إلى 3 دقائق (30 ثانية في العادة)
طائرات البحث والإنقاذ	الفترة الفاصلة 10 ثوان
مساعدات الملاحة	الفترة الفاصلة 3 دقائق
معلومات سكونية	الفترة الفاصلة 6 دقائق
رسائل السلامة والشؤون الإدارية	حسب المطلوب
رسالة بيانات	حسب المطلوب

الجدول 4

فواصل تبليغ التجهيزات المتنقلة المحمولة على متن سفينة من الصنف A

الظروف الدينامية للسفينة	الفترة الفاصلة للتبليغ العادية	النسبة من المجموع
سفينة في المرسى أو مربوطة أو لا تتحرك بأسرع من 3 عقد	3 دقائق	28
سفينة في المرسى أو مربوطة وتتحرك بأسرع من 3 عقد	10 ثوان	
سفينة بسرعة 0-14 عقدة	10 ثوان	30
سفينة بسرعة 0-14 عقدة وتغير المسار	3⅓ ثانية	12
سفينة بسرعة 14-23 عقدة	6 ثوان	30
سفينة بسرعة 14-23 عقدة وتغير المسار	2 ثانية	
سفينة بسرعة 23 عقدة	2 ثانية	
سفينة بسرعة 23 عقدة وتغير المسار	2 ثانية	
المتوسط لجميع السفن	فترة فاصلة قدرها حوالي 7 ثوان	

3 الرصد الساتلي لنظام تحديد الهوية الأوتوماتي (AIS)

تشمل عملية الرصد الساتلي لنظام AIS من الناحية المفاهيمية، استخدام ساتل أو أكثر من السواتل المنخفضة المدار بالنسبة للأرض (LEO) لاستقبال وفك تشفير رسائل هذا النظام وترحيل المعلومات الناشئة عن طريق وصلات تغذية ساتلية إلى محطات أرضية في مواقع مناسبة. وتعتبر ارتفاعات السواتل في المدى 266-000 1 كيلومتر ارتفاعات عادية بالنسبة للسواتل LEO. ولا يوجد في الوقت الحاضر نظام ساتلي عامل لرصد نظام AIS. ولم يتم تعريف المعلمات التشغيلية والتقنية الخاصة بهذا النظام. ولذا فإن من الضروري للأغراض المبينة هنا افتراض معلمات معقولة وقابلة للتحقيق تقنياً.

وسوف يتألف نظام أولي للبيانات العملية من ساتل (LEO) واحد في مدار قطبي على ارتفاع 950 كيلومتراً. ومن المتوخي للأنظمة التي ستعمل في وقت لاحق أن تستخدم مجموعة صغيرة نسبياً من سواتل LEO، وعلى ذلك فإن التغطية الساتلية لموقع سفينة معينة لن يكون مستمراً. وتقتضي التغطية العالمية واستخدام عدد صغير من المحطات الأرضية ضرورة استخدام تقنيات التسجيل وإعادة الإرسال للبيانات المستقبَلة المتعلقة بنظام AIS. غير أن رصد ومراقبة السفن حتى عدة آلاف من الأميال البحرية بعيداً عن الساحل، تتيح لتغطية الساتل الكبير للأرض تحميل بيانات في الوقت الحقيقي أثناء فترة ظهور الساتل.

وهناك العديد من العوامل التقنية الرئيسية تفرق بين رصد نظام AIS الساتلي ورصد هذا النظام بالصورة التقليدية من سفينة لسفينة ومن سفينة للشاطئ وخاصة حساسية جهاز الاستقبال ونمط كسب الهوائي ومتطلّبات الموثوقية. وقد أظهرت البيانات المقاسة المبلّغة بالنسبة لأجهزة استقبال نظام AIS المحمولة على متن السفن أن أجهزة الاستقبال العادية أكثر حساسية عادة من حساسية جهاز الاستقبال الذي تتطلّبه مواصفات AIS. ويمكن باستخدام المقدرات منخفضة الضوضاء وخطط الرصد المثلى، تحقيق المزيد من التحسينات في حساسية أجهزة الاستقبال الساتلية لنظام AIS. غير أن من الضروري في مواجهة هذه التحسينات، توافر عرض نطاق لجهاز الاستقبال أكبر من العرض المثالي لاستيعاب الزحزحات الدوبلرية التي تصل حتى نحو ±3,5 kHz. وبعد أن تؤخذ هذه العوامل في الاعتبار، تستخدم حساسية خط الأساس البالغة −118 dBm لمعدل خطأ الرزمة بنسبة 1% (PER) و−120 dBm لـ PER بنسبة 20% للاستخدام في أجهزة الاستقبال الساتلية لنظام AIS.

وسوف يستخدم النظام الساتلي الأولي هوائي ساتلي عريض الحزمة. ويمكن عموماً تقسيم الهوائيات عريضة الحزمة المستخدمة في سواتل LEO إلى فئتين: نمط يستخدم بصورة عامة وهو النمط الذي يوجه فيه كسب الذروة بصورة أحادية نحو الأفق الذي ينخفض فيه الكسب نحو النقطة الساتلية الفرعية. ويجري باستخدام هذا النمط، تحقيق تعويض جزئي للتغيير في كسب الهوائي بزوايا انحراف عن المحور الرئيسي، عن التغييرات في خسارة الانتشار الناجمة عن انخفاض التباين في مستوى الإشارات مع تغير زوايا الانحراف عن المحور الرئيسي. أما الفئة الثانية من الهوائي فهي نمط تقليدي بدرجة أكبر مع توجيه كسب الذروة نحو النقطة الساتلية الفرعية. ولأغراض هذه الدراسة، يُفترض أن يكون لهذا النمط الأخير كسب لفتح الذروة قدره 6 dBi، وعرض −3 dB قدره 100°. وبالنسبة لنمط الكسب الخاص بالفص الرئيسي للهوائي، يستخدم نموذج في كثير من الأحيان في دراسات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد على النحو التالي:

$$G(\theta) = G_{MB} - 12(\theta/\theta_{3dB})^2$$

حيث:

$G(\theta)$: كسب هوائي ساتلي (dBi) عند زاوية انحراف عن المحور الأساسي θ (درجات)

G_{MB}: كسب حزمة رئيسية لهوائي ساتلي (dBi)

θ_{3dB}: هوائي ساتلي عرض نطاق – 3 dB (درجات)

وتختلف متطلبات الأداء في الرصد الساتلي للنظام AIS اختلافاً كبيراً عن نظيره الأرضي. فالنظام AIS التقليدي، شأنه شأن معظم أنظمة الاتصالات، يهدف إلى أن يستقبل بنجاح وأن يشفّر معظم الرسائل المرسلة ذات الصلة بدرجة موثوقية تتراوح بين المعتدلة والعالية. ولأغراض رصد السفن باستخدام الرصد الساتلي في نظام AIS، لا يستلزم توافر موثوقية عالية للاتصالات. أما بالنسبة للسفن التي توجد على مسافة بضعة مئات من الأميال البحرية من الساحل، يكون تحديث موقع السفينة كل ساعة كافياً، وقد يكون تحديث مواقع السفن التي توجد في مناطق أبعد من البحار، كل أربع ساعات بل وربما

كل اثنتي عشر ساعة كافياً. وكما سيتبيّن في فقرات لاحقة، فإن التداخل بين الأنظمة يؤدي إلى خسارة نسبة كبيرة للغاية من الرسائل المستقبَلة من السفن المحمّلة بنظام AIS. فعلى سبيل المثال، يمكن في مسار واحد للساتل فقد ما يصل إلى 99% أو أكثر من رسائل السفن المحملة بنظام AIS إلا أنه يمكن أن يظل هدف تحديث مواقع السفن على أساس منتظم أمراً ممكناً. ومن الضروري، لتحقيق عملية تحديث مواقع السفن كل 12 ساعة، النجاح في فك تشفير رسالة واحدة من الرسائل التي تزيد على 360 رسالة المستقبَلة (~ 0,3%) من سفينة معينة خلال هذه الفترة. وسيجري تفسير ذلك بقدر أكبر من التفصيل في فقرات لاحقة.

والترددان اللذان تم تعيينهما كقناتين ضمن الخدمة المتنقلة البحرية لوظيفة نظام AIS للأرض ليستا معينتين بصورة حصرية. وبدلاً من ذلك فإن هاتين القناتين وما يجاورهما من قنوات معينة ومستخدمة من جانب أقاليم العالم في تطبيقات الخدمة المتنقلة الأخرى بما في ذلك محطات المراسلات العامة العاملة بالموجات المترية (VPCS) في الخدمة المتنقلة البحرية وأنظمة الراديو المتنقلة البرية. وعلى العكس من أنظمة AIS التقليدية للأرض التي يمكن أن تتعايش مع أجهزة الإرسال الأخرى بالترددات المشتركة من خلال الفصل الجغرافي، تغطي حزمة الهوائي الساتلي مساحة جغرافية شاسعة ومن ثم استقبال الإرسالات من أجهزة الإرسال المتعددة لنظام AIS المحمولة على متن السفن في آن واحد فضلاً عن الأنظمة المتنقلة العاملة الداخلية. وينبغي أن يتمكن نظام AIS الساتلي من العمل بنجاح في بيئة التداخل الناشئة عن الخدمات الحالية الأخرى. وتتضمن الفقرة 9 فحصاً لأداء نظام AIS الساتلي العامل مع الخدمات الحالية.

ويأخذ الجدول 5 في اعتباره المناقشة الواردة أعلاه لدى تلخيص خصائص سواتل نظام AIS المستخدمة في هذه الدراسة.

الجدول 5

الخصائص المفترضة للوصلة الساتلية لنظام AIS

المعلمات الساتلية لنظام AIS	القيم
الساتل	
مجموعة	من 1 إلى 6 سواتل
الارتفاع (كيلومتر)	950
الميل (درجات)	82,5
الفترة (بالدقائق)	104
الموقع من الأرض	نصف قطر قدره 281 3 كيلومتراً (على الأفق)
الهوائي	
الكسب (G_{MB}) (dBi)	6
عرض النطاق (θ_{3dB}) (درجة)	100
النمط	$G_{MB} - 12\ (\theta/\theta_{3dB})^2$
الاستقطاب	دائري تقريباً
خسارة تحويل الاستقطاب الدائري إلى خطي (dB)	3
المستقبل	
رقم الضوضاء عند دخل LNA (dB)	3
E_b/N_0 اللازمة لتصحيح خطأ البتة = 10^{-5} (dB)	13 بما في ذلك خسائر التنفيذ
خسائر الخط/المرشاح قبل LAN (dB)	2,5
الحساسية عند LNA (dB)	−118 لنسبة 1% لمعدل خطأ الرزمة (PER) −120 لنسبة معدل خطأ الرزمة 20%
معدل الحماية (للقناة المشتركة، الإشارات المتزامنة في الوقت المناسب (dB)	15 لمعدل نسبة 1% لمعدل خطأ الرزمة (PER) 10 لنسبة 20% معدل خطأ الرزمة
الفترة المستصوبة لتحديث موقع السفينة	مسار واحد للساتل 4 ساعات، و12 ساعة

4 تحليل موازنة الوصلات

يتمثل أحد قياسات الأداء الأساسية في أي نظام للاتصالات الساتلية في موازنة الوصلة. وبالنسبة للحالة قيد الدراسة، تتألف هذه الموازنة من حساب قدرة الاستقبال على الساتل من أي سفينة ومقارنته مع حساسية الساتل. فإذا تجاوزت القدرة المستقبَلة الحساسية أي أنها تنطوي على هامش موجب، يمكن تحقيق الاتصالات بنجاح. وقد وُضعت موازنة وصلات لمسير للنظام AIS بين سفينة وساتل باستخدام المعلمات التي سبق تحديدها لأجهزة إرسال السفن الحاملة لنظام AIS وأجهزة الاستقبال الساتلية لأنظمة AIS. ويتناول الجدول 6 الهندسة المستخدمة وحسابات القدرة لرصد رسائل AIS من السفن من الصنف A.

الجدول 6

موازنة الوصلة بين سفينة وساتل عند أقصى مدى

المعلمات	القيم
الهندسة	
ارتفاع الساتل (كيلومتر)	950
زاوية الانحراف الدنيا للإرسال (درجة)	0
زاوية الانحراف عن المحور الرئيسي لهوائي ساتلي	60,5
أقصى مدى لمسافة مائلة (كيلومتر)	3 606
أقصى مدى لمساحة من سطح الأرض (كيلومتر)	3 281
القدرة	
قدرة الإرسال	41,0
كسب الإرسال	2,0
خسائر كبل الإرسال وخسائر متنوعة (dB)	3,0
خسارة الانتشار في فضائية حرة عند المدى الأقصى (dB)	147,8
خسارة الاختلال في الاستقطاب (dB)	3,0
كسب هوائي الساتل في الأفق (dBi)	1,6
خسارة خط/مرشاح قدرة الإرسال في الساتل	2,5
القدرة المستقبلة عند الساتل (dBm)	−111,7
حساسية الساتل لنسبة 20% لتصحيح خطأ الرزمة (dBm)	−120,0
الهامش الصافي (dB)	8,3

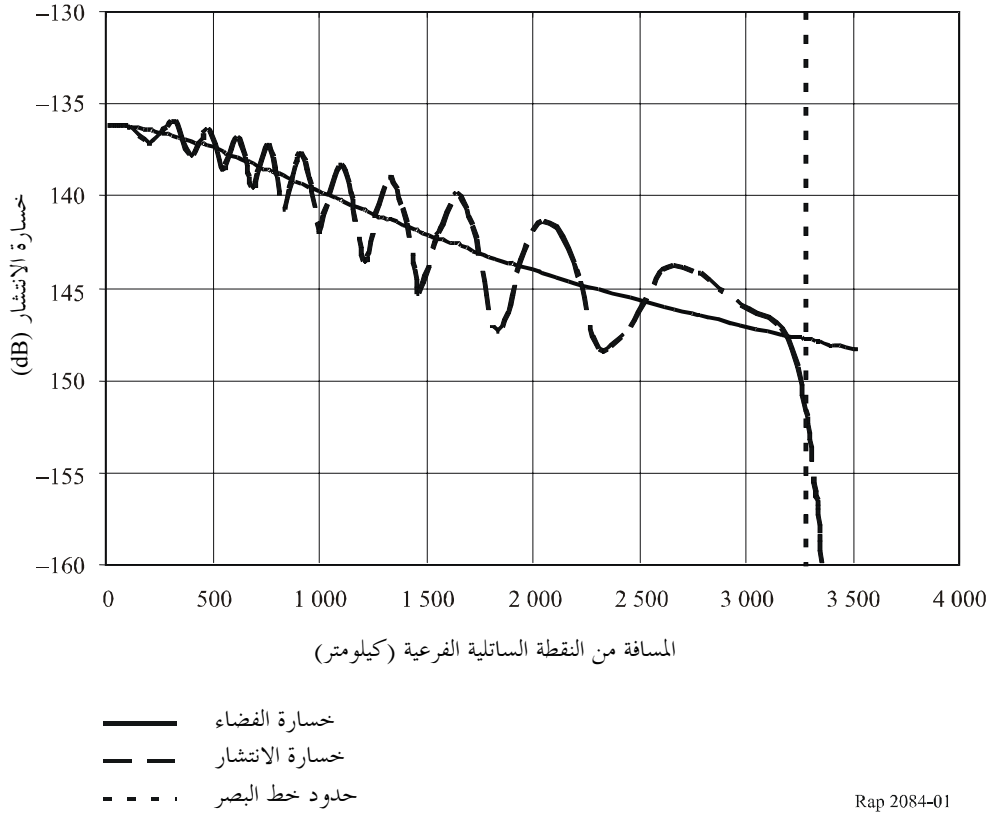
وكان أحد العوامل الذي جرى فحصه بقدر أكبر من التفصيل هو خسارة الانتشار في زوايا الالتقاط شديدة الانخفاض من هوائيات السفن. ومن الأمور العادية في معظم أنظمة الاتصالات الساتلية تصميم نظام لبعض زوايا الارتفاع الدنيا فوق الأفق عند مطراف الأرض مثل 3° أو 5° لمراعاة العوامل التقنية مثل الخبو و/أو القيود المنظمة للعملية. وبالنسبة لهذه الدراسة، تبيّن أن هذه العوامل لا تنطبق على الانتشار من الأرض للساتل بالموجات المترية فوق مياه البحار. ووضع باستخدام نموذج للانتشار الراديوي صُمِّم للتنبؤات ذات الصلة بخسارة الانتشار من الأرض للساتل منحني يرد في الشكل 1 يبين الانتشار التقديري الوسيط للساتل عند ارتفاع 950 كيلومتراً[1]. وقد وُضع المنحني استناداً إلى متوسط أحوال الأرصاد الجوية المعتدلة البحرية وحالة البحر. وينشأ هيكل الفص الناجم عن ذلك في البيانات عن التعزيز والخبو الدوريين في الإشارة نتيجة للإضافات بالزيادة والحذف في المسير المنعكس من سطح المياه. وكما تبيّن من البيانات، تسري ظروف الانتشار الفضائي الحر الاسمي في حدود بضعة ديسبلات (dB) طوال المسير حتى الأفق البصري مع زيادة خسائر الانتشار بسرعة إلى ما يتجاوز تلك المسافة.

[1] انظر http://flattop.its.bldrdoc.gov/if77.html.

ويتوسع الشكل 2 في النتائج المستمدة من الجدول 5 لوصف الهامش الصافي باعتباره دالة للمسافة من النقطة الساتلية الفرعية على الأرض إلى الأفق. ولحساب ذلك يستخدم الانتشار الفضائي الحر إلى أفق الأرض دون إدراج هيكل الخبو بالزيادة أو النقص المبين أعلاه. وينشأ الخمود الجزئي الواقع تحت الساتل مباشرة عن الخمود في كسب الهوائي في الهوائي ثنائي القطب المستخدم في هوائي السفينة الحاملة لجهاز AIS. ونظراً لأن المعلمات التقنية لموازنة الوصلات في السفن من الصنف B تتماثل بصورة أساسية مع الصنف A، باستثناء انخفاض القدرة، يرد أيضاً منحنٍ موازٍ يمثل استقبال الصنف B عند الساتل.

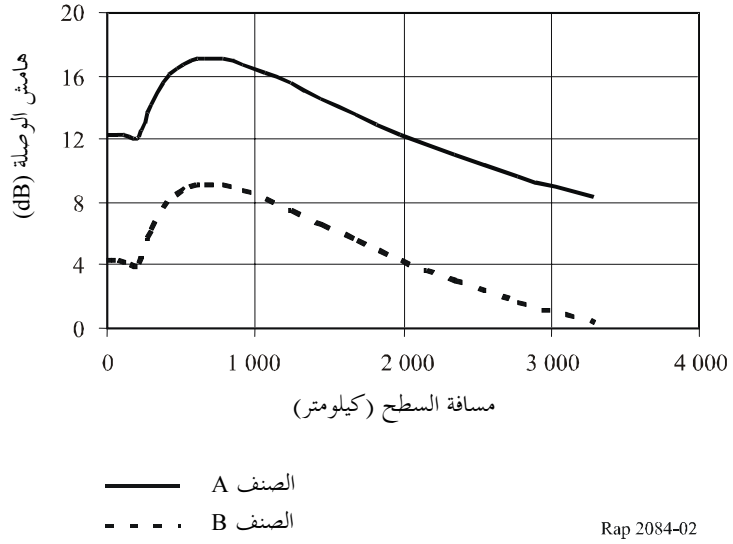
الشكل 1

خسارة الانتشار من الأرض للساتل فوق مياه البحر عند 162 MHz
(الساتل على ارتفاع 950 كيلومتراً)



الشكل 2

هامش وصلة من سفينة لساتل مقابل مسافة السطح من نقطة ساتلية فرعية



ويمكن أن يُستخلَص من هذه النتائج أنه يتوافر هامش وصلة كافٍ لرصد وفك تشفير كلٍّ من إشارات نظام AIS المحمول على متن السفن من الصنف A ومن الصنف B بواسطة ساتل عند معظم مواقع السفينة في إطار التغطية الساتلية.

5 تحليل التداخل في الأنظمة (الصنف A فقط)

على الرغم من أن موازنة الوصلات تبين توافر هوامش وصلات كافية لرصد رسائل نظام AIS المحمول على متن سفن من الصنف A في أي مكان داخل منطقة تغطية الساتل، فإن هناك قيداً كبيراً على أداء رصد النظام يحدث نتيجة للتداخل في الأنظمة. ويجري في الفقرات التالية وصف ثلاث منهجيات للتقييم الكمي للقيود على أداء نظام نتيجة للتداخل داخل الأنظمة.

1.5 النهج التحليلي

يستخدم مخطط النفاذ المتعدد بتقسم زمني الذاتي التنظيم (SOTDMA) على النحو المشار إليه سلفاً في نظام AIS لضمان تنسيق استخدام الفترات الزمنية حتى لا ينشأ إلا قدر طفيف من التضارب في الفترات الزمنية فيما بين السفن والوحدات الشاطئية في منطقة جغرافية محلية معينة. غير أن ذلك ليس هو الوضع بالنسبة للرصد الساتلي لنظام AIS. فالساتل يرى الكثير من هذه المناطق المحلية في نطاق حزمة الهوائي. ونظراً لعدم وجود أي تنسيق بصفة عامة فيما بين المناطق المحلية تحدث التصادمات بين الفترات الزمنية فيما بين الكثير من الإشارات التي يتم استقبالها على الساتل. وعندما يحدث تصادم في الفترات الزمنية، بحسب مستويات القدرة الخاصة بكلٍّ منها، يمكن فقد كلتا الرسالتين. ونظراً لتزايد وتيرة حدوث هذه التصادمات فيما بين الفترات الزمنية، تتناقص احتمالية النجاح في رصد وفك تشفير رسالة AIS من سفينة معينة.

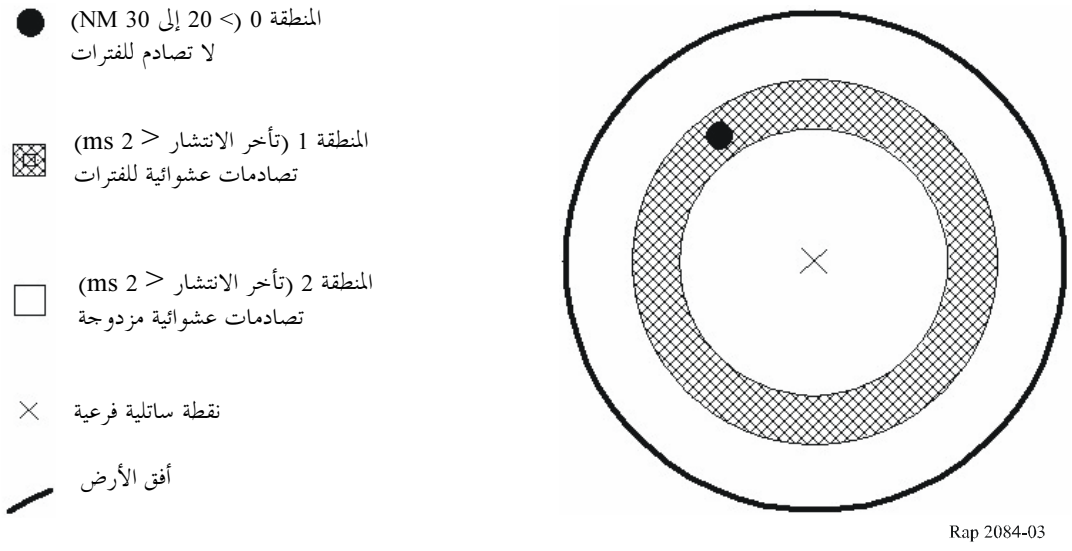
ويمكن النظر إلى هذه التصادمات فيما بين الفترات الزمنية على أساس رسالة واحدة مرغوبة من نظام AIS (D) ورسالة أو أكثر من الرسائل غير المرغوبة من هذا النظام (U). وعندما يحدث صدام بين فترات زمنية ويكون معدل القدرة الإجمالي لكل من (D/U) أقل من المعدل المطلوب البالغ 10 dB يُسفر ذلك عن فقد تلك الرسالة. ولدى النظر أولاً في السفن من الصنف A فقط، أظهر الشكل 2 أن نسبة الإشارة القصوى من نظام AIS المستقبَلة إلى الإشارة الدنيا من هذا النظام المستقبَلة تبلغ نحو 9 dB. وعلى ذلك فإن أي صدام يحدث بين الفترات الزمنية، سوف يؤدي إلى فشل D/U في تحقيق القيمة المطلوبة البالغة 10 dB مما سيؤدي إلى خسارة معظم الرزم. وسيرد في فقرات لاحقة وصف لتقنيات تجهيز المستقبِل التي يمكن أن تقلل من خسارة الرزم.

وفي ظل ظروف معينة، سوف تحدث خسارة لرزمتين خلال تصادم الفترات. ويبين الشكل 3 هذه النقطة، ففي هذا الشكل، تمثل الدائرة الخارجية التغطية على سطح الأرض ويمثل مركز الدائرة النقطة التي توجد أسفل الساتل مباشرة. وتمثل المنطقة السوداء الشديدة الصغر منطقة تنسيق محلية لنظام AIS. ويتعين النظر إلى استقبال رسالة من سفينة تقع في تلك المنطقة المحلية. فسوف يتم تنسيق رسائل نظام AIS من السفن الأخرى الواقعة في نفس المنطقة المحلية في الوقت الملائم لمعمارية SOTDMA وعلى ذلك لن يحدث أيُّ صدامٍ في الفترات الزمنية سواء محلياً أو على جهاز الاستقبال الساتلي لنظام AIS. غير أنه لن يتم تنسيق الرسائل الواقعة خارج تلك المنطقة المحلية في المنطقة المظللة الكبيرة مما سيؤدي إلى حدوث عشوائي للتصادمات فيما بين الفترة الزمنية وخسارة نسبة من الرسائل المرغوبة. وما دام الفرق في تأخير الانتشار إلى الساتل من مختلف مواقع السفن في تلك المنطقة يقل عن نحو 2 ms، فإن التزامن مع النظام العالمي لتحديد المواقع من حيث الوقت يضمن تراصف الفترات الزمنية بصورة فعالة وعدم تأثر سوى فترة زمنية واحدة. ويتقابل التأخير البالغ 2 ms مع مواقع البتات الفارغة العشرين في نهاية نظام AIS. وفي المناطق الواقعة خارج المنطقة المظللة، والممثلة في المناطق البيضاء المتضمنة، سوف تؤدي الفروق الكبيرة في تأخير الانتشار إلى الساتل إلى تدخلات في الفترات الزمنية وما ينشأ عن ذلك من خسارة لفترتين.

وإذا نظر المرء إلى السفن من الصنف A فقط، ويفترض الوضع المثالي حيث يكون التوزيع الجغرافي للسفن موحداً داخل مجال رؤية الساتل، يمكن استخدام منهجية تحليلية بسيطة لحساب السكونية المتصلة بهذا الشكل من التداخلات داخل الأنظمة.

الشكل 3

رسم توضيحي لمناطق تصادم الفترات الزمنية



فأولاً، لننظر في الحالة العادية للرسالة المفردة التي يجري استقبالها عند الساتل من سفينة معينة وحيث لا توجد سوى سفينة أخرى واحدة في المحيط. وفيما يلي احتمالية تصادم الرزم واحتمالية نجاح الرصد:

$$Q_{1,1} = k * D_C / 2$$

$$P_{1,1} = 1 - (k * D_C) / 2$$

$$P_{1,1} = 1 - (k * (\tau / \Delta T) / 2)$$

حيث:

$Q_{1,1}$: احتمالية تصادم الفترات الزمنية (الرسالة مرغوبة من سفينة والرسائل الدورية غير المرغوبة من سفينة واحدة أخرى)

$P_{1,1}$: احتمالية نجاح عملية رصد واحدة على الأقل دون تصادم (رسالة مرغوبة واحدة ورسائل دورية غير مرغوبة من سفينة أخرى واحدة)

D_C: إرسال دورة الخدمة لرسائل السفن غير المرغوبة

k: 0، 1 أو 2 لرسائل التداخل من السفن الواقعة في المناطق 0 أو 1 أو 2

ΔT: متوسط الفترة أو الفترات الزمنية لإرسال الرسائل

τ: طول الرسالة (0,0267 ثانية).

ويمثل العامل 2 المتضمن في المعادلة الواردة أعلاه حقيقة أن رسائل سفن AIS تتناوب فيما بين الترددين الخاصين بنظام AIS.

فعلى سبيل المثال، فإن استخدام ΔT من 7 ثوان ورسالة سفينة متنافسة من المنطقة 2 يعطي:

$$P_{1,1} = 99.6\%$$

ويؤدي توسيع هذا النموذج ليشمل حالة الرسالة المفردة التي يتم استقبالها على الساتل من سفينة معينة مع وجود مجموع سفن N في المحيط، ترد فيما يلي احتمالية نجاح رصد الإشارة دون تصادم فيما بين الفترات الزمنية:

$$P_{1,N} = (P_{1,1})^{N-1}$$

وبالنسبة للحالة العامة المتعلقة برسائل M التي ترسل من سفينة معينة خلال فترة رؤية الساتل، ترد فيما يلي احتمالية نجاح رصد رسالة واحدة على الأقل من الرسائل المرسلة خلال فترة الرؤية:

$$P_{M,N} = 1 - [1 - (P_{1,1})^{N-1}]^M$$

حيث:

M: $T_{vis} / \Delta T$

T_{vis}: الفترة الزمنية لرؤية الساتل

ووفقاً للافتراض بأن السفن موزعة بصورة موحدة في حدود تغطية هوائي الساتل، فإن من الواضح أن بعض السفن قد توجد في كل منطقة من المناطق 0 و1 و2. ويتباين الموقع والحجم النسبي لهذه المناطق مع تباين كل رسالة من الرسائل المستقبَلة. ونظراً لأن حجم المنطقة 0 شديد الصغر، فإن الرسائل غير المرغوبة من هذه المنطقة تنطوي على تأثيرات طفيفة على أداء الرصد الشامل الساتلي ويمكن تجاهله. وعلى ذلك فإن متوسط قيمة k سوف يكون بين 1 و2. وبالنسبة لحالة التوزيع الموحد للسفن داخل نطاق تغطية الساتل، تبين أن متوسط قيمة k البالغة نحو 1,6 يصف بصورة دقيقة التداخل فيما بين الأنظمة. واستمراراً مع المثال الوارد أعلاه باستخدام k = 16 فإنه يعطي النتيجتين التاليتين:

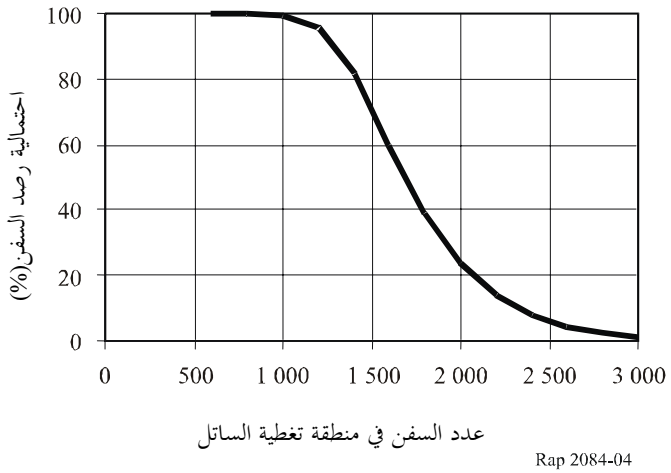
$$P_{1,1000} = 4.8\%$$
$$P_{100,1000} = 99.3\%$$

وتتفق منهجية التحليل المبينة أعلاه مع الدراسات الأخرى التي استُكملت بشأن هذا الموضوع[2]. ويبين الشكل 4 مثالاً على منحني لحالة بسيطة من ساتل مفرد ومرور علوي وحيد للساتل.

[2] Hoye, Gudrun K., *et al.* [undated] Space-Based AIS for Global Maritime Traffic Monitoring, Kjeller, Norway: Norwegian Defense Research Establishment (FFI).

الشكل 4

إحصاءات الرصد الساتلي



وتمثل الحسابات المبينة أعلاه احتمالية رصد سفينة معينة خلال فترة رؤية ساتل محدد. وثمة إحصاءات بديلة وربما أكثر فائدة تتمثل في نسبة السفن التي يتم رصدها. ونظراً لأن من المنطقي الافتراض بأن احتمالية الرصد مستقلة من سفينة لأخرى، فإن متوسط عدد السفن التي يتم رصدها عندئذ (S_{ave}) يرد في المعادلة التالية:

$$S_{ave} = N \cdot P_{M,N}$$

ويؤدي حساب ذلك على أساس مجموع السفن التي يتم رصدها إلى منحنى يتماثل مع النتائج المبينة في الشكل 4 مع مقياس الإحداثية المسماة نسبة السفن التي تم رصدها.

وثمة إحصائية ثالثة ذات أهمية تتمثل في احتمالية رصد جميع السفن في نطاق تغطية الساتل خلال فترة رؤية معينة. ويعرَّف هذا المعيار الأكثر تشدداً بالمعادلة التالية:

$$P_{All} = (P_{M,N})^N$$

ونظراً للقيمة شديدة الارتفاع للعنصر الأسي، فإن هذا المنحني إما أن يشمل جميع السفن بفعالية أو لا يشمل أي سفينة. ويعني ذلك أنه مع اقتراب احتمالية الرصد الإفرادي من 1,0، يتم عندئذ رصد جميع السفن بنسبة 100%. غير أنه عندما تنخفض هذه الاحتمالية عن 1,0، فإن احتمالية رصد جميع السفن تنخفض بسرعة إلى ما يقرب من الصفر.

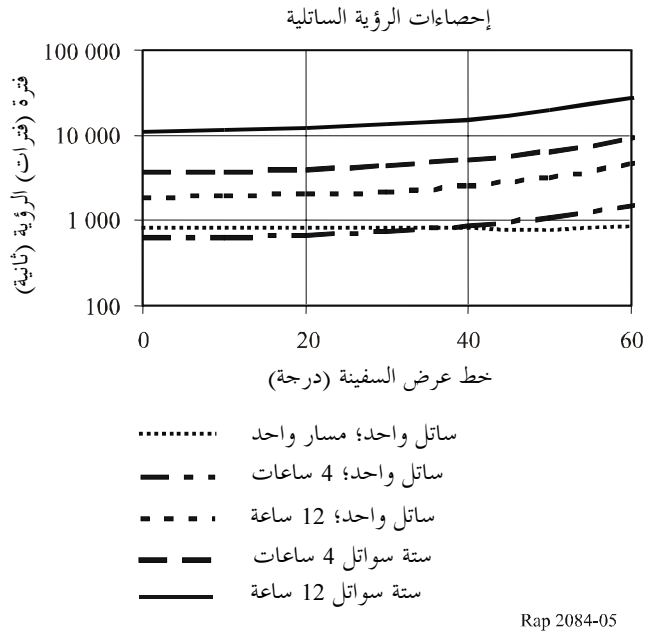
ولدى النظر في النقاش المشار إليه أعلاه، يصبح من الواضح أن الكثير من الرسائل المرسلة قد يتعرض للفشل أو الفقد نتيجة للتصادمات بين الفترات الزمنية إلا أنه يظل يحقق الهدف المطلوب المتعلق بتحديث مواقع السفن خلال فترة رؤية ساتلية معينة.

