



NOTA DE ESTUDIO

DUODÉCIMA CONFERENCIA DE NAVEGACIÓN AÉREA

Montreal, 19 - 30 de noviembre de 2012

Cuestión 6 del orden del día:

Dirección futura

6.1: Planes y metodologías de implantación

ENFOQUE PARA LA IMPLANTACIÓN ARMONIZADA DEL GNSS A NIVEL MUNDIAL – PERSPECTIVAS SOBRE LA AMENAZA IONOSFÉRICA Y LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS ESPACIALES

(Nota presentada por el Japón)

RESUMEN

En el *Plan Mundial de Capacidad y Eficiencia en la Navegación Aérea* (GANP, Doc 9750) se ha definido el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) como una tecnología básica que facilitará la operación de la navegación basada en la performance (PBN), las operaciones basadas en la trayectoria (TBO) y otras mejoras avanzadas de la ATM gracias a la evolución de la tecnología GNSS.

Dada la importancia de la evaluación correcta de los problemas ionosféricos y otras cuestiones relativas a las condiciones meteorológicas espaciales y de las medidas que deben adoptarse para subsanarlos, la implantación armonizada del GNSS debe llevarse a cabo de manera rentable mediante la estrecha colaboración entre los Estados o entre los Estados y la industria.

En la presente nota se abordan problemas ionosféricos y de las condiciones meteorológicas espaciales que repercuten en la implantación y operación del GNSS en el plazo previsto para las mejoras por bloques del sistema de aviación (ASBU) del GANP y se sugieren medidas para complementar aquellas relativas a la vulnerabilidad del GNSS propuestas en WP/21 “*Cuestiones relativas a la implantación del GNSS*”.

Medidas propuestas a la Conferencia: Se invita a la Conferencia a convenir en la recomendación contenida en el párrafo 3.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Se ha considerado que el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) es una infraestructura de navegación fundamental de respaldo a la navegación basada en la performance (PBN) y las operaciones basadas en la trayectoria (TBO) y otras mejoras avanzadas de la gestión del tránsito aéreo (ATM), que contribuyen a aumentar la capacidad y la eficiencia del transporte aéreo.

1.2 En la WP/21 se explican los detalles técnicos de la vulnerabilidad del GNSS atribuible al fenómeno de las condiciones meteorológicas espaciales, en particular, la anomalía ionosférica, y a continuación se sugiere a la OACI y a los Estados la adopción de medidas para la implantación eficaz del GNSS. Con el fin de lograr un entorno GNSS futuro para la PBN y otras mejoras de la ATM basadas en el GNSS a gran escala, ya sea subregional o regional, las cuestiones de vulnerabilidad debidas a la anomalía ionosférica deben solucionarse con eficacia en tanto sigan siendo un obstáculo para la implantación y operación del GNSS.

1.3 También es de interés para quienes diseñan el GNSS el hecho de que las condiciones meteorológicas espaciales, como se informa en la WP/21, pueden causar el deterioro de los sistemas de CNS y

entrañar peligros de radiación para los seres humanos y la aviónica. Se han iniciado investigaciones en varios Estados a fin de seguir analizando el mecanismo de diferentes fenómenos y sus consecuencias operacionales en la aviación. En el marco de la OACI, los problemas relativos a las condiciones meteorológicas espaciales han sido objeto de debate por algunos organismos de expertos técnicos o a nivel regional.

1.4 A la luz de la expectativa de una implantación constante del GNSS durante el plazo 2013-2028 para las ASBU, los Estados, los proveedores de servicios de navegación aérea (ANSP) y la industria deben continuar estudiando la amenaza ionosférica y otros problemas relativos a las condiciones meteorológicas espaciales como tema a largo plazo que influye en el servicio de navegación armonizado basado en el GNSS a una escala que va más allá de un Estado o una región.

2. ANÁLISIS

2.1 Efectos ionosféricos en el GNSS

2.1.1 Al implantar y operar el GNSS correctamente en un espacio aéreo determinado para sus necesidades operativas particulares, los ANSP y los encargados de la reglamentación no solo deben contar con los conocimientos especializados adecuados, sino también adoptar las medidas que corresponda para evitar los efectos ionosféricos en el GNSS. Como el comportamiento y las características ionosféricas que afectan la actuación del GNSS varían según la región, en concreto, según la latitud magnética, las características ionosféricas deben evaluarse teniendo en cuenta la diferencia regional. (Ref. Apéndice A y WP/21).

2.1.2 Para asistir a quienes necesitan una plataforma GNSS, la OACI ha estudiado los efectos ionosféricos en el GNSS y los ha documentado en documentos de la OACI, entre otros, en el *Manual sobre el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS)* (Doc 9849) y el *Report on Ionospheric Effects on GNSS Aviation Applications by Navigation Systems Panel* [Informe sobre los efectos ionosféricos del GNSS, preparado por el Grupo de expertos en sistemas de navegación (en adelante, “la nota del NSP sobre efectos ionosféricos”)]. Se están realizando estudios adicionales para analizar esos efectos.

2.2 Consideración de los efectos ionosféricos en el GNSS en las ASBU

2.2.1 De acuerdo con las hojas de ruta tecnológicas del GANP y las perspectivas de los proyectos más importantes en materia de GNSS de la WP/21, se prevé estrenar GNSS de frecuencias múltiples y constelaciones múltiples (MF-MC) entre la última mitad del Bloque 1 (2018-22) y la primera del Bloque 2 (2023-27). Teóricamente, el GNSS de MF-MC puede contribuir a mitigar las vulnerabilidades asociadas con la anomalía ionosférica (Ref. párrafo 2 y Apéndice B, WP/21).

2.2.2 Sin embargo, el desarrollo moderado del GNSS adaptado a las MF-MC, con inclusión de la aviónica, y la incertidumbre en cuanto a la disponibilidad de una solución técnica para el período previsto crean dudas acerca de la implantación del GNSS de MF-MC en el plazo previsto. Se prevé que la operación del GNSS en la aviónica actual del GNSS de frecuencia única y constelación única (SF-SC), que hoy en día predomina a nivel mundial, continúe vigente y deba ser respaldada hasta que se establezca adecuadamente un entorno GNSS de MF-MC en un contexto global.

2.2.3 Mientras se requieran servicios basados en el GNSS de SF-SC, en el diseño y el desarrollo del GNSS es esencial caracterizar el comportamiento de la ionosfera y la medida en que esta puede afectar al GNSS. Incluso si se dispone de sistemas basados en GNSS de MF-MC, la caracterización de la ionosfera debe continuar siendo una base importante para garantizar que dichos sistemas mitiguen correctamente los efectos ionosféricos.

2.3 Enfoques a nivel regional y mundial para la mitigación de los efectos ionosféricos

2.3.1 En la WP/21 se recomienda que la OACI y los Estados adopten medidas para reducir la probabilidad de que los efectos ionosféricos interrumpan las señales GNSS. Es necesario caracterizar la ionosfera para diseñar una solución técnica que mitigue la vulnerabilidad del GNSS asociada con la ionosfera.

2.3.2 Para caracterizar la ionosfera de manera más fiable, la clave radica en obtener una cantidad suficiente de datos observados en formularios apropiados en la región donde han de implantarse los servicios GNSS. Para caracterizar la ionosfera de forma eficiente y eficaz y para que esa caracterización sea coherente y fiable en todos los Estados/FIR, los Estados que pertenecen a la misma zona de latitud magnