



الجمعية العمومية – الدورة الثانية والأربعون اللجنة الفنية

البند ٢٤ من جدول الأعمال: مبادرات سلامة الطيران و الملاحة الجوية ذات الأولوية

التخفيف من ثغرات نظام الملاحة العالمي بالأقمار الصناعية (GNSS) في مجال الطيران:
تعزيز المرونة والاستمرارية التشغيلية

(ورقة مقدمة من المجلس التنسيقي الدولي لاتحاد صناعات الطيران و الفضاء (ICCAIA)،
ومنظمة خدمات الملاحة الجوية المدنية (CANSO)، والاتحاد الدولي لرابطات طياري الخطوط
الجوية (IFALPA)، والمجلس الدولي لطيران الأعمال (IBAC))

الموجز التنفيذي

تتناول هذه الورقة واقع ثغرات النظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية (GNSS) في الوقت الراهن، وتأثيراتها على مجال الطيران، وإمكانات التخفيف من حدتها، كما تقترح سلسلة من التوصيات موجهة إلى منظمة الطيران المدني الدولي (الإيكاو) ومجتمع الطيران المدني تهدف إلى الحد من آثار التشويش والتزيف على إشارات GNSS.

الإجراء: إن الجمعية العمومية مدعوة إلى ما يلي:

- أ) دعوة الدول الأعضاء إلى تطوير أنظمة لرصد التداخل، ودعم الوسائل التي تُمكن من توفير معلومات آنية وذات صلة تشغيلية حول تداخل إشارات النظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية (GNSS) لمشغلي الطيران.
- ب) توجيه منظمة الطيران المدني الدولي (الإيكاو) للعمل مع الدول و/أو القطاع الصناعي لدعم تطوير المعايير ووسائل الإرشاد اللازمة لتوفير معلومات تشغيلية ذات صلة حول التداخل لمشغلي الطيران.
- ج) توجيه منظمة الطيران المدني الدولي لتسريع الجهود لتحديد وتوحيد أنظمة PNT التكميلية التي تفوق قدرات وسائل الملاحة التقليدية الحالية.
- د) توجيه منظمة الطيران المدني الدولي (الإيكاو) للإسراع في تطوير معايير المصادقة على مجموعات الأقمار الصناعية الأساسية والأنظمة الإضافية للنظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية (GNSS).
- هـ) توجيه منظمة الطيران المدني الدولي للعمل مع الدول ومنظمات تطوير المعايير (RTCA و EUROCAE و IEEE وغيرها) والصناعة لتطوير المتطلبات ودعم معايير الأداء لمزامنة الوقت عبر جميع مجالات الطيران لتعزيز السلامة والكفاءة التشغيلية. وينبغي أن يشمل ذلك توجيهات بشأن المستويات المطلوبة لضمان تزامن الوقت، بما في ذلك الدقة والسلامة والاستمرارية في تزامن الوقت.

¹ قدم المجلس التنسيقي الدولي لاتحاد صناعات الطيران و الفضاء (ICCAIA) النسخة باللغات: العربية والصينية والإنجليزية والفرنسية والروسية والإسبانية.

(و) حث الدول على التعاون مع القطاع الصناعي/تشجيع القطاع الصناعي/دعم القطاع الصناعي لمواصلة تطوير ونشر التقنيات التي تُعزّز قدرة أجهزة استقبال النظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية (GNSS) والطائرات المزودة بها على مقاومة التشويش والتزيف في إشارات نظام GNSS	الأهداف الاستراتيجية: ترتبط هذه الورقة بالهدفين الاستراتيجيين "ضمان السلامة والأمن لكل رحلة جوية" و"توفير الطيران لسبل التنقل السلس والميسور والموثوق به للجميع".
لا يوجد.	الآثار المالية:
قرار الجمعية ٣٢-٢٠: "تطوير ووضع إطار عمل مناسب طويل الأمد للنظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية (GNSS)"	المراجع:

١ - المقدمة

١-١ تعد أنظمة النظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية (GNSS) ضرورية للطيران الحديث، حيث توفر معلومات مهمة عن الموقع والملاحة والتوقيت (PNT) التي تدعم مختلف الوظائف لتعزيز السلامة والكفاءة التشغيلية. إلا أن تزايد حوادث التداخلات الراديوية (RFI) في النظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية (GNSS)، على شكل تشويش وتزيف، يُشكل تحديات كبيرة لسلامة الطيران وموثوقية العمليات التشغيلية.

٢-١ تتناول هذه الورقة واقع ثغرات النظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية (GNSS) في الوقت الراهن، وتأثيراتها على مجال الطيران، وإمكانيات التخفيف من حدتها، كما تقترح سلسلة من التوصيات موجّهة إلى منظمة الطيران المدني الدولي (الإيكاو) ومجتمع الطيران المدني، بهدف الحد من آثار التداخلات الراديوية في GNSS (مثل التشويش والتزيف).

٢ - المناقشة

١-٢ على مدى عدة سنوات، شهدت حوادث التداخلات الراديوية في نظام GNSS تزايداً مستمراً. يتمثل الوضع الحالي في أن الاضطرابات التشغيلية التي يرجع سببها إلى تداخل الترددات الراديوية في نظام GNSS قد أصبحت حدثاً يومياً في بعض مناطق العالم، مما أدى إلى تراجع هوامش السلامة، والموثوقية التشغيلية وكفاءة عمليات الطائرات المدنية.

٢-٢ ويمكن تصنيف التداخل مع إشارات نظام GNSS إلى نوعين رئيسيين: (١) التداخل غير المقصود، والذي يشمل الإشارات الصادرة عن الأجهزة الإلكترونية، والعوامل البيئية، والتشويش غير المقصود الناتج عن أنظمة مجاورة (مثل أجهزة إعادة بث إشارات GNSS المعطوبة أو المثبتة بشكل غير صحيح)، و(٢) التداخل المتعمد، الذي يتضمن الأفعال المقصودة الهادفة إلى تعطيل إشارات GNSS مثل التشويش والتزيف.

٣-٢ وقد يؤثر التداخل الراديوي في نظام GNSS على أنظمة GNSS بطرق مختلفة. وقد يتسبب ذلك في تأثيرات طفيفة مثل تقليل عدد الأقمار الصناعية المستخدمة في حل موقع وسرعة ووقت (PVT) نظام GNSS، ولكنه قد يضعف أيضاً الأداء السليم لأنظمة GNSS، مما يمنعها من توفير بيانات صحيحة أو يجعلها توفر بيانات خاطئة.

٤-٢ وبسبب تدهور أنظمة GNSS الناجم عن التداخل الراديوي (RFI)، تفقد بعض الأنظمة على متن الطائرة وظائفها (مثل وظيفة (ADS-B out)، ووظيفة (RNP)، و/أو لا تعمل بشكل صحيح (مثل الإنذارات الكاذبة في نظام (TAWS)). ويؤدي هذا التدهور في قدرات الطائرة إلى تقليل هوامش سلامة الطيران، وقد أصبح يحدث يومياً في بعض الأجواء الجوية، ويرجع ذلك بشكل كبير إلى عمليات الطيران التي تتم بالقرب من مناطق النزاع.

٥-٢ التداخل الراديوي في نظام GNSS - الآثار المترتبة على ذلك

١-٥-٢ أصبح التخفيف من المخاطر الناتجة عن التداخل الراديوي في نظام GNSS نشاطاً حيوياً لإدارة المخاطر بالنسبة لمشغلي الطائرات، مع قلة الخيارات العملية المتاحة حالياً لضمان موثوقية العمليات، خاصةً في ظل تزايد مستويات التشويش والتزيف المتعمد. ومن غير المرجح أن يتغير هذا الوضع في المدى القريب نظراً لكثرة عدد مناطق النزاع حول العالم وانتشار التقنيات التشويش و/أو التزيف في إشارات GNSS التي يمكن الوصول إليها بسهولة.

٢-٥-٢ وتُضيف الاختلافات في أنظمة إلكترونيات الطيران وتقنيات الإجراءات التشغيلية الخاصة بكل شركة طيران مستويات إضافية من التعقيد لجهود التخفيف الإجرائي أثناء الطيران، ويزداد هذا التعقيد بفعل تباين الأساليب التي تتبعها الجهات التنظيمية الحكومية في اعتماد إجراءات الطوارئ.

٣-٥-٢ كما تلعب خصائص المجال الجوي الذي تصبح فيه إشارات GNSS غير قابلة للاستخدام دوراً أيضاً في عملية التحول إلى أنظمة بديلة. وقد يؤدي فقدان القدرات الوظيفية والخدمات المعتمدة على نظام GNSS إلى اضطرابات تشغيلية وزيادة عبء العمل على طاقم الطائرة ومراقبي الحركة الجوية، وبالتالي إلى تراجع في هوامش السلامة.

٤-٥-٢ وحتى في الأجواء القارية التي قد يكون فيها الرجوع إلى استخدام وسائل الملاحة التقليدية الأرضية (GBNA) ممكناً، قد يشكل التداخل الراديوي تحدياً في نظام GNSS. فعلى سبيل المثال، قد تؤدي مشكلات أنظمة الطائرة مثل الإنذارات الكاذبة من نظام TAWS إلى زيادة مخاطر السلامة أثناء الطيران، إذ قد يفقد الطاقم ثقته بالنظام ويتجاهل الإنذارات الحقيقية الصادرة عنه.

٥-٥-٢ وعند التعرض لتداخل راديوي (RFI)، قد يتجاوز وقت استعادة مستقبل GNSS على متن الطائرة ٣٠ دقيقة، مما يزيد من خطر حدوث اضطرابات تشغيلية. وفي بعض الحالات، كما هو الحال في شمال الأطلسي، قد يُمنع دخول الطائرات إلى المجال الجوي فوق المحيط إذا كانت الخدمات المستمدة من GNSS، مثل تزامن التوقيت العالمي المنسق (UTC)، غير متوفرة أو بها خلل — على سبيل المثال، فقدان الاتصال بالبيانات قبل نقطة الدخول إلى المجال الجوي فوق المحيط.

٦-٥-٢ حيث تسببت بعض حوادث التزيف في إبلاغ أجهزة استقبال نظام GNSS بتوقيت و/أو تاريخ غير صحيح. وفي بعض الحالات، قد يستمر المرجع الزمني المزيف في العمل حتى بعد توقف تلقي إشارات مزيفة نشطة. وقد يتسبب ذلك في حدوث مشكلات في العديد من الأنظمة التابعة (مثل عدم القدرة على الدخول إلى شبكات البيانات بسبب فحوصات الأمان/التحقق المتعلقة بتزامن الوقت).

٣- التخفيف من التداخل الراديوي في نظام GNSS

١-٣ يُعد التداخل الراديوي في النظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية (GNSS) مشكلة معقدة للغاية، ولا توجد وسيلة للتخفيف منه بشكل كامل في جميع الظروف التشغيلية. إذ يتطلب التخفيف الفعال من التداخل الراديوي في نظام GNSS اعتماد طبقات متعددة من الحماية، تشمل حلولاً تكنولوجية على مستوى جهاز الاستقبال وعلى مستوى الطائرة، وحلولاً فنية تُطبق عند المصدر، بالإضافة إلى تدابير تشغيلية مثل التحول إلى وسائل ملاحة بديلة.

٢-٣ **الحماية عند المصدر.** يمكن من الناحية النظرية تعزيز متانة نظام GNSS من خلال إدخال تعديلات على الأقمار الصناعية وإشاراتها.

١-٢-٣ ويتطلب تنفيذ تدابير التخفيف عند المصدر وقتاً طويلاً، إذ غالباً ما يلزم استبدال نسبة كبيرة من مجموعة الأقمار الصناعية قبل أن تصبح القدرة الجديدة قابلة للتطبيق. كما أن هذه الأساليب محدودة بطبيعتها، نظراً لمحدودية القدرة والطاقم

التردد المتاح، في حين أن مصادر التداخل الراديوي في نظام GNSS تتمتع دائماً بميزة القرب الكبير من الهدف المتأثر بالتداخل. علاوة على ذلك، غالباً ما تكون هناك حاجة أيضاً إلى إدخال تغييرات على معدات المستخدم للاستفادة من التعديلات التي تم إجراؤها على الأقمار الصناعية والإشارات، مما قد يؤدي إلى تمديد إضافي للجدول الزمني حتى تصبح مثل هذه التدابير التخفيفية متاحة.

٣-٢-٢ ويوفر استخدام نظام الملاحة العالمي متعدد الأقمار الصناعية وثنائي التردد (DFMC) بعض المقاومة ضد التداخل الراديوي في نظام GNSS. وتوفر الإشارات الحديثة ذات السرعات الأعلى (أي النطاقات الترددية الأوسع) زيادة في قدرة المعالجة لمواجهة التداخلات الراديوية غير المرغوبة. ومع ذلك، تقتصر هذه المزايا على تحسين يقارب ١٥ ديسيبل فقط مقارنة بمقاومة إشارات L1 (GPS) للتداخل الراديوي. علاوة على ذلك، من المتوقع أن توفر الإشارات الأحدث في المستقبل متانة إضافية، لكنها عملية قد تستغرق عقوداً من الزمن. وقد تم تضمين استخدام نظام DFMC ضمن خارطة الطريق الخاصة بالطيران المدني، مع فهم واضح لتحسينات المتانة التي يقدمها. ويخفف التنوع الترددي المرتبط بنظام DFMC بعض الشيء من التداخل الراديوي الذي قد يحدث على أحد الترددتين فقط. ومع ذلك، من المحتمل أن يقوم متعمدو إصدار التداخل الراديوي في نظام GNSS بقطع الخدمة أو توليد إشارات تزييف على كلا الترددتين معاً.

٣-٢-٣ ويمكن استخدام أساليب التشفير ضد بعض أنواع هجمات التزييف لضمان قدرة المستخدمين على التأكد من أن الإشارات التي يتتبعونها هي إشارات حقيقية مرغوبة وليست إشارات مزيفة. إلا أن هذه الأساليب تتطلب إجراء تغييرات على كل من أنظمة الأقمار الصناعية ومعدات المستخدم لتفعيلها، ولكن قد تكون لها فعالية محدودة ضد هجمات إعادة بث الإشارات. كما أن هذه الأساليب تفرض بعض العبء على مجتمع المستخدمين نظراً لضرورة إدارة المفاتيح التشفيرية التي يجب تحديثها دورياً من خلال طرق آمنة. وتُجرى حالياً بعض الجهود لإضافة قدرات مصادقة التشفير إلى معايير نظام تقييم الإشارات بالأقمار الصناعية (SBAS). ويوفر نظام غاليليو بالفعل خدمة مصادقة التشفير كجزء من الإشارة القياسية في الفضاء. ومع ذلك، فقد بدأت منظمة الطيران المدني الدولي (الإيكو) مؤخراً في توحيد معايير هذه الخدمة الموجودة بالفعل. وعلى الرغم من الفوائد المحتملة لهذه الوسائل في بعض الظروف، إلا أن تدابير التخفيف من هجمات التزييف هذه لن تكون متاحة لسنوات عديدة إلا إذا بُذلت جهود لتسريع عملية توحيد المعايير.

٣-٣ تدابير التخفيف على مستوى جهاز الاستقبال. توجد بعض التقنيات المثيرة للاهتمام لتخفيف التداخل الراديوي في نظام GNSS على مستوى جهاز الاستقبال. ويمكن توظيف خوارزميات معالجة الإشارة المتقدمة لتحسين الكشف عن إشارات التشويش و/أو التزييف. وتُعد هذه الأساليب فعالة جداً في الكشف عن وجود التداخل الراديوي في نظام GNSS. ومع ذلك، قد تكون أساليب التخفيف على مستوى المستقبل أقل قدرة في اكتشاف جميع هجمات التزييف، وخاصة الهجمات الأكثر تطوراً وتعقيداً.

٣-٤ التخفيف من التداخل الراديوي باستخدام هوائيات متعددة العناصر. يجري استخدام الهوائيات التكميلية أو هوائيات نمط الاستقبال الذي يمكن التحكم به (CRPA) في التطبيقات العسكرية لأكثر من ٤٠ عاماً. ولم تشهد هذه الهوائيات استخداماً تجارياً لعدة أسباب. إذ تخضع بعض تقنيات هوائيات نمط الاستقبال المُتحكَّم به (CRPA) لقيود تصدير بسبب استخدامها في التطبيقات العسكرية. علاوة على ذلك، كانت هوائيات CRPA تقليدياً كبيرة الحجم، تستهلك طاقة عالية، ومكلفة مقارنة بهوائيات النمط الإشعاعي الثابتة التقليدية (FRPA) المستخدمة حتى الآن في تطبيقات الطيران المدني. على الرغم من تغير وضع قيود التصدير، لا تزال هناك عوائق كبيرة أمام نشر هوائيات CRPA بسبب التكاليف العالية وعدم اليقين المرتبط بقدرة هذه الأنظمة على الحفاظ على أداء سلامة GNSS حتى في وجود التداخل الراديوي (RFI).

٣-٥ تدابير التخفيف على مستوى تحديد الموقع والوقت والملاحة (PNT) في الطائرة. يمكن التخفيف من التداخل الراديوي في نظام GNSS على مستوى الطائرة من خلال دمج معلومات تحديد الموقع والملاحة والتوقيت (PNT) من عدة

مستشعرات، وتطبيق طبقات حماية على كل مستوى من مستويات أنظمة PNT الفرعية (مثل الهوائي، ونظام GNSS، والقصور الذاتي، والملاحة...). ويمكن استخدام هذه التكاملات في كل من الكشف عن التداخل الراديوي في نظام GNSS والتخفيف من آثاره. ومن خلال المقارنة المتبادلة بين موقع GNSS والمستشعرات الأخرى، يمكن كشف العديد من حوادث التزيف. في حال فقدان إشارة GNSS أو عدم موثوقيتها، يمكن استخدام المستشعرات غير المعتمدة على نظام GNSS ضمن نظام الدمج متعدد المستشعرات كمصدر احتياطي لمعلومات الموقع والملاحة والتوقيت (PNT). ومع ذلك، لا توفر مستشعرات الملاحة البديلة في العديد من الحالات مستوى خدمة طويل الأمد يعادل ما يقدمه نظام GNSS، مما قد يتطلب اتخاذ تدابير تشغيلية مثل تنفيذ إجراءات طيران بديلة مصممة للاستخدام مع وسائل الملاحة التقليدية.

٤ - الاستنتاجات

١-٤ توجد العديد من الحلول التكنولوجية لتعزيز متانة نظام GNSS. ورغم تنوعها، لا يُعتبر أيٌّ منها كافيًا بمفرده للتعامل مع جميع السيناريوهات المحتملة. بما أن هناك سقفًا لقدرة GNSS على مقاومة التداخل، فمن المحتمل أن تظل أنظمة الملاحة الاحتياطية عنصرًا دائمًا في استراتيجية التخفيف الشاملة.

٢-٤ ونظرًا للطبيعة العسكرية لجزء كبير من التداخل الراديوي في نظام GNSS، فإن التنسيق المتقدم مع الجهات المدنية للطيران ليس ممكنًا في جميع الأحوال. بناءً على ذلك، تدفع متطلبات سلامة الطيران إلى استكشاف خيارات بديلة ومكملة لتحديد الموقع والملاحة والتوقيت (APNT أو CPNT)، مع استمرار الاعتماد على وسائل الملاحة التقليدية كخيار احتياطي.

٣-٤ وعلى الرغم من قرارات منظمة الطيران المدني الدولي (الإيكاو) والاتحاد الدولي للاتصالات (ITU)، لا يزال قطاع الطيران يعاني من التداخل الراديوي في نظام GNSS، ولهذا فإن هناك حاجة لاتخاذ إجراءات وتدابير إضافية لضمان السلامة. علاوة على ذلك، من المتوقع أن تستمر تهديدات التداخل الراديوي في نظام GNSS في التطور مع مرور الوقت، مما يوجب اتخاذ إجراءات عاجلة.

— انتهى —