والعامل الأخير الذي سيجري تعريفه يتعلق بالفترة الزمنية للرؤية الساتلية. فبالنسبة للارتفاع التمثيلي البالغ 950 كيلومتراً للساتل الذي يجري النظر فيه هنا، تبلغ فترة الرؤية لمسار علوي مفرد مباشرة للساتل 16,8 دقيقة. غير أن المسارات العلوية بالنسبة لمعظم السواتل لن تحدث مباشرة بل سيتم ذلك بزاوية ارتفاع منخفضة بعض الشيء بحسب درجة ميل مدار الساتل، وخط عرض موقع السفينة. وقد استُخدم نموذج تحليل السواتل المتوافر تجارياً في استخلاص متوسط فترات الرؤية الساتلية باعتبار ذلك دالة على خط عرض السفينة. وفترة المراقبة على النحو المبين في الشكل 5[3]. وقد أُدرجت القيم الخاصة للمسار العلوي المفرط فضلاً عن متوسط القيم عبر فترات مشاهدة زمنية ممتدة مثل 4 ساعات و12 ساعة. ودُرست أيضاً التغطية الساتلية المتعددة لست مجموعات من السواتل حيث أجريت المباعدة بين السواتل لتجنب تداخل التغطية على الأرض.

[3] سوف يستخدم مصطلح "فترة المراقبة" في هذا التقرير بصورة تبادلية مع "فترة تحديث موقع السفينة" حيث إن كليهما يشير إلى فترة زمنية يكون فيها من المرغوب الحصول على تحديث 1 على الأقل لهوية وموقع سفينة معينة. ويشير تعبير "فترة الرؤية" إلى مجموع عدد الثواني في فترة المراقبة التي يوجد فيها مسار خط البصر فيما بين سفينة معينة والساتل.

الشكل 5

إحصاءات الرؤية الساتلية
(الساتل في مدار قطبي على ارتفاع 950 كيلومتراً)



وتبسيطاً للأمور، فإن معظم الأمثلة المقدمة هنا تتعلق بخط عرض لموقع سفينة يبلغ 40° شمالاً. ويتضمن الجدول 7 قيم الرؤية المحددة لسفينة تقع على خط عرض 40° شمالاً.

الجدول 7

إحصاءات الرؤية الساتلية
(ساتل من مدار قطبي؛ السفينة المستهدفة على خط عرض 40° شمالاً)

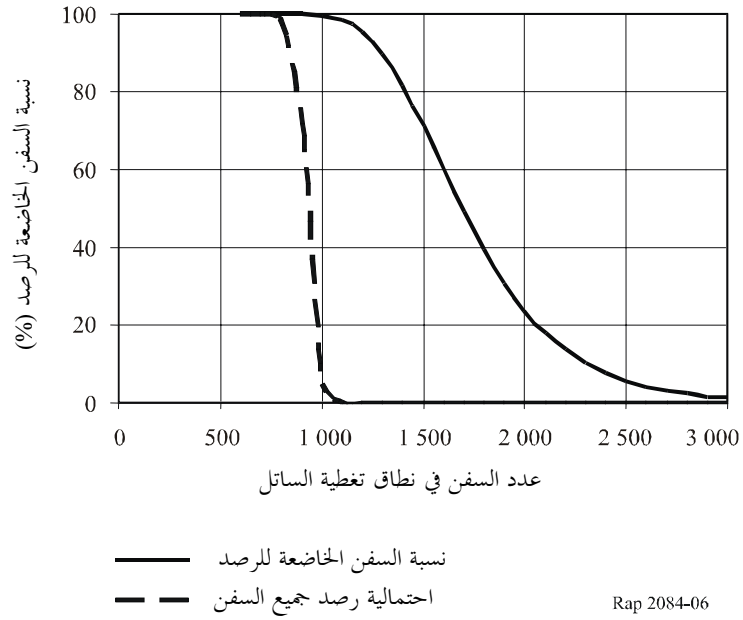
مجموعة السواتل	مسارات مفردة	المراقبة كل 4 ساعات	المراقبة كل 12 ساعة
1 ساتل	s 818	[1]s 853	s 2 500
6 سواتل	s 818	s 818	s 15 360

(1) تمثل فترة المراقبة البالغة 4 ساعات، بالنسبة لمجموعة السواتل المفردة، متوسط طويل الأجل مع ملاحظة أنه يمكن أن تتوافر فترات تزيد عن 9 ساعات دون رؤية ساتلية.

ويمكن الآن الجمع بين منهجية التحليل وإحصاءات الرؤية الساتلية لوصف النسبة المئوية للسفن التي تم رصدها واحتمالية رصد جميع السفن. ويبين الشكل 6 نتائج المسار الساتلي المعتاد. وسوف تستخدم هذه المنحنيات، في مختلف أنحاء ما تبقى من هذا التقرير، خط أساس للرصد الساتلي لنظام AIS للسفن من الصنف A. ويعقد الشكل 7 مقارنة بين نتائج فترات المراقبة الأخرى ومجموعة السواتل المتعددة بمنحنى خط الأساس.

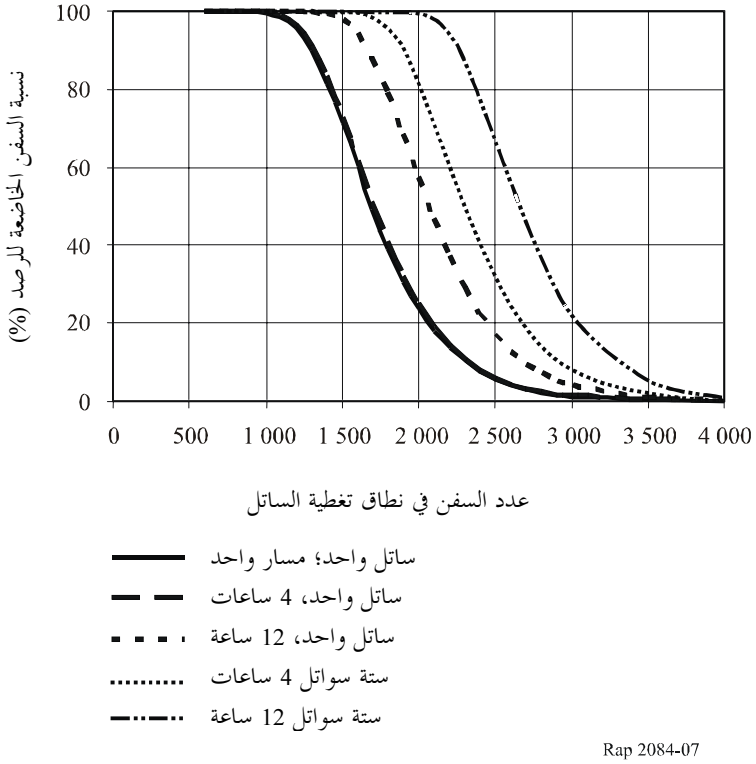
الشكل 6

رصد ساتل نظام AIS
منحنيات خط الأساس لساتل مفرد ومسار مفرد



الشكل 7

الرصد الساتلي لنظام AIS
(سيناريوهات الساتل الواحد والستة سواتل)



ولأغراض هذه الدراسة، يجري تعريف قدرة الساتل عند نقطتين، النقطة التي يتم عندها رصد 80% من السفن في تغطية الهوائي الساتلي وحيث يتم رصد 100%. وعلى ذلك فإنه بالنسبة للحالات المشار إليها أعلاه، يوجز الجدول 8 القدرة الساتلية لمختلف الحالات قيد الدراسة.

الجدول 8

القدرة المحسوبة للرصد الساتلي لنظام AIS
(ساتل قطبي على ارتفاع 950 كيلومتراً؛ وسفينة على خط عرض 950؛ ورصد 80% من السفن)

مجموعة السواتل	تعريف القدرة	المسار المفرد	المراقبة كل 4 ساعات	المراقبة كل 12 ساعة
1 ساتل	%80	1 420 سفينة	1 430سفينة[1]	1 790 سفينة
6 سواتل	%80	1 420 سفينة	2 018 سفينة	2 381 سفينة
1 ساتل	%100[2]	738 سفينة	753 سفينة	797 سفينة
6 سواتل	%100[2]	738 سفينة	1 052 سفينة	1 382 سفينة

(1) بالنسبة لمجموعة سواتل مفردة، تمثل فترة المراقبة لمدة 4 ساعات متوسطاً طويل الأجل مع ملاحظة أنه قد تكون هناك فترات تزيد على 9 ساعات دون رؤية ساتلية.

(2) حُسبت القدرة على 99,9%.

2.5 طريقة المحاكاة

طُبِّق نهج بديل لفحص القيود على قدرة الرصد الساتلية لنظام AIS وذلك باستخدام طرائق محاكاة مونتِ كارلو واستُحدِثت قاعدة بيانات باستخدام جدول بيانات Microsoft Excel® حيث تضمن كل سجل معلمات تقنية تمثل سفينة داخل نطاق التغطية الساتلية. ويمكن باستخدام العشوائية في معلمات الإرسال الرئيسية في كل وحدة من وحدات AIS، وتكرار حساب القدرة التجميعية الناشئة التي استُقبلت عند الساتل في فترة زمنية معينة، الحصول على نتائج إحصائية بنفس النسق الذي كان عليه في طريقة التحليل السابقة. وفيما يلي الافتراضات الرئيسية لطريقة محاكاة مونتِ كارلو التي وُضعت لهذه الدراسة:

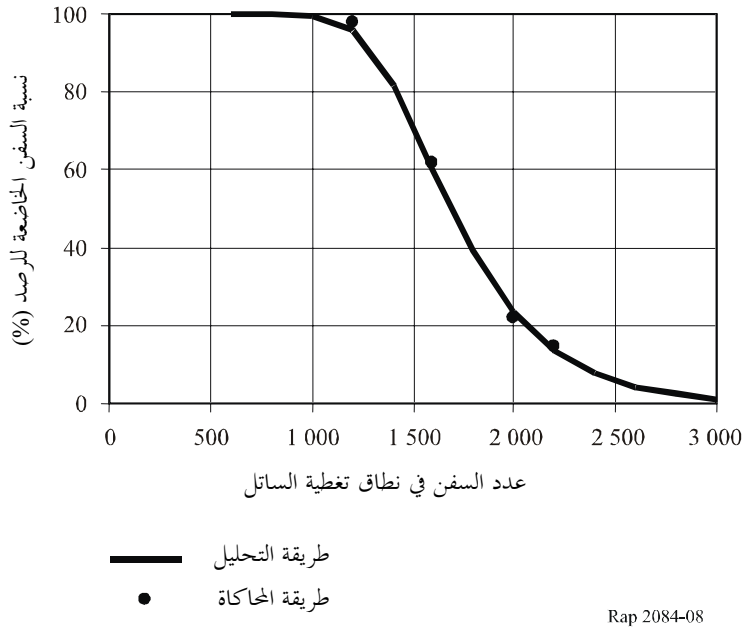
- السفن موزعة بطريقة موحدة في منطقة جغرافية دائرية بنصف قطر قدره 281 3 كيلومتراً يرتكز على النقطة الساتلية الفرعية.
- السفن التي ترسل بصورة عشوائية على القناة 1 أو 2 من نظام AIS، وعلى فاصل واحد قدره 250 2.
- كل سفينة من الصنف A ترسل على القدرة ومتوسط فترات الفواصل الزمنية التي سبق وصفها.

ويتعين بالإضافة إلى حساب القدرة التجميعية للساتل، حساب المهلة الزمنية للانتشار من كل سفينة يجري محاكاتها لكي تؤخذ في الاعتبار الملائم عامل تصادم الفترات الزمنية. وسعياً إلى تجميع قدرة التداخل المستقبَلة من فترة زمنية لإشارات مطلوبة معينة في ظل ظروف الإمهال الزمني المتباين للانتشار، تم تقسيم الفترات الزمنية للإشارة المطلوبة مرة أخرى إلى فواصل زمنية فرعية. ولأغراض هذه الدراسة وُجد أن استخدام عشرة فواصل زمنية فرعية يوفر دقة كافية، أي إن استخدام عدد كبير من الفترات الزمنية الفرعية لم يؤدِّ إلى إحداث تغيير كبير في النتائج. وتمثل الفترات الزمنية الفرعية العشرة الأولى والأخيرة والتي يبلغ طولها 20 بتة فترات زمنية متداخلة تتضمن البتات العشرين الفارغة في الدارئ. أما الفترات الزمنية الفرعية الثمانية الأخرى فيبلغ طولها 27 بتة ليبلغ مجموعها 256 بتة. وإذا أسفرت القدرة التجميعية لأيٍّ من هذه الفترات الزمنية الفرعية الثمانية المتوسطة عن *D/U* تقل عن 10 dB عندئذ يعلن عن فقد الرسالة.

وقد وضع الشكل 8 من خلال استخدام جدول بيانات Microsoft Excel® لتنفيذ هذه المنهجية. ويبين المنحني العديد من حسابات العديد من نقاط البيانات باستخدام طريقة المحاكاة التي تبين لدى مقارنتها بقيم خط الأساس الواردة في الشكل 5 اتفاقاً وثيقاً.

الشكل 8

رصد ساتل نظام AIS
منحي خط الأساس باستخدام طريقة المحاكاة



Rap 2084-08

3.5 الطريقة العشوائية

يصف Tunaley[4] منهجية ثالثة لوضع الإحصاءات الخاصة برصد السفن من الصنف A. ففي هذه الطريقة، يعتبر وقت وصول رسائل AIS إلى الساتل من السفن متغيراً عشوائياً بتوزيع Poisson. وكانت التعبيرات المستقاة من هذا النهج على نفس النسق العام الذي لطريقة التحليل السابقة باستثناء الاستعاضة عن التعبير $P_{1,N}$ بالتعبير الآتي:

$$P_{1,N} \approx e^{(-\lambda \tau/2)}$$

حيث:

λ: $k \cdot (N-1)/\Delta T$

k: عامل لمراعاة عامل تصادم الفواصل المزدوجة على النحو المحدد سلفاً (1,6)

τ: طول رسالة AIS (26,7 ms)

N: عدد السفن

ΔT: الفترة الزمنية الفاصلة لإرسال الرسالة.

[4] Dr. J.K.E. Tunaley [undated] A stochastic model for space-borne AIS.

وبالنسبة لحالة أجهزة الإرسال في السفن من الصنف A في البيئة الموحّدة للسفن، يتبيّن بسهولة أن النتائج باستخدام هذه الطريقة تتماثل بصورة أساسية مع طريقة التحليل المبينة في فقرات سابقة من هذا القسم الفرعي. ويمكن تفسير ذلك من خلال ملاحظة عملية التقريب التالية للدالة الأسية على النحو التالي:

$$e^{(-x)} \approx 1 - x \quad \text{for } x << 1$$

وقد تبيّن، من خلال الإحلال المناسب لهذا التقريب وإعادة ترتيب المصطلحات، أن الطرق التحليلية والعشوائية تُسفر عن معادلات متماثلة بالنسبة لدوائر خدمة الإرسال المنخفضة.

وسوف تتحقق النتائج القريبة من التماثل والمستخلصة باستخدام ثلاث منهجيات مختلفة للتحليل بصورة كافية من النتائج المستقاة هنا. وسوف يجري في المناقشات التالية مقارنة نتائج التحليل لمختلف السيناريوهات مع قيم خط الأساس المستخلصة أعلاه. ونظراً للتوافق فيما بين نُهُج التحليل الثلاثة، تُستخدم طريقة تحليل واحدة فقط تكون هي الأكثر مناسبة لوصف أي سيناريو معين.

6 تحليل التداخل فيما بين الأنظمة (المزج بين الصنف A والصنف B)

يمكن الآن فحص عملية رصد سفينة من الصنف A في بيئة تتألف من سفن من الصنفين A وB. وتعتبر الطريقة العشوائية المبينة أعلاه مناسبة لفحص هذه الحالة. فنظراً لانخفاض قدرة وحدات الصنف B، لا يُسفر تصادم الفواصل الزمنية في كل مرة عن فقد رسالة. فعلى سبيل المثال، يمكن الملاحظة من الشكل 2 أن رسالة AIS من سفينة واحدة من الصنف B تقع على مسافة بعيدة من النقطة الساتلية الفرعية وتتصادم مع رسالة AIS من سفينة من الصنف A تقع بالقرب من النقطة الساتلية الفرعية سوف تؤدي إلى أن تقترب *D/U* من + 17 dB. وسوف يتجاوز ذلك معايير التداخل البالغة 10 dB ومن ثم يتواصل استقبال هذه الرسالة من السفينة من الصنف A بصورة سليمة. غير أن التداخل المتعدد لهذه الإشارات قد يتجمع بصورة عارضة عند النقطة التي سوف يحدث عندها خسارة الإشارة المتعلقة بهذا المثال. وعلى ذلك، لا يمكن استخدام إجراء التحليل البسيط المبيّن أعلاه نظراً لأنه يفترض أن كل تصادم سوف يُسفر عن فقد رسالة.

ويتعين لاستخدام المنهجية العشوائية إجراء بعض التعديلات. فعلى وجه الخصوص، يتم الاستعاضة عن العامل λ بما يلي:

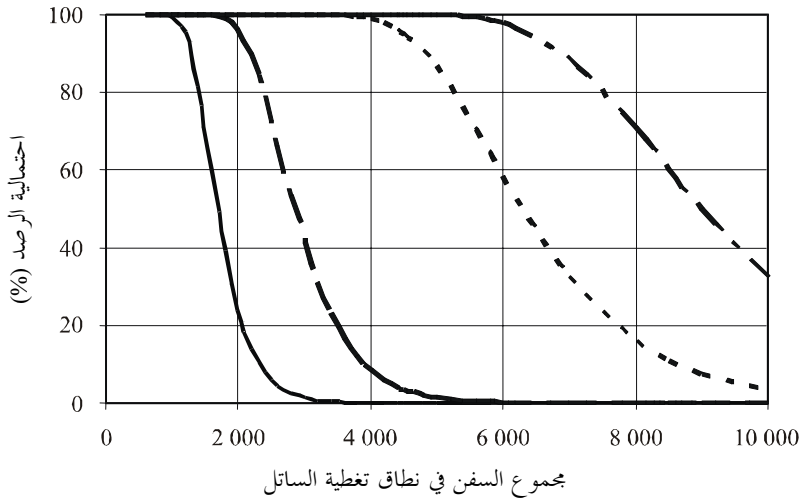
$$\lambda = k_A (N_A - 1)/\Delta T_A + k_B (N_B)/\Delta T_B$$

حيث تشير الرموز إلى معلمات ملائمة لسفن الصنف A والصنف B يكون العنصر الثابت فيها هو نفس قيمة k_A في المعادلة الأولى. غير أن العنصر الثابت k_B قد لا يكون في البداية سوى تقديرات أولية ويأخذ في الاعتبار حقيقة أن جزءاً فقط من تصادمات الفاصل في الصنف B يتسبب في فقد الرسالة بحسب مستويات القدرة النسبية عند جهاز الاستقبال الساتلي. وتتمثل إحدى التقنيات المستخدمة لتوفير تقديرات أكثر دقة للعنصر الثابت k_B في استخدام نموذج المحاكاة المبين آنفاً بالنسبة لنقطة بيانات مفرطة. وقد استُخدمت هذه النتائج لاستخلاص قيمة 1,2 للعنصر k_B.

وتبين الأشكال من 9 إلى 11 احتمالية رصد رسالة AIS على متن سفينة من الصنف A في بيئة مختلطة من الصنفين A وB في ظل ظروف مختلفة.

الشكل 9

احتمالية الرصد في البيئة المختلطة من السفن من الصنف A والصنف B
(ساتل واحد؛ ومسار ساتلي واحد)*



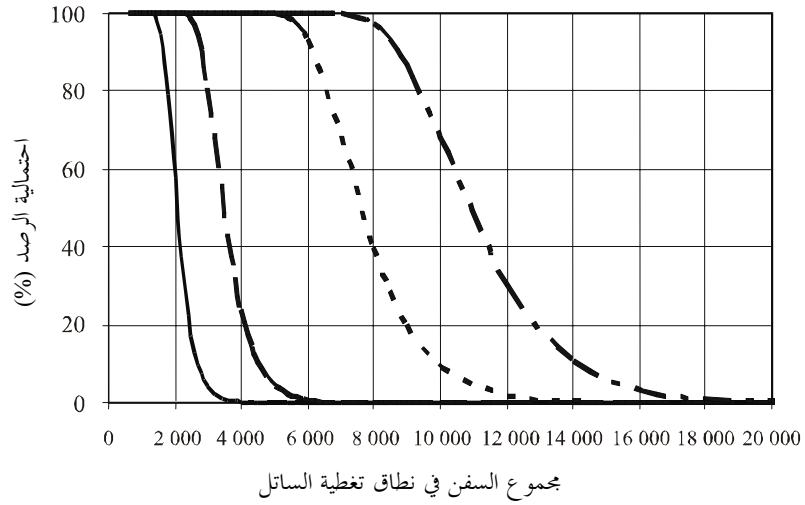
100% الصنف A، 0% الصنف B
50% الصنف A، 50% الصنف B
10% الصنف، و90% الصنف B
0% الصنف A، 100% الصنف B

* يشير المنحنى 0% من الصنف A و100% من الصنف B إلى حالة تقييد افتراضية حيث يكون الهدف هو سفينة مفردة من الصنف A وجميع السفن الأخرى في المحيط من الصنف B.

Rap 2084-09

الشكل 10

احتمالات الرصد في البيئة المختلطة من السفن من الصنف A والصنف B
(ساتل واحد وفترة مراقبة لمدة 12 ساعة)



100% الصنف A، 0% الصنف B

50% الصنف A، 50% الصنف B

10% الصنف، و90% الصنف B

0% الصنف A، 100% الصنف B

* يشير المنحني 0% من الصنف A و100% من الصنف B إلى حالة تقييد افتراضية حيث يكون الهدف هو سفينة مفردة من الصنف A وجميع السفن الأخرى في المحيط من الصنف B.

Rap 2084-10

7 تحليل التداخل داخل الأنظمة (التوزيع غير الموحد للسفن)

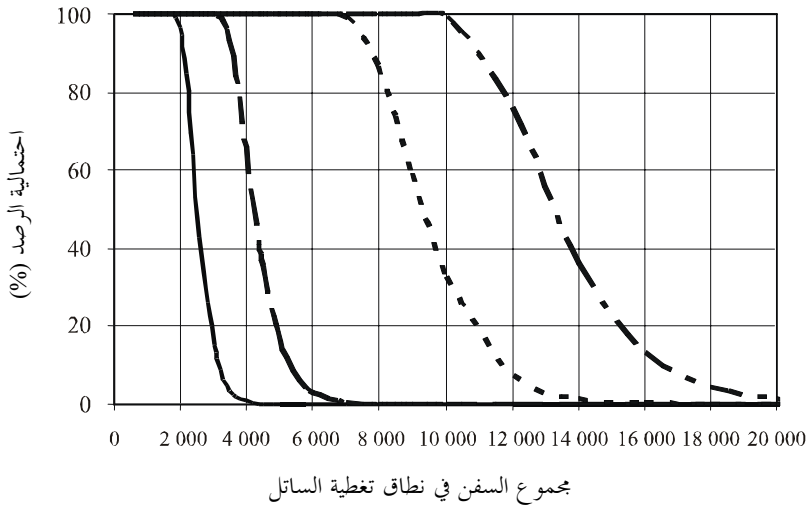
وُضعت بيئة سفن الصنف A فقط وبيئات السفن من الصنفين A وB المشار إليها أعلاه على أساس افتراض التوزيع الجغرافي الثابت والموحد للسفن ضمن نطاق تغطية هوائي الساتل. وفي حين أن هذا الافتراض يُبسّط حساب احتمالية الرصد، فإن البيئات الفعلية للسفن قد لا تكون ممثلة بالقدر الكافي في ضوء هذا الافتراض المبسّط. وللتوسّع في فحص هذه المسألة، استحدثت منهجية محاكاة معدلة لهذه الدراسة للنظر في التوزيعات غير الموحدة للسفن، وهو الأمر الأكثر اعتياداً في البيئات الفعلية. غير أن تحقيق ذلك يؤدي إلى إدخال عدد من المتغيرات الإضافية التي يتعين دراستها بما في ذلك:

- مجموع عدد السفن المجهّزة بنظام AIS في العالم.
- الموقع الجغرافي للسفينة المستهدفة المطلوبة (خطوط العرض والطول).
- التوزيع الجغرافي على نطاق العالم للسفن المجهزة بنظام AIS.
- معلومات التتبّع الساتلية على الأرض.

ولم يكن من المتيسِّر لهذه الدراسة أن تحصل على إحصاء رسمي لعدد السفن المجهزة بنظام AIS العاملة في العالم. وعلاوة على الحمولة المطلوبة، وفقاً للاتفاقية الدولية لسلامة الأرواح في البحار (SOLAS)، يجري تجهيز عدد متزايد من اليخوت الكبيرة المملوكة للقطاع الخاص والسفن العاملة، بوحدات AIS من الصنف A. وكانت التقديرات، التي تم الحصول عليها من مصادر مختلفة، تتراوح بين نحو 50 000 إلى أكثر من 80 000. ولأغراض هذه الدراسة، يستخدم تقدير 70 000 سفينة من السفن المجهزة من الصنف A في العالم في عام 2005.

الشكل 11

احتمالية الرصد من البيئة المختلطة من السفن من الصنف A والصنف B
(ستة سواتل وفترة مراقبة لمدة 12 ساعة)



* يشير المنحني 0% من الصنف A و100% من الصنف B إلى حالة تقييد افتراضية حيث يكون الهدف هو سفينة مفردة من الصنف A وجميع السفن الأخرى في المحيط من الصنف B.

Rap 2084-11

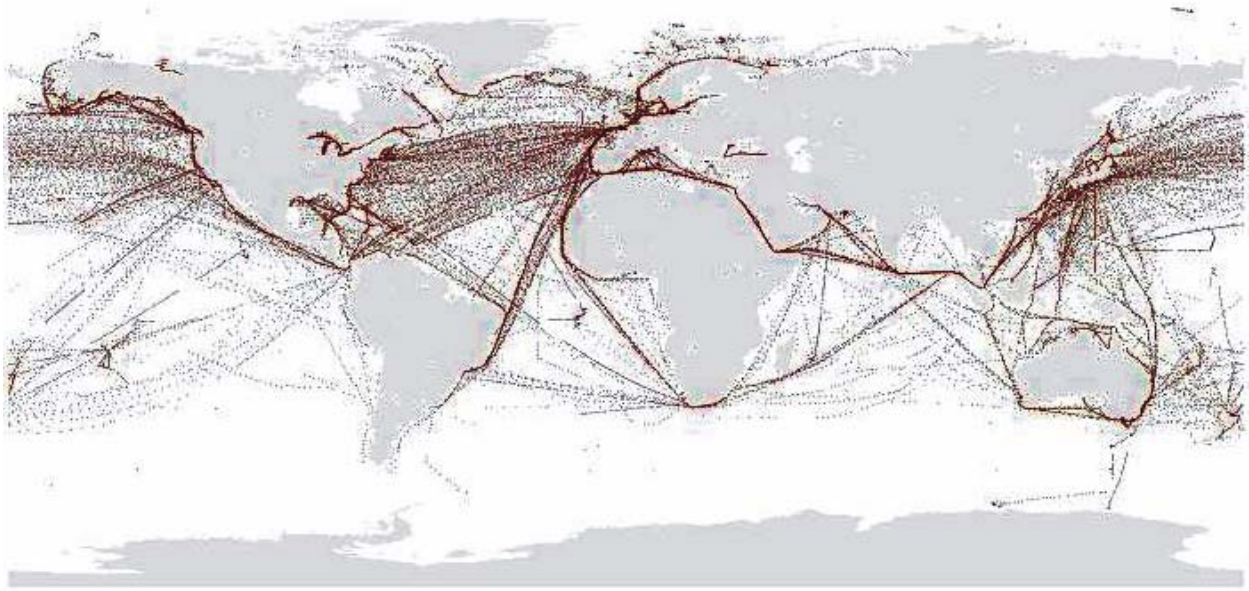
ومن البديهي أن لموقع السفينة المستهدفة تأثيراً كبيراً على احتمالية الرصد. فعلى سبيل المثال، فإن سفينة تقع بعيداً عن مسارات الشحن المستخدمة بكثافة قد يتم رصدها بتأكيد يقترب من 100%. غير أن ذلك لن يكون هو الحال بالنسبة لسفينة تقع بالقرب من مناطق مستخدمة بقدر أكبر من الكثافة. ولأغراض هذه الدراسة، استُخدمت سفينة مستهدفة على أربعة مواقع إلزامية. فعلى مسافة 000 1 كيلومتر من الساحل لمدينتي نيويورك ولوس أنجلس في الولايات المتحدة الأمريكية، اختيرت سفينة واحدة بالقرب من خليج المكسيك وأخرى من وسط المحيط الأطلسي.

والواقع أن التوزيع الجغرافي للسفينة أمر يتسم بقدر كبير من التحدي، ويمكن استخلاص تمثيل واحد مفيد لكثافة السفن في العالم من مراقبة الطقس الطوعية التي تبلّغها السفن من عرض البحر. وكانت مجموعة متاحة من البيانات لشهر أكتوبر 2004 تحتوي على أكثر من 000 80 تقرير مراقبة الطقس بما في ذلك ما يتصل بها من بيانات عن خطوط العرض والطول، من نحو 80 سفينة. ويتضمن الشكل 12 هذا التوزيع. وكما يتضح من هذه البيانات، فإن كثافة المواقع تزيد كثيراً في المناطق الساحلية ومسارات الشحن الرئيسية، وتنخفض بصورة نسبية في مناطق عرض المحيط كما هو متوقع. ويُفترض أن التوزيع النسبي لموقع السفينة في هذه البيانات يوفر تمثيلاً معقولاً على النطاق العالمي لسفن الصنف A. غير أن هذا التوزيع لن يمثل بدرجة كافية توزيعات سفن الصنف B حيث من المتوقع أن تقتصر بدرجة كبيرة على المناطق الساحلية.

الشكل 12

مثال على التوزيع العالمي لسفن الصنف A

مواقع إبلاغ سفينة مراقبة طوعية
أكتوبر 2004



Rap 2084-12

والخطوة الأولى التي يمكن اتخاذها، باستخدام قاعدة البيانات هذه، هي دراسة السفن من الصنف A باستخدام توزيع أكثر واقعية للسفن في العالم.

ويمكن إجراء التحليل لتوزيعات السفن غير الموحدة باستخدام هذه البيانات، وعملية محاكاة مونتِ كارلو التي تمثل الوصف الوارد أعلاه مع إجراء التغييرات الإضافية التالية:

- تستخدم مجموعة فرعية عشوائية من مواقع السفن المتضمّنة في بيانات مراقبة الطقس بدلاً من التوزيع الموحد للمواقع داخل نطاق تغطية الساتل.
- يوضع موقع ساتلي على نسق مدار ساتلي تمثيلي يمر فوق السفينة المستهدفة وفقاً لمعلمات مدار الساتل المفترض.

وتبين الأشكال من 13 إلى 16 الاحتمالية الناشئة لرصد السفن من الصنف A كدالة على عدد السفن المجهزة من الصنف A في العالم بالنسبة لنقاط الاختبار الأربع المحددة آنفاً. ويلاحظ التغييرات في الإحداثية لبيان العدد الإجمالي لسفن الصنف A المجهزة في العالم.

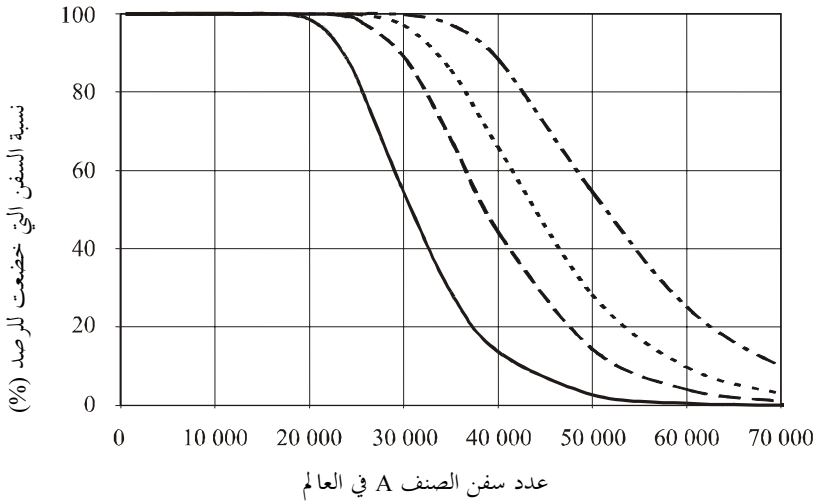
8 التقنيات المرشحة لتعزيز قدرة الساتل

تبين نتائج التحليل المقدمة هنا السلامة التقنية والقيود على القدرة باستخدام الرصد الساتلي لنظام AIS لتوفير قدرات رصد طويلة المدى للسفن. وتشير الدراسة، باستخدام مختلف السيناريوهات والتقديرات الساتلية لكثافة السفن من الصنف A المجهزة بنظام AIS في العالم، إلى أن كثافة السفن في بعض المناطق الجغرافية وخاصة شمال المحيط الأطلسي قد تتجاوز القدرات المتوقعة للمناولة الساتلية للسفن. وأجريت دراسات أخرى لفحص مختلف المفاهيم والتقنيات لزيادة قدرة نظام AIS الساتلية على استيعاب هذه الكثافات المتوقعة للسفن الكبيرة بدرجة أفضل. ويكفي عادة لفحص مختلف هذه التقنيات وهو الأمر الأكثر ملاءمة كذلك، معالجة المسألة من وجهة نظر التوزيع الموحد للسفن. وسوف تكون التحسينات في القدرة الممكنة باستخدام قاعدة بيانات السفن العالمية، كنسبة مئوية، مماثلة بدرجة كبيرة للنتائج المستخلصة هنا باستخدام التوزيع الموحد للسفن. وفيما يلي وصف لأربع تقنيات محتملة.

الشكل 13

إحصاءات الرصد باستخدام بيانات السفن في أنحاء العالم

(السفينة المستهدفة تقع على مسافة 1 000 km من ساحل لو أنجليس، CA، USA)

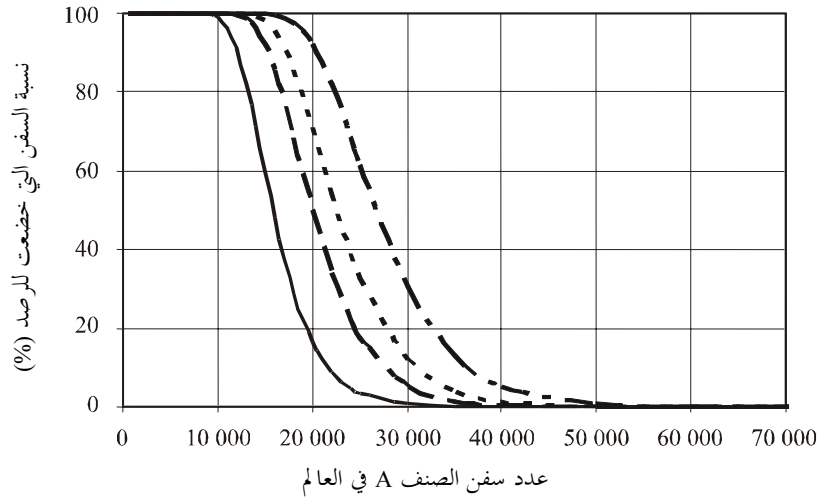


Rap 2084-13

الشكل 14

إحصاءات الرصد باستخدام بيانات السفن في أنحاء العالم

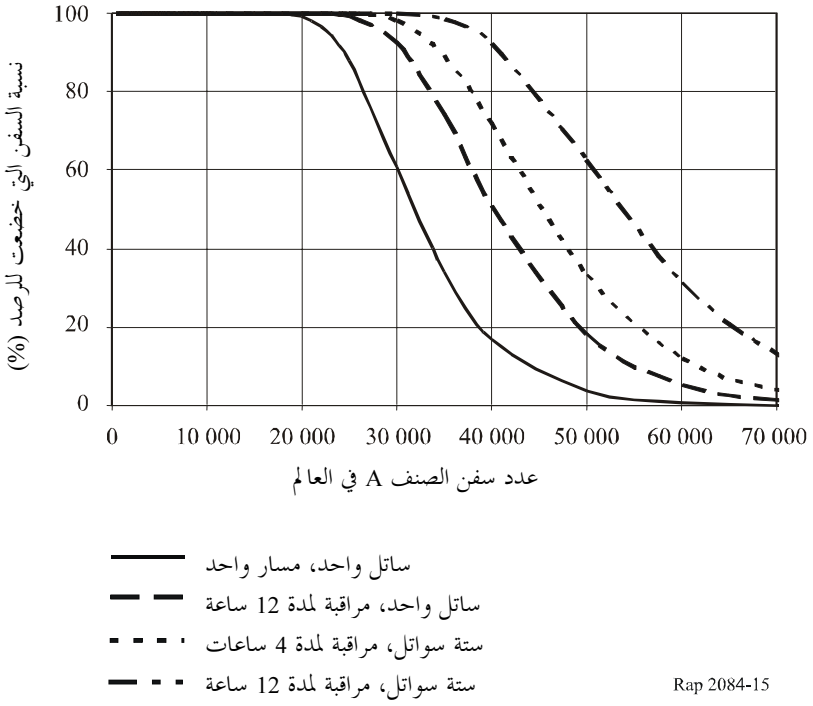
(السفينة المستهدفة تقع على مسافة 1 000 km من ساحل نيويورك، NY، USA)



Rap 2084-14

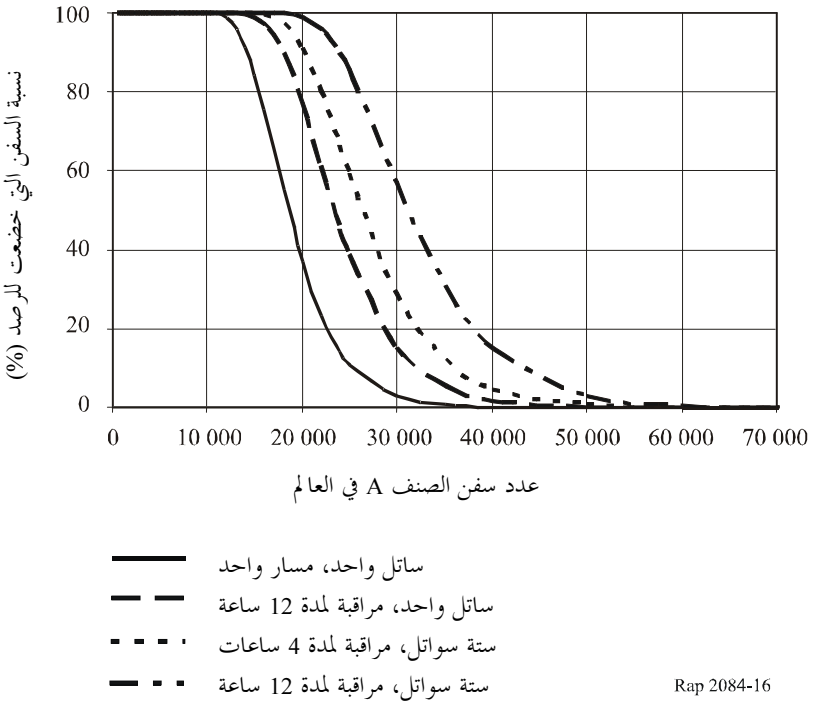
الشكل 15

إحصاءات الرصد باستخدام بيانات السفن من أنحاء العالم
(السفينة المستهدفة تقع على خليج المكسيك)



الشكل 16

إحصاءات الرصد باستخدام بيانات السفن في أنحاء العالم
(السفينة المستهدفة تقع في وسط المحيط الأطلسي)



1.8 هوائي الساتل

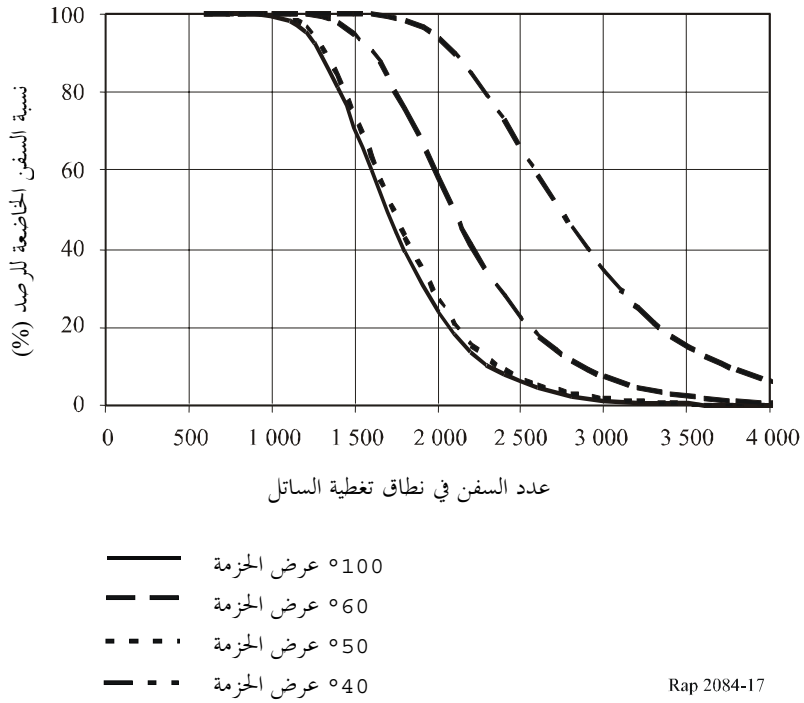
هوائي الساتل لنظام AIS المفترض في هذه الدراسة هو هوائي ذو حزمة عريضة (100° عرض الحزمة) مع كسب الذروة الموجه نحو النقطة الساتلية الفرعية. وقد تم فحص استخدام الهوائي الذي يقل عرض الحزمة فيه عن ذلك لتحديد ما إذا كان استخدام هذا الهوائي يمكن أن يوفر زيادة فعالة في قدرة الساتل. غير أن خفض عرض حزمة الهوائي يقلل من عدد رسائل السفن المتنافسة الحاملة لنظام AIS عند الساتل في أي لحظة معينة. ويؤدي انخفاض عدد رسائل AIS، بدوره، إلى زيادة احتماليات الرصد مما يزيد بصورة فعالة من قدرة الساتل.

غير أن هناك عاملين يميلان إلى التخفيف من زيادة القدرة المحتملة. أولاً، فإنه حتى على الرغم من خفض عرض حزمة −3 dB، قد يظل كسب الفص الجانبي في اتجاه الأفق كافياً لرصد رسائل AIS من السفن المتنافسة عند أو بالقرب من الأفق. وثانياً، سيظل الساتل مرئياً، من خلال تغطية ساتلية أصغر، من السفينة المستهدفة المعينة لفترة زمنية قصيرة. ويتضح من المعادلات الواردة في الفقرة 5 أن انخفاض فترة رؤية الساتل تميل إلى إنقاص قدرته.

ويبين الشكل 17 التأثيرات المجتمعة لهذه العوامل المتنافسة الثلاثة. فكما يتضح فإن تضييق عرض حزمة الهوائي إلى 60° أو أقل يزيد من قدرة الساتل. غير أن هذه الزيادة في القدرة قد تحدث بتكلفة كبيرة حيث إن انخفاض عرض حزمة الهوائي تتطلب بصورة أساسية هوائي ساتلي أكبر وهو الأمر الذي قد لا يتوافق مع مفهوم سواتل LEO الصغيرة.

الشكل 17

إحصاءات الرصد لمختلف عروض حزم الهوائيات الساتلية
(ساتل واحد وسيناريو مسار واحد)



2.8 التتبُّع الدوبلري

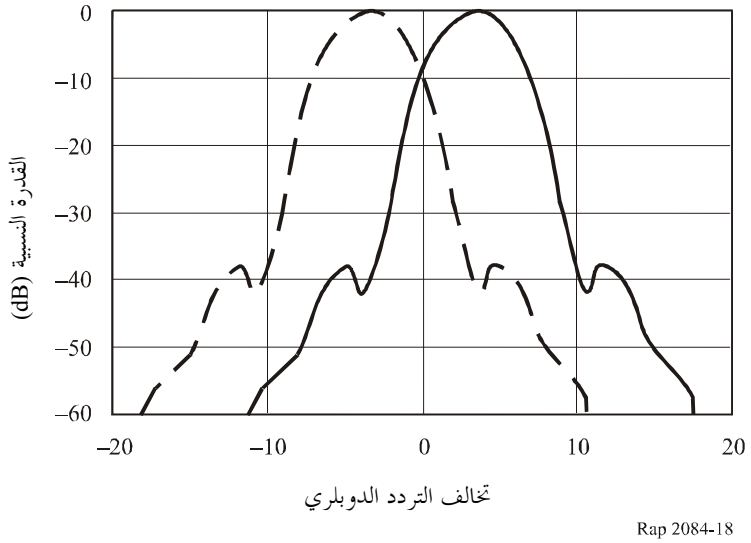
ثمة نهج يجري تنفيذه على ساتل سابق للبيانات العملية يتمثل في استخدام التتبّع الدوبلري. ونظراً لأن الإزاحات الدوبلرية بما يصل إلى ±3,5 kHz التي تحدث نتيجة لحركة الساتل، يتعين أن يكون عرض نطاق جهاز الاستقبال في الساتل لنظام AIS أكبر في البداية من الحد الأمثل لتشكيل الإبراق GMSK. وفي حين أن عرض النطاق الأكبر يتيح استقبال إشارة AIS المرغوبة

في ظل أي ظروف الإزاحة الدوبلرية، فإنه يتيح أيضاً استقبال جميع إشارات AIS من السفن المتنافسة على نفس القناة في ظل ظروف الإزاحة الدوبلرية.

وتتيح توليفة من التتبّع الأوتوماتي للإزاحة الدوبلرية لإشارات AIS المرغوبة ومواءمة الترددات وفقاً لذلك باستخدام عرض نطاق أضيق لجهاز الاستقبال، مما يؤدي إلى درجة من التمييز ضد إشارات AIS من السفن المتنافسة الأخرى التي تعمل على أساس إزاحات دوبلرية مختلفة. وعلى الرغم من أنه لا توجد حاجة إلى وصف تفاصيل تقنيات التتبّع الدوبلري هنا، فإن من الممكن فحص الكسب الناشئ عن ذلك في قدرة الساتل. ويبين الشكل 18 طيف الإرسال بقدرة التردد العادية والمكونة من إشارتين للإبراق GMSK 9,6 k/s تمثل إحداهما إشارة AIS المرغوبة والأخرى إشارة AIS المتنافسة مع الإزاحات الدوبلرية المختلفة. وفي هذا المثال، تزاح إشارة AIS المرغوبة دوبلرياً بما يقل بمقدار 3,5 kHz عن ترددات المركز الاسمية إزاحات دوبلرية في إشارة غير مرغوبة أعلى بمقدار 3,5 kHz. وعلى ذلك يكون الفرق بين الترددين المركزيين في الإشارتين هو 7 kHz. وهذا الفرق في الإزاحات الدوبلرية هو الذي يوفر احتمال توهين رسائل AIS من السفن المتنافسة الأخرى.

الشكل 18

إشارات AIS المرغوبة وغير المرغوبة في التخالف الدوبلري الأقصى



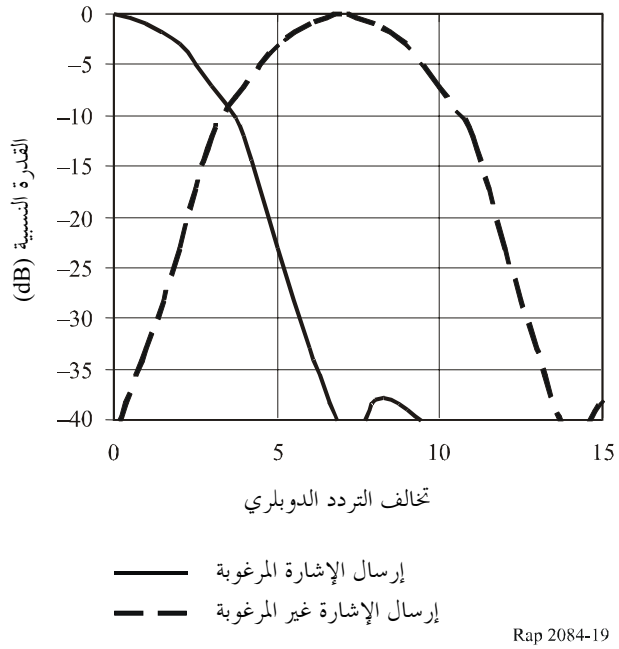
ويمكن من خلال استخدام تتبُّع الإزاحة الدوبلرية لإشارة مرغوبة معينة في الوقت الحقيقي، التعويض عن التخالف في الترددات الدوبلرية. ويبين الشكل 19 نفس النموذج المشار إليه أعلاه عند نطاق القاعدة حيث تم تحديد الإزاحة الدوبلرية للإشارة المرغوبة والتعويض عنها وفصل الإشارة غير المرغوبة في الترددات بواسطة الفرق في الإزاحة الدوبلرية – التي تبلغ في هذا المثال 7 kHz.

ويمكن من خلال تمرير الإشارة أعلاه من خلال مرشاح منخفض التحرير ضيق النطاق، إجراء خفض كبير في مستوى إشارة التداخل. غير أن المثال المشار إليه أعلاه يمثل أفضل حالة تنطوي على أكبر فرق في الإزاحة الدوبلرية. واستناداً إلى توزيع السفن، يتوقع أن يبلغ متوسط الفرق في الإزاحة الدوبلرية نحو 2,7 kHz. ويبين الشكل 20 التمييز الدوبلري الناتج عن ذلك بوصفه دالة على الفرق في التحوّل الدوبلري الذي تحقق في نظام نموذجي.

ويتعين لتقييم فعالية هذه التقنية، استخدام طريقة تحليل المحاكاة. ويجري توسيع نطاق نموذج المحاكاة الذي ورد وصفه آنفاً بصورة أكبر لكي يشمل حساب الإزاحة في الترددات الدوبلرية لرسائل AIS المرغوبة وكل رسالة من الرسائل غير المرغوبة وخفض مستوى القدرة ذات الصلة بحسب الكمية المبيّنة في الشكل 20 بالنسبة لكل فترة مرور ساتلية واحدة. ويتضمن الشكل 21 النتائج الخاصة بذلك.

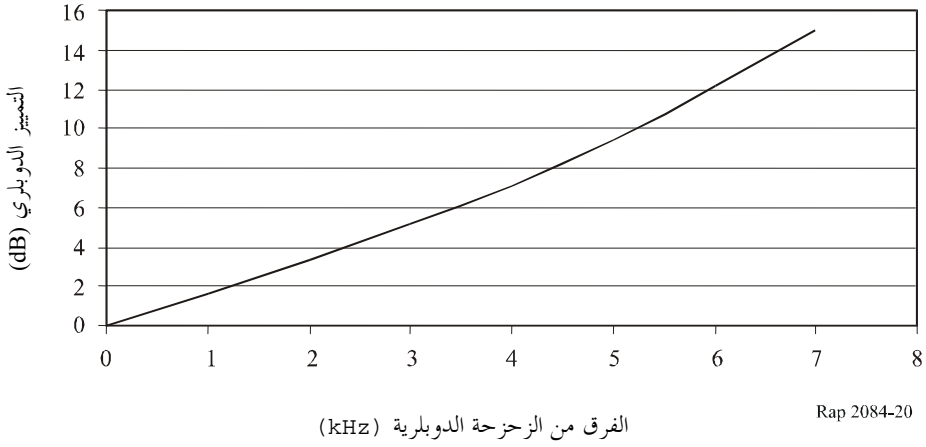
الشكل 19

إشارات AIS المرغوبة وغير المرغوبة عند النطاق الأساسي بعد التعويض الدوبلري



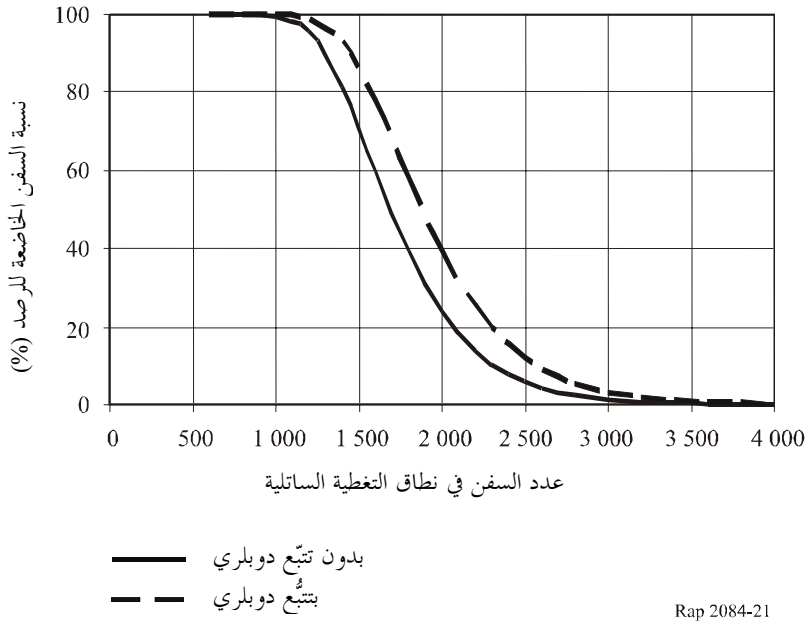
الشكل 20

التمييز الدوبلري بعد المرشاح ضيق النطاق



الشكل 21

إحصاءات الرصد الساتلي مع التتبّع الدوبلري



Rap 2084-21

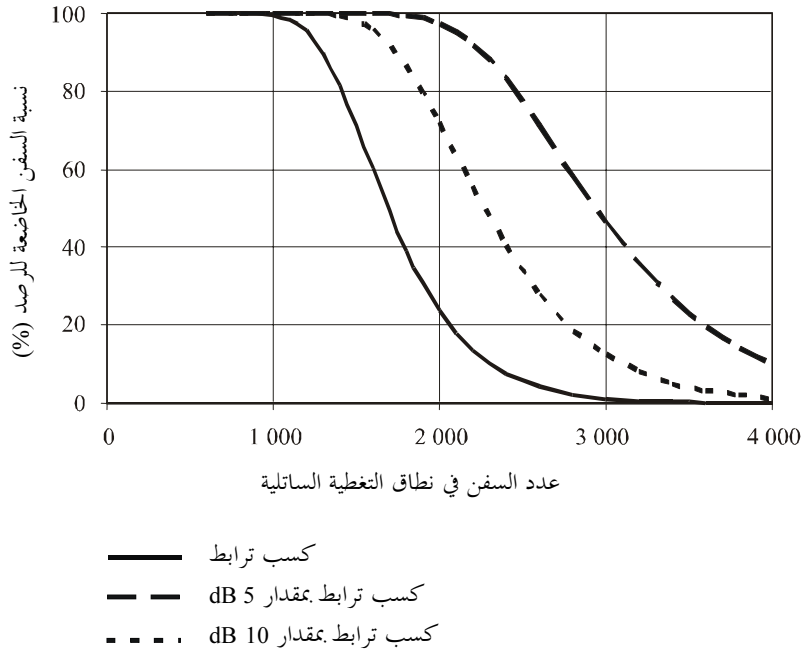
3.8 تجهيز الترابط

ثمة تقنية ممكنة أخرى لتحسين قدرة الساتل تتطلب تعديلاً في معمارية الساتل لتوفير التجهيز على متن الساتل أو مواصلة ربط البيانات المستقبلة على قناتي AIS للتجهيز في محطة أرضية على الأرض. وسوف تستفيد هذه الطريقة من الحقيقة الماثلة التي تشير إلى أن رسائل AIS المرسَلة من سفينة معينة تنطوي على درجة كبيرة من الترابط بين رسالة وأخرى. فعلى سبيل المثال، فإنه خلال فترة الرؤية البالغة 13 دقيقة للمرور العلوي المعتاد للساتل، سوف ترسل سفينة معينة نحو 116 رسالة AIS. وخلال هذه الفترة، يجري تكرار ما يقرب من 60% من بتات كل رسالة من هذه الرسائل المرسلة من سفينة تحمل AIS، بصورة متماثلة. ويجري على وجه الخصوص تكرار شفرة تحديد هوية سفينة للخدمة المنتظمة البحرية المتنقلة MMSI مع كل رسالة. ويمكن من خلال الترابط المستمر بين إشارتي AIS المستقبَلتين مع النسخة المرقمنة للإشارات المستقبَلة خلال فترة الثلاثة عشرة دقيقة السابقة، تحقيق قدر من كسب الترابط. ونظراً للانخفاض الطفيف في معدلات بيانات الإرسالات لنظام AIS، يمكن استخدام تقنيات ترابط موازية بدرجة كبيرة لإتاحة التجهيز المستمر في الوقت الحقيقي لبيانات الوصلة الهابطة المستقبَلة.

وعلى الرغم من أن الأمر يقتضي إجراء المزيد من الدراسة لتحديد درجة كسب الترابط القابل للتحقيق باستخدام هذه التقنية، فإن من الممكن تقدير التأثير الفعلي لقدرة رصد AIS الساتلية. فسوف يوفر أي كسب للترابط في إشارة AIS مرغوبة تنشأ عن هذه التقنية على أساس ديسبل مقابل ديسبل (dB for dB) توهيناً لرسائل AIS الأخرى غير المرغوبة. وسوف تكون النتيجة هي إمكانية تحقيق الرصد بنجاح بمعدلات D/U أقل مما كان ينبغي تحقيقه بغير ذلك مما سيؤدي فعلياً إلى خفض معايير حماية D/U عن قيمة التداخل البالغة 10 dB. ويمكن باستخدام نموذج المحاكاة المبين آنفاً، تحديد التأثيرات على احتماليات الرصد في معايير حماية D/U المتباينة. ويعقد الشكل 21 أ) مقارنة بين إحصاءات الرصد في ظل الافتراض بكسب ترابط يبلغ 5 و10 dB، ومنحني التداخل دون كسب ترابط في مسار ساتلي واحد.

الشكل 21 أ)

إحصاءات الرصد الساتلي مع تجهيز الترابط



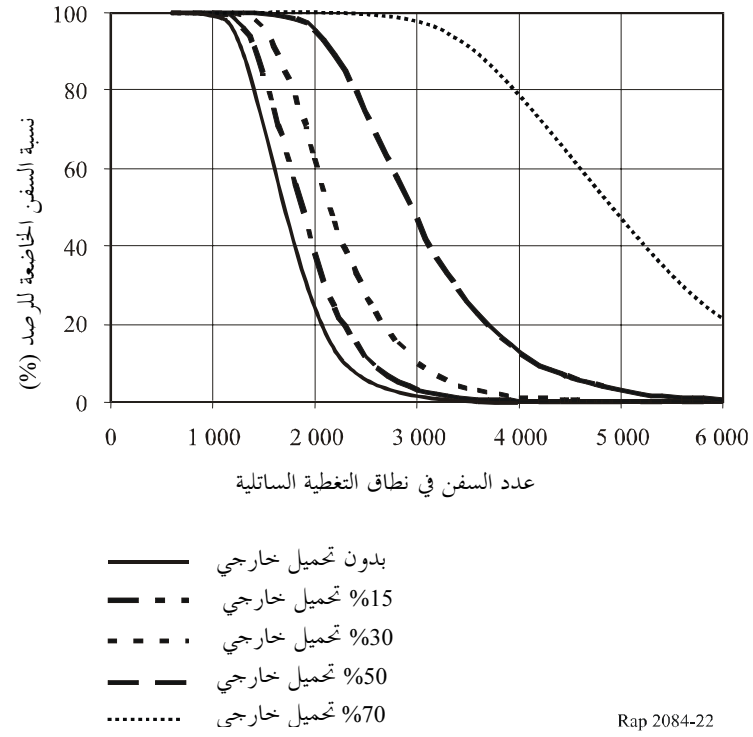
Rap 2084-21

4.8 التحميل الخارجي لحركة السفن الساحلية

توفر معمارية AIS القدرة لمحطة ساحلية لنظام AIS لتوجيه السفن داخل مدى اتصالاتها لتحويل إحدى قناتي AIS أوتوماتياً إلى تردد بديل في النطاق البحري بالموجات المترية VHF. ويكون التحويل في التردد واضحاً لمشغل السفينة وليس له سوى تأثير طفيف على نظام AIS الخاص بالاتصالات العادية من سفينة لسفينة ومن سفينة للشاطئ. وسوف يقلل استخدام هذه المقدرة على أساس روتيني في المناطق الساحلية الكثيفة الاستخدام من التحميل على الرصد الساتلي لنظام AIS من حركة السفن الساحلية. وعلى ذلك يمكن أن تتحسن احتماليات الرصد الساتلي لرسائل AIS من السفن في عرض البحر. وتتمثل إحدى وسائل اختبار هذا المفهوم في تعديل المحطات الساحلية من قاعدة بيانات توزيع السفن المعرفة آنفاً في الشكل 12 حتى تصبح القناة 1 لنظام AIS هي القناة العاملة فقط، وتعيد تشغيل تحليل المحاكاة. غير أن تعريف وتعديل السفن الساحلية في قاعدة بيانات تتكون من 000 80 سجل يشكلان مشكلة. وقد لوحظ أنه نتيجة للتغطية الساتلية شديدة الاتساع والتأثيرات التي تثير العشوائية في حركة الساتل، فإن مجرد تعديل نفس الجزء من السفن من داخل قاعدة البيانات بدلاً من مجرد السفن الساحلية أعطى نفس النتيجة تقريباً. ويبين الشكل 22 احتماليات الرصد الناشئة باستخدام نفس التوزيع غير الموحد للسفن الذي ورد وصف له آنفاً مع أحجام مختلفة من حركة القناة 2 في نظام AIS التي يجري تحميلها الخارجي خلال مسار ساتلي واحد. وسوف يشمل هذا المدى من القيم الأوضاع التي يتم فيها توجيه السفن القريبة من مناطق الموانئ الكبرى فقط للتحميل الخارجي للقناة الثانية من AIS في قناة بديلة والتحميل الخارجي لجميع السفن الساحلية منها.

الشكل 22

إحصاءات الرصد الساتلي مع التحميل الخارجي الساحلي للقناة 2 من نظام AIS



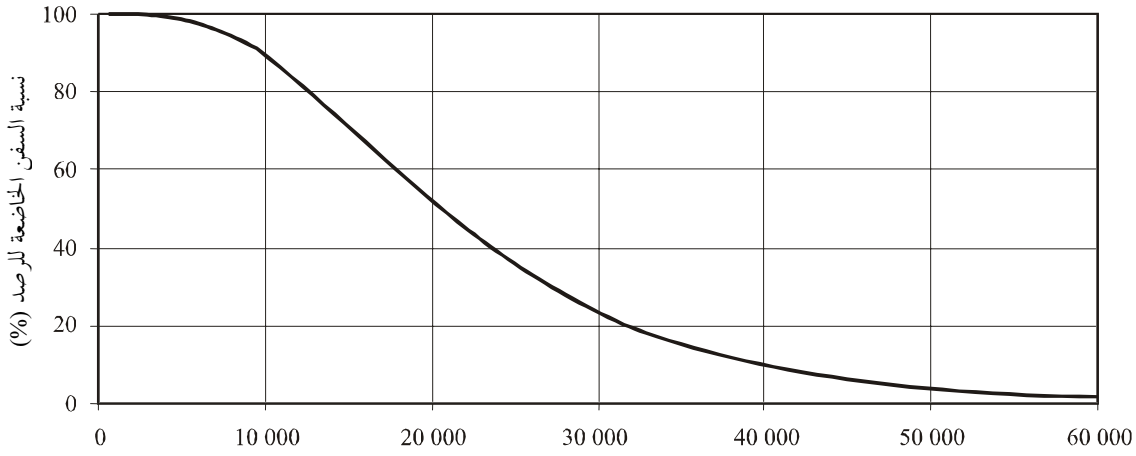
5.8 الدراسات/الحلول الطويلة الأجل

قد يكون من العملي، على المدى الطويل، تنفيذ العديد من التقنيات الموصّفة آنفاً في آن واحد لزيادة تعزيز الرصد الساتلي.

وقد أُدخلت في نطاق المنظمة البحرية الدولية، كدراسة بديلة طويلة الأجل، إمكانية استخدام قناة AIS ثالثة بهيكل رسائل مستمثل للرصد الساتلي. و لم يُستكمل المفهوم فيما يتعلق بنطاق التردد الممكن أو القناة المحددة التي تستخدم في خيار التردد الثالث. ولدى تحديد نطاقات التردد أو القنوات الممكنة للتشغيل، ينبغي أن تؤخذ في الاعتبار بيئة التداخل الناشئة عن الخدمات الحالية في تلك النطاقات لدى تحديد إمكانية استيعاب نظام AIS الساتلي في أي نطاق أو قناة معينة. وبصرف النظر عن نظام التردد العامل، فإن استخدام طول رسالة أقصر وفترة إرسال أطول يمكن أن يزيد بدرجة كبيرة من مقدرة الساتل. فعلى سبيل المثال، فإن استخدام طريقة التحليل الموصّفة آنفاً، يمكن أن تزيد رسالة من 128 بتة وفترة زمنية قدرها 3 دقائق من مقدرة الساتل إلى أكثر من 000 10 سفينة في نطاق تغطية الساتل على النحو المبين في الشكل 23. وسوف يتطلب هذا الخيار إجراء تعديل في القاعدة المركبة والتركيبات المستقبلية لتجهيزات السفن المحملة بنظام AIS.

الشكل 23

مثال لساتل بقناة AIS ثالثة



9 الملاءمة مع الأنظمة الثابتة والمتنقلة الحالية

لم يخصص الترددان اللذان تم تعيينهما كقناتين داخل الخدمة المتنقلة البحرية لوظيفة AIS للأرض على أساس حصري. فقد خُصِّصت هاتان القناتان وما جاورهما من قنوات واستخدمتا في مختلف أقاليم العالم في تطبيقات الخدمة المتنقلة الأخرى بما في ذلك محطات المراسلة العامة بالموجات المترية (VPCS) وفي الخدمة المتنقلة البحرية وفي الأنظمة الراديوية المتنقلة البرية (LMR). وما زالت VPCS تنتشر في بعض الأقاليم الجغرافية بأعداد محدودة على طول المناطق الساحلية. وقد اختارت معظم الإدارات تخصيص محطات LMR التي تبعد مسافة على المناطق الساحلية وممرات الملاحة لضمان الملاءمة المتبادلة بين الخدمات المتنقلة البحرية والخدمات المتنقلة البرية. غير أنه نظراً لأن حزم الهوائيات الساتلية تغطي مساحة جغرافية شاسعة، فإن عمليات الإرسال بواسطة الأنظمة المتنقلة العاملة في الداخل يمكن أن يستمر استقبالها عند الساتل.

وتبين سجلات توزيع الترددات المتاحة أن الكثافة الحالية لتوزيع أنظمة LMR على قناتي AIS هاتين تقل عنها في القنوات الأخرى في النطاق MHz 162-156، وتنخفض بشدة عن الكثافة المعتادة في ترددات الموجات المترية الأخرى الموزّعة على الخدمة المتنقلة البرية.

وتتضمن الفقرات التالية وصفاً لأداء الرصد الساتلي لنظام AIS لدى تشغيله في الأنظمة المتنقلة للقناتين والقناة المجاورة. وسوف تركز الدراسة في البداية على السيناريوهات البسيطة باستخدام التوزيع الموحد للسفن يليه العديد من الأمثلة باستخدام التوزيعات غير الموحدة الأكثر واقعية الموصّفة آنفاً.

1.9 الأنظمة المتنقلة للقناتين

تتمثل الخطوة الأولى في فحص تشغيل ساتل AIS بأنظمة متنقلة في تحديد المعلمات التقنية لكل من أنظمة LMR وVPCS. ويتضمن الجدول 10 معلمات تقنية تمثيلية لهذه الأنظمة. وكما يتبين من هذا الجدول، فإن كلاً من النظامين VPCS وLMR يستخدم عادة قدرة مشعة فعالة (e.r.p.) أعلى بمقدار يصل إلى 14 dB عن أجهزة إرسال AIS على متن السفن التي تتقاسم هذه الترددات. ولا تشكل الفروق في e.r.p. أي مشاكل مواءمة فيما بين هاتين الخدمتين للأرض ما دامت الفواصل بين المسافات كافية. غير أن ذلك قد لا يكون الوضع بالنسبة الرصد الساتلي لنظام AIS. فالتغطية على الأرض من ساتل LEO، كما أُشير إلى ذلك آنفاً، قد يكون لها نصف قطر يبلغ نحو km 3 281. وعلى ذلك فإن أي نظام متنقل مشترك بين القنوات في نصف القطر هذا سيكون له، بالنسبة لعدة فترات زمنية كل يوم، مسار خط بصري مع الساتل.

الجدول 9

المعلمات التقنية لمحطات المراسلة العاملة بالموجات المترية (VPCS) النمطية والراديو المتنقل البري (LMR)

المعلمة	محطة قاعدة متنقلة برية (نطاق واسع)	محطة قاعدة متنقلة برية (نطاق ضيق)	محطة ساحلية للمراسلات العامة بالموجات المترية
القدرة المشعة الفعالة للإرسال	37 إلى 56 dBm (54 dBm نمطياً)	37 إلى 56 dBm (54 dBm نمطياً)	50 dBm
تشكيل	16F3E6	11F3E	16F3E
توجيه القنوات	25 kHz	12,5 kHz	25 kHz
كسب هوائي	0 إلى 9 dBd (6 dBd نمطياً)	0 إلى 9 dBd (6 dBd نمطياً)	
مخطط هوائي	شامل الاتجاه	شامل الاتجاه	شامل الاتجاه

ونظراً لأن القدرة المشعة الفعالة e.r.p أعلى في الأنظمة المتنقلة النمطية، فإن القيم السالبة لنسب الرسائل المرغوبة إلى غير المرغوبة (D/U) قد تنشأ في بعض الأحيان عن نظام VPCS أو LMR مشترك القنوات يقع داخل نطاق تغطية الساتل. وأشارت دراسة أولية إلى أن قيم D/U خلال فترات خط البصر هذه في سيناريو تمثيلي قد تتباين ربما من −17 dB إلى +5 dB بمتوسط قدره −6 dB، وكان جميعها دون الحد الأقصى الاسمي لرسائل D/U للرصد العملي لنظام AIS[5]. ويتسق متوسط قيمة D/U البالغة −6 dB التي حُسبت في هذه الدراسة مع القدرة المشعة المتناحية الفعالة المستخدمة في هذه الدراسة لأجهزة إرسال النظام المتنقل بالمقارنة بجهاز الإرسال لنظام AIS على متن السفن. ويبين الجدول 10 عينة حسابات مستمدة من تلك الدراسة بمسارين ساتليين لجهاز إرسال LMR تمثيلي في وسط الولايات المتحدة الأمريكية، وسفينة مجهزة بنظام AIS في المحيط الأطلسي. فإذا تعين تشغيل أجهزة الإرسال هذه الخاصة بالخدمة المتنقلة المشتركة القنوات على أساس دورة خدمة كاملة 100%، فإن النتيجة الأولية الناجمة عن ذلك مباشرة هي أن الاتجاه الساتلي لنظام AIS لا يتواءم مع التطبيقات الأخرى للخدمة المتنقلة المشتركة بين القنوات.

[5] استخدمت هذه الدراسة منهجية مبسطة على النحو التالي: كانت القدرة المشعة الفعالة المتنقلة ثابتة عند 50 dBm في نصف الكرة الأعلى، وكانت القدرة المشعة الفعالة لنظام AIS على متن سفن ثابتة عند 44 dBm فوق نصف الكرة الأعلى، وكان للهوائي الساتلي كسب ثابت في اتجاه الأرض دون وجود تمييز استقطابي. وقد استُخدم الانتشار الفضائي الحر خلال فترات رؤية الساتل.

الجدول 10

أمثلة على حسابات D/U لخطة أرضية بيئية نمطية في وسط الولايات المتحدة الأمريكية لاتصال السواتل بسفينة في المحيط الأطلسي

نظام القناة المشتركة للساتل				من سفينة لساتل		
D/U (dB)	المدى (km)	الارتفاع (درجة)	زوايا السمت (درجة)	المدى (km)	الارتفاع (درجة)	زاوية السمت (درجة)
المسار 1						
11,5−	3 470,7	1,5	316,7	1 838,9	24,8	9,1
12,6−	3 274,1	3,4	310,3	1 534,4	33,6	16,1
13,7−	3 115,5	5,0	303,1	1 285,6	44,6	28,7
14,5−	3 001,5	6,2	295,3	1 131,2	55,4	54,4
14,4−	2 937,7	6,9	286,9	1 112,1	57,0	95,4
13,5−	2 927,4	7,0	278,2	1 234,7	47,4	125,8
12,1−	2 971,0	6,5	269,7	1 463,6	35,9	140,9
10,8−	3 066,1	5,4	261,6	1 757,3	26,5	149,0
9,7−	3 207,5	3,9	254,1	2 087,8	19,1	153,8
8,9−	3 388,9	2,1	247,4	2 439,3	13,2	157,1
8,2−	3 603,5	0,1	241,4	2 803,1	8,3	159,4
0,2−	1 693,2	28,2	217,1	3 290,4	3,1	112,6
0,9−	1 982,8	21,1	208,7	3 556,0	0,5	117,9
المسار 2						
4,7	1 038,1	65,3	184,1	3 568,8	0,5	93,9
5,2	956,9	89,3	63,6	3 464,2	1,5	87,0
4,3	1 043,2	64,9	7,3	3 401,9	2,1	79,8
2,6	1 262,7	45,9	6,7	3 384,5	2,3	72,4
0,8	1 559,6	32,7	6,6	3 413,0	2,0	65,0
0,7−	1 897,0	23,3	6,7	3 486,3	1,4	57,8
1,9−	2 255,9	16,4	6,8	3 601,3	0,3	51,1
1,8−	2 142,9	18,4	3,9	3 477,2	1,5	52,6
0,3−	1 802,5	25,6	7,7	3 487,0	1,3	59,9
1,5	1 493,1	35,0	13,9	3 536,0	0,9	67,0
3,3	1 239,7	47,3	25,7	3 622,7	0,1	73,8
5,9−	3 098,7	5,0	230,7	3 122,4	4,7	144,3
5,8−	3 376,8	2,1	225,4	3 472,4	1,2	147,3
4,2−	2 841,9	8,2	358,1	3 514,7	1,1	38,5
4,5	1 036,2	65,5	201,5	3 457,1	1,5	94,2
9,8−	3 115,2	4,9	255,4	2 021,3	20,4	150,9
8,9−	3 288,7	3,1	248,4	2 366,4	14,3	154,7
8,2−	3 497,6	1,0	242,2	2 725,9	9,3	157,4
2,5−	1 627,0	30,3	261,2	2 445,7	13,2	102,9
2,4−	1 554,9	32,7	279,3	2 347,1	14,8	92,5
2,7−	1 584,9	31,7	298,2	2 315,9	15,3	81,3
3,2−	1 711,4	28,0	314,5	2 354,9	14,7	70,3
3,8−	1 914,9	22,9	326,9	2 460,7	13,1	59,9
4,4−	2 173,2	17,8	336,0	2 625,1	10,9	50,9
4,8−	2 468,1	13,1	342,7	2 837,4	8,2	43,2

ومن حسن الحظ أن معظم أنظمة الاتصالات المتنقلة تعمل بأقل من 100% من دورة خدمة الإرسال. واستناداً إلى قياسات الطيف عبر الهواء التي تجري في الولايات المتحدة الأمريكية في أجزاء مختارة من النطاق 138-174 MHz وغير ذلك من مصادر البيانات، يمكن التوسع في فئات أجهزة إرسال الخدمة المتنقلة لتصبح العالية (30-100%) والمتوسطة (10-30%) والمنخفضة (أقل من 10%) من فئات دورة خدمة الإرسال. ويتضمن الجدول 11 أمثلة على كل فئة من هذه الفئات.

الجدول 11

مثال على دورة خدمة الإرسال في النظام المتنقل

دورة خدمة عالية (30-100%)	دورة خدمة متوسطة (30-100%)	دورة خدمة منخفضة (10%>)
أنظمة الاستدعاء الراديوي	مكررو الأعمال التجارية والصناعية لنظام LMR المتعدد المستعملين	معظم الأنظمة الراديوية المتنقلة البرية بالمستعمل المفرد
قناة التحكم في نظام تقاسم القنوات	إرسال السلامة العامة	معظم أنظمة LMR الحكومية الإدارية
أنظمة النمط الإذاعي (مثل إذاعات الطقس)	قنوات الاتصال بنظام تقاسم القنوات	بعض أنواع وصلات التحكم الثابتة في LMR
بعض أنواع القياس عن بُعد القابل للنقل (مثل مجسات الزلازل)	قنوات العمل المتنقلة البحرية بالموجات المترية	
المحطات الساحلية للمراسلات العامة بالموجة المترية		
بعض أنواع وصلات التحكم الثابتة لخدمة LMR		

ويمكن إجراء تحليل تشغيل ما بين القنوات لأجهزة إرسال VPCS وLMR التي تقل فيها دورة خدمة الإرسال عن 100% بنفس الطريقة المستخدمة في تحليل الأداء داخل الأنظمة الذي ترد مواصفته آنفاً. فكما هو الحال في تحليل داخل الأنظمة، فإن المعلمات التقنية الرئيسية التي ينبغي دراستها هي القدرة المشعة الفعالة للإرسال، ومخطط كسب ارتفاع الهوائي، ودورة خدمة الإرسال. ويمكن أن يتحقق تحليل تأثير ما بين القنوات من أجهزة إرسال LMR/VPCS بإدراج أجهزة الإرسال الإضافية في نموذج المحاكاة الموصّف سابقاً وذلك باستخدام القدرة المشعة الفعالة للإرسال ومعلمات الهوائي ودورة الخدمة. وقد استخدم في هذه الدراسة نظام متنقل بقدرة مشعة فعالة قدرها 50 dBm، واستقطاب رأسي ومخطط ارتفاع هوائي مربع جيب التمام وقد استُخدمت معلمات AIS الموصّفة في الجدول 5. والتغيير الوحيد الضروري هو لمراعاة حقيقة أن معظم الأنظمة المتنقلة تعمل على تردد مفرد وليس على ترددات بديلة كأجهزة إرسال AIS.

وتبين الأشكال من 24 إلى 27 النتائج وفقاً لمجموعة من الظروف لسيناريو ساتل وحيد لخط الأساس ومسار وحيد. فيبين الشكل 24 نسبة السفن التي خضعت للرصد في حالة وجود 1 000 سفينة من الصنف A في نطاق تغطية الساتل، واستُخدمت قناتا AIS مع الأنظمة المتنقلة ما بين القنوات التي لها مدى لدورات خدمة الإرسال. ويتمثل الشكل 25 مع الشكل السابق باستثناء أن قناة واحدة هي القناة 1 لنظام AIS أو القناة 2 لحفظ النظام مع أنظمة متنقلة ما بين القنوات. ويتضمن الشكل 26 مثالاً ثالثاً حيث توزع دورات الخدمة في الأنظمة المتنقلة ما بين القنوات بصورة غير متساوية على القناتين 1 و2 لنظام AIS. ويمثل الشكل 27 مثالاً يعمل فيه الساتل بفعالية بمقدرة 1 415 سفينة في الحزمة الرئيسية (أي رصد 80% من السفن)، وأنظمة متنقلة مشتركة القنوات بتقاسم قناة واحدة فقط من قناتي AIS. ويتماثل الشكل 28 مع الشكل 27 باستثناء استخدام سيناريو السواتل الست/والمراقبة لمدة 12 ساعة. ويوجز الجدول 12 المعايير المستخدمة في وضع الأشكال من 24 وحتى 27.

الجدول 12

موجز المعايير المستخدمة في الأشكال من 24 إلى 28

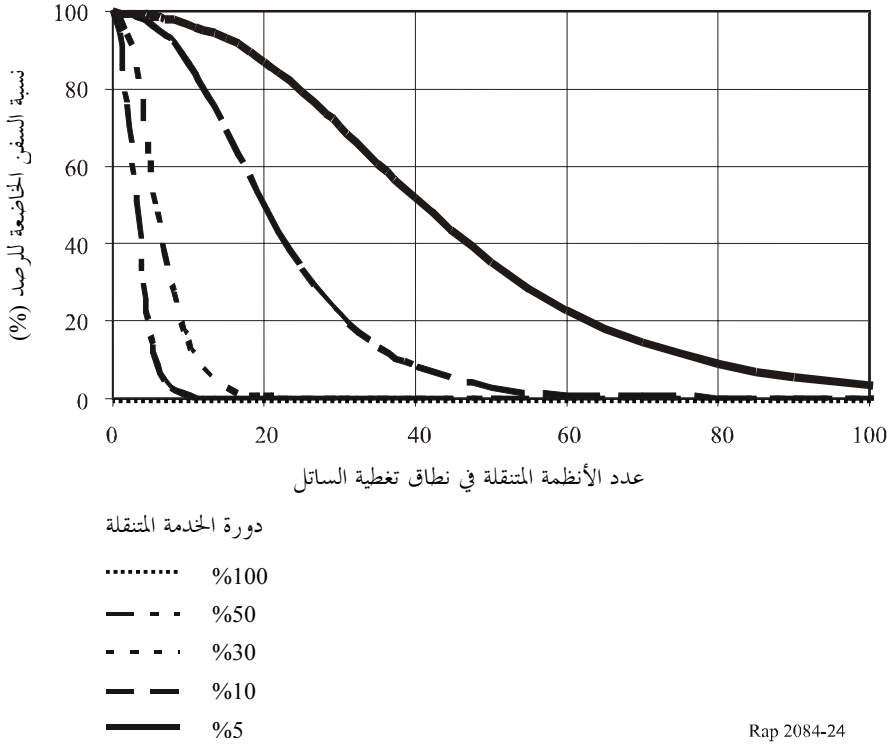
الشكل	عدد السواتل	فترة المراقبة	عدد السفن داخل نطاق التغطية	دورة الخدمة المتنقلة على القناة 1 من AIS	دورة الخدمة المتنقلة على القناة 2 من AIS
24	1	مسار واحد	1 000	تتباين [1]	تتباين
25	1	مسار واحد	1 000	تتباين	دون تنقلات
26	1	مسار واحد	1 000	تتباين	الكل 10%
27	1	مسار واحد	1 415 [2]	تتباين	لا متنقلة
28	6	12 ساعة	2 381 [2]	تتباين	لا متنقلة

[1] تتباين: لجميع الأنظمة المتنقلة ما بين القنوات داخل نطاق تغطية الساتل دورة خدمة حسب المشار إليه في كل شكل.

[2] الساتل بمقدرة (معرفة كمقدرة رصد النسبة 80% من السفن) لكل سيناريو.

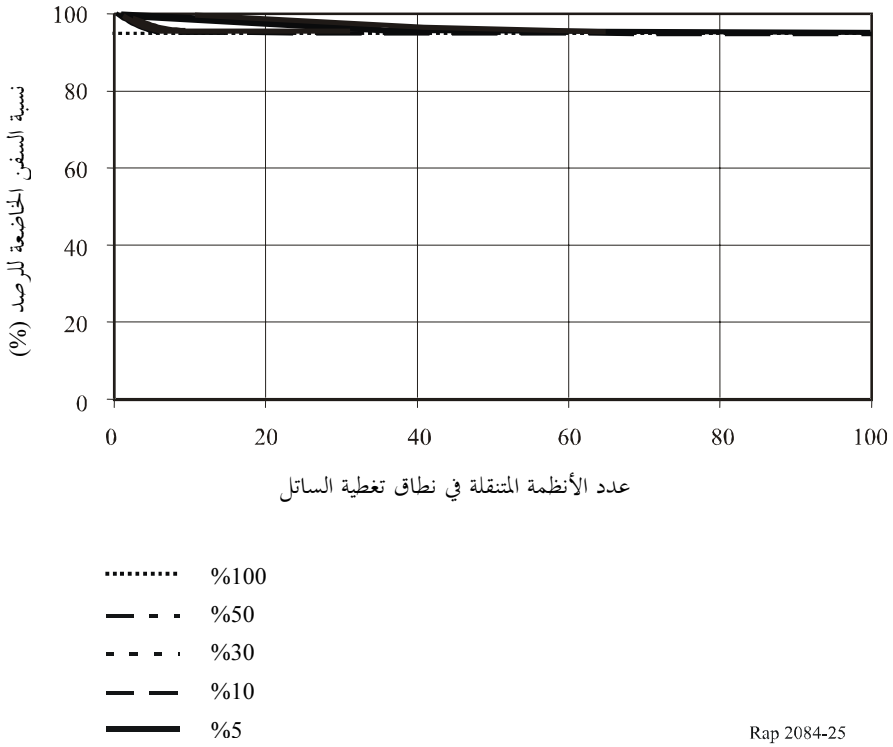
الشكل 24

إحصاءات أداء الرصد الساتلي بنظام متنقل ما بين القنوات



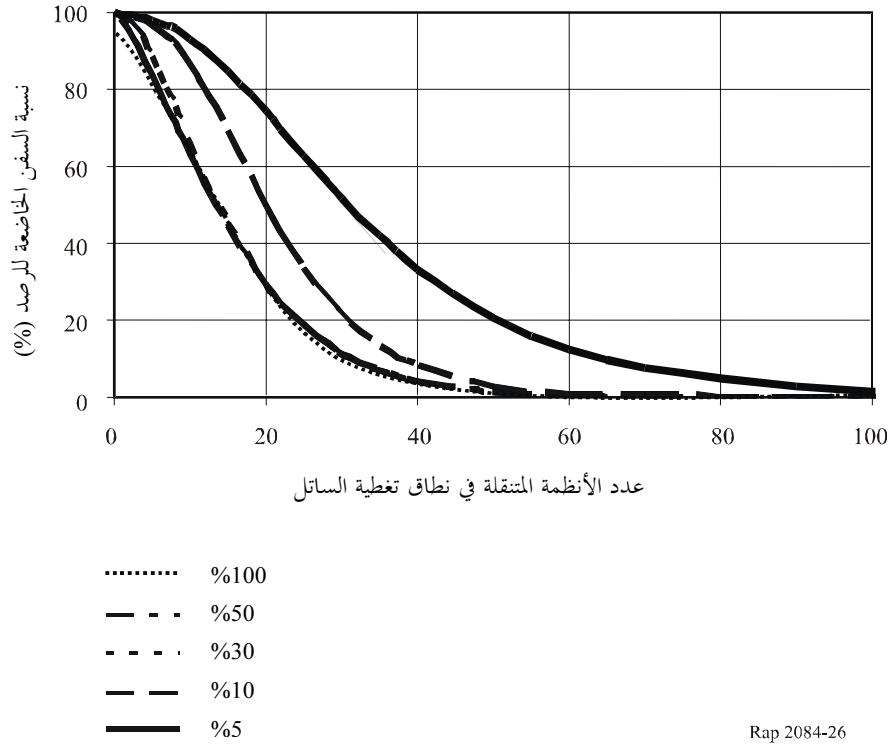
الشكل 25

إحصاءات الرصد الساتلي بعملية متنقلة ما بين القنوات
(عملية ما بين القنوات على قناة واحدة فقط من AIS)



الشكل 26

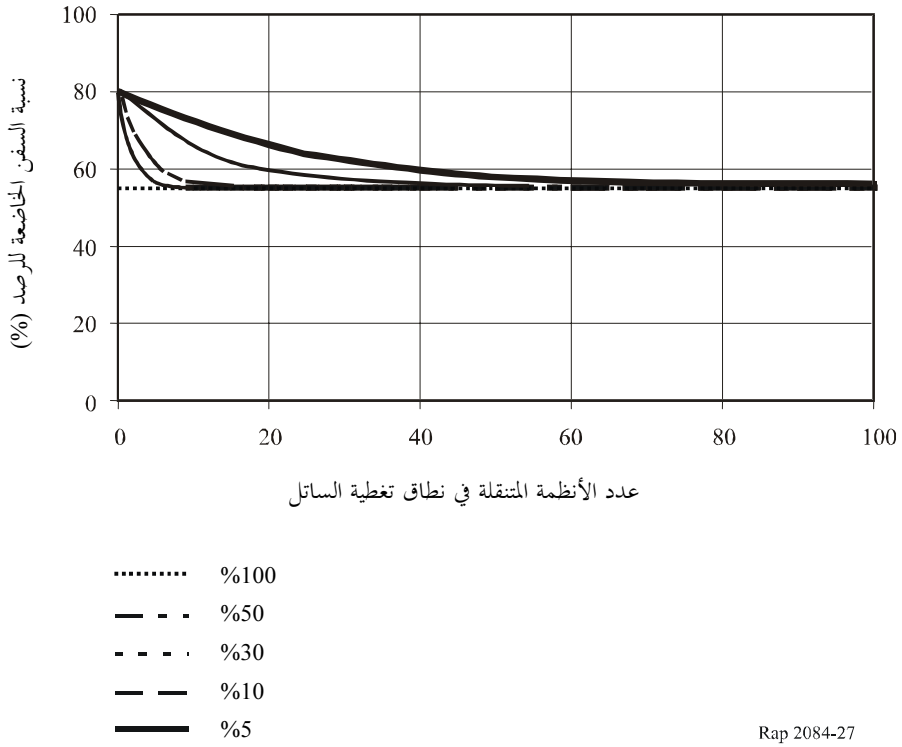
أداء الرصد الساتلي بعملية متنقلة ما بين القنوات
(دورة خدمة عند 10% من قناة واحدة فقط)



الشكل 27

أداء الرصد الساتلي لعملية متنقلة ما بين القنوات

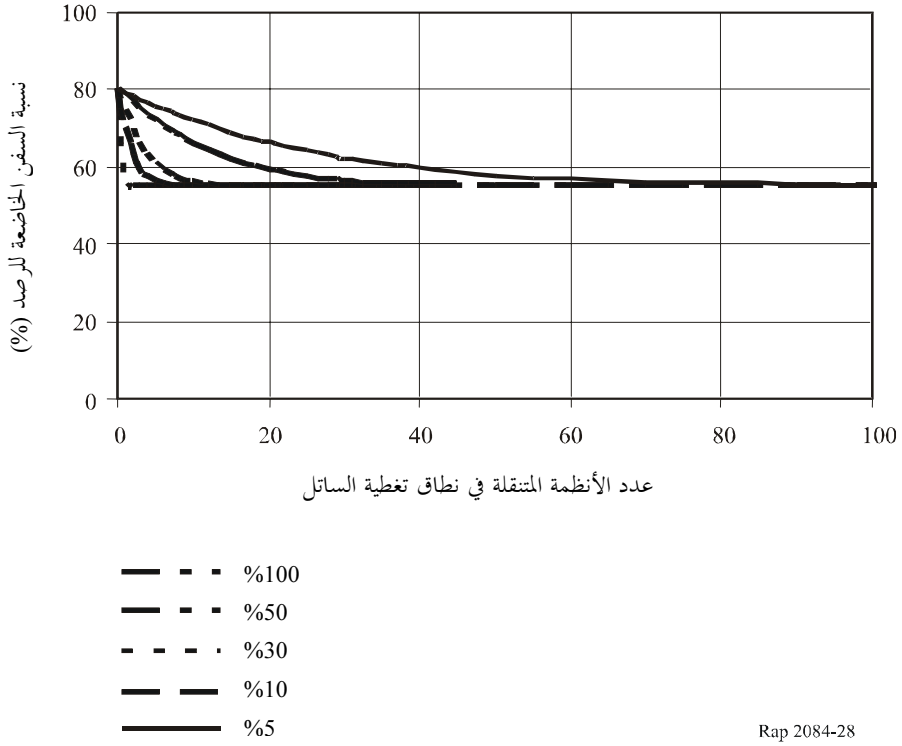
(ساتل يعمل بقدرة (80% رصد)، وعملية ما بين القنوات على قناة واحدة من AIS



الشكل 28

أداء الرصد الساتلي بعملية متنقلة ما بين القنوات

(ساتل يعمل بقدرة (80% رصد)، عملية ما بين القنوات على قناة واحدة فقط من AIS، سيناريو لست سواتل)



وتبين الأمثلة الواردة في الأشكال أعلاه أداء الرصد الساتلي في نظام AIS في ظل مختلف الافتراضات. ونظراً للطابع المتعدد الأبعاد لهذه المنحنيات، فإن من العملي معالجة جميع الظروف المحتملة. ففي بعض الإدارات، تختلف أوضاع التقاسم بالنسبة للترددين المستخدمين في نظام AIS. وفي هذه الأوضاع، يوفر الشكلان 27 و28 حالة التقييد حيث يوجد التقاسم على إحدى قناتي AIS، ويعمل النظام (AIS) على أساس حصري على القناة الأخرى. ويبين هذان الرقمان لكل من السيناريو وحيد الساتل وسيناريو السواتل الستة، أن عدداً محدوداً من دورات الخدمة المنخفضة والأنظمة المتنقلة ما بين القنوات داخل نطاق تغطية الساتل ليس لها سوى تأثير طفيف على أداء الرصد الساتلي في نظام AIS. وبالنسبة لحالات الأعداد الكبيرة من الأنظمة المتنقلة ما بين القنوات في نطاق تغطية الساتل، يظل الرصد الساتلي في نظام AIS ممكناً وإن انخفضت نسبة السفن الخاضعة للرصد.

2.9 مواءمة الأنظمة المتنقلة على قناة مجاورة

مثلما الحال في جميع أنظمة الاتصالات المتنقلة، يمثل التقاسم مع أنظمة القناة المجاورة عاملاً يتعين أخذه في الاعتبار. فمن المسلّم به، أنه يتعين على العملية الساتلية أن تأخذ في الاعتبار أنظمة القناة المجاورة التي تعمل وفقاً لمتطلبات الإرسال خارج النطاق الحالية.

ويتعين في إطار هذه الدراسة، معالجة سيناريوهين:

الحالة 1: المواءمة التي تأخذ في الاعتبار أجهزة إرسال AIS وأجهزة استقبال الأنظمة المتنقلة للقناة المجاورة، و

الحالة 2: المواءمة التي تأخذ في الاعتبار أجهزة إرسال الأنظمة المتنقلة للقناة المجاورة وأجهزة الاستقبال الساتلية.

والحالة الأولى ليست بالوضع الجديد بالطبع، وتتوافر بصرف النظر عن الرصد الساتلي في نظام AIS. وقد تم دراسة ذلك وتوثيقه في تقرير مفصّل للقياسات والتحليل بشأن السجلات العامة في الولايات المتحدة الأمريكية[6]. وقد تناولت الدراسة الحالة الأسوأ لإشارة AIS (فترة زمنية فاصلة للإرسال قدرها 2 ثانية)، وأجهزة استقبال الأنظمة المتنقلة التي تعرضت لكلٍّ من التشكيل التماثلي للتردد وأساليب تشغيل البيانات الصوتية والرقمية. ففي الأسلوب الصوتي FM، خلصت الدراسة إلى أنه عندما يتم الفصل في التردد بمقدار 25 kHz وبهوائيات تقترب من 3 أمتار، كان الانحطاط الأدائي طفيفاً ولا يحول دون الاستخدام العادي للنظام المتنقل. كما خلصت الدراسة إلى أنه لن يكون من الضروري استخدام تصحيح الخطأ الأمامي في جهاز استقبال الجهاز المتنقل لدى عمله في أسلوب البيانات الرقمية لضمان العمل المتوائم. وتنطبق هذه النتائج على أي زوج من القنوات المتجاورة على أي تردد في النطاق المتنقل البحري 156-162,025 MHz.

وتقتصر الحالة الثانية على الرصد الساتلي في نظام AIS. فكما هو الحال في حالة عملية ما بين القنوات، ستكون هناك أيضاً أنظمة متنقلة أخرى تعمل في قنوات مجاورة لتلك التي يستخدمها AIS. والقنوات الثلاث المجاورة للقناتين 1 و2 لنظام AIS هم 161,950 و162,000 و162,050 MHz. وتُسفر معالجة اعتبارات القناة المجاورة عن أبعاد إضافية للدراسة، وهي توسيع الأنظمة المتنقلة عبر القنوات الخمس، ودرجة النبذ المحتملة للقناة المجاورة في جهاز الاستقبال الساتلي. ويتمثل التركيز الرئيسي لهذه الدراسة للقناة المجاورة في عزل التأثيرات النوعية التي تلحق بالرصد الساتلي للنظام AIS نتيجة للأنظمة المتنقلة العاملة على قنوات مجاورة.

نبذ القناة المجاورة: يتعين على مستقبلي AIS على متن السفن التقليدية، لاستيفاء متطلبات اللجنة الكهرتقنية الدولية، أن يكون لديها نبذ لقناة مجاورة لا يقل عن 70 dB. غير أنه يتعين استمثال أي جهاز استقبال ساتلي لنظام AIS لتحقيق الحساسية القصوى وقد لا يستطيع أن يحقق هذا المستوى من أداء القناة المجاورة. ولأغراض هذه الدراسة، أُخذت قيم نبذ القناة المجاورة التالية في الاعتبار 30 dB، 40 dB، 50 dB.

---

[6] Roberts، Melvin S.، وآخرون [فبراير 2004] تحليل EMC لتحديد الهوية الأوتوماتي العالمي وأنظمة المراسلة العامة في النطاق البحري بالموجات المترية (VHF)، مركز الطيف المشترك، أنابوليس ميريلاند، الولايات المتحدة الأمريكية.

توزيع الأنظمة المتنقلة: نظراً لأن الإدارات المختلفة قد تستخدم القنوات الخمس التي نُظرت هنا بطرائق مختلفة فيما يتعلق بالأنشطة المتنقلة، فإن عدد الأنظمة المتنقلة العاملة في كل قناة من هذه القنوات قد يتباين تبايناً شاسعاً في مختلف الأقاليم الجغرافية. إلا أن دراسة مختلف استخدامات النظام المتنقل على القنوات المجاورة الثلاث يتجاوز نطاق هذه الدراسة. غير أنه، لأغراض هذه الدراسة، درس الافتراض بأن عدد الأنظمة المتنقلة العاملة في القنوات المتنقلة للنظام AIS الواقع في نطاق تغطية الهوائي الساتلي متماثل في جميع القنوات الثلاث.

التوزيع الجغرافي للسفن المجهزة بنظام AIS: نظراً للطابع المتعدد الأبعاد للقضايا قيد المعالجة، لم تأخذ الحالات المعالجة أدناه في الاعتبار سوى كثافة واحدة للسفن وهي على وجه التحديد 1 000 سفينة من الصنف A مجهزة بنظام AIS موزعة بصورة موحدة داخل نطاق تغطية الساتل.

النتائج: جرى باستخدام نموذج المحاكاة الموصف آنفاً، فحص التأثيرات على أداء الرصد الساتلي للنظام AIS نتيجة للأنظمة المتنقلة في القناة المجاورة. وتمثلت منهجية التحليل المستخدمة في خفض قدرة الإرسال لدى الأنظمة المتنقلة للقناة المجاورة بمقدار يعادل النبذ المبين للقناة المجاورة عن جهاز الاستقبال الساتلي على أساس ديسبل مقابل ديسبل. ويتضمن الجدول 13 قائمة بنتائج التحليل تبين نسبة السفن الخاضعة للرصد باعتبارها دالة لمختلف المعلمات. وفي هذا الجدول، كان العدد الأقصى الذي تمت دراسته من أجهزة الإرسال المتنقلة على كل قناة مجاورة يبلغ 240 وكانت دورة خدمة الإرسال القصوى المستخدمة 30%.

الجدول 13

نتائج دراسة القناة المجاورة

عدد السفن	عدد الخدمات المتنقلة على القناتين 1 و2	عدد الخدمات المتنقلة على القناة المجاورة	دورة الخدمة المتنقلة	نبذ القناة المجاورة	نسبة السفن الخاضعة للرصد
1 000	0	0	–	–	100%
1 000	0	40	5%	30 dB	100%
1 000	0	80	5%	30 dB	97%
1 000	0	160	5%	30 dB	70%
1 000	0	240	5 %	30 dB	15%
1 000	0	20	10%	30 dB	100%
1 000	0	40	10%	30 dB	90%
1 000	0	80	10%	30 dB	60%
1 000	0	160	10%	30 dB	0%
1 000	0	TBD	30%	30 dB	to be determined
1 000	0	TBD	30%	30 dB	to be determined
1 000	0	240	5%	40 dB	100%
1 000	0	240	10%	40 dB	100%
1 000	0	160	30%	40 dB	100%
1 000	0	240	30%	40 dB	80%
1 000	0	240	30%	50 dB	100%

* تفترض جميع الحالات التي نظرت توزيعاً جغرافياً موحداً للسفن المجهزة بنظام AIS والأنظمة المتنقلة الواقعة ضمن نطاق تغطية الهوائي الساتلي.

(1) عدد الأنظمة المتنقلة في كل قناة من القنوات الثلاث المجاورة للقناتين 1 و2 لنظام AIS.

وكما هو متوقع، أظهرت نتائج التحليل أن أداء الرصد الساتلي لنظام AIS في وجود أنظمة متنقلة لقناة مجاورة متعايشة يعتمد اعتماداً كبيراً على كمية نبذ القناة المجاورة المتاح عند جهاز الاستقبال الساتلي، ودورة خدمة الإرسال في الأنظمة المتنقلة. ويبين هذا التحليل أنه يمكن بنبذ للقناة المجاورة لا يتجاوز 30 dB أن ينحط أداء الرصد الساتلي لنظام AIS بما لا يتجاوز عدداً معتدلاً من الأنظمة المتنقلة لقناة مجاورة متعايشة. ويصبح الرصد الساتلي لنظام AIS، بنبذ للقناة المجاورة مقداره 40 dB أكثر قوة مع الأنظمة المتنقلة للقناة المجاورة المتعايشة. ولم يتحدد على أساس نبذ يصل إلى 50 dB للقناة المجاورة أي خفض في أداء الرصد في مدى المعلمات التي تمت دراستها.

10 موجـــز

يقدم هذا التقرير مفهوم الرصد الساتلي لرسائل AIS في نظام AIS الأرضي الحالي، ويبين، في ظل مجموعة معينة من الظروف، الإمكانيات التقنية والمقدرة لدى أجهزة الاستقبال الساتلية لنظام AIS للعمل في بيئة تتألف من عدد كبير من السفن المجهزة بنظام AIS. وأُدرجت خمسة سيناريوهات في التقرير حددت عدد السواتل المجهزة بنظام AIS (ساتل واحد وستة سواتل) والفترة الزمنية المتاحة لتحديث مواقع السفن (المسار الساتلي الواحد إلى 12 ساعة). وتراوحت مقدرة الساتل (المعرفة عند رصد 80% من السفن) بين 415 1 و380 2 في هذه السيناريوهات. وأظهرت التحليلات التي أجريت باستخدام توزيع تمثيلي عالمي للسفن المجهزة بنظام AIS أن من المتوقع أن تتجاوز كثافات السفن في كثير من الأقاليم حدود القدرة المحسوبة لنظام AIS.

وتمت دراسة أربعة تقنيات ممكنة لتعزيز مقدرة الساتل أظهرت جميعها وجود تحسينات في القدرة تصل إلى 175%.

وتناولت الدراسة عمليات ما بين القنوات فيما بين قناتي AIS المعيّنتين مع أنظمة الاتصالات المتنقلة الأخرى. ونظراً لنطاق تغطية الهوائي الساتلي الشاسع، يمكن أن تؤثر الأنظمة المتنقلة العاملة على مسافة عدة آلاف من الكيلومترات من الممرات الملاحية في أداء الرصد الساتلي لنظام AIS. وأظهرت النتائج أن بوسع الرصد الساتلي لنظام AIS أن يتعايش، بعدد محدود من دورات الخدمة المنخفضة، مع الأنظمة المتنقلة ما بين القنوات. كما أظهرت النتائج أن الرصد الساتلي لنظام AIS يصبح أكثر قوة عندما يتوافر تقاسم ما بين القنوات مع الأنظمة المتنقلة على قناة واحدة فقط من القناتين المستخدمتين بواسطة نظام AIS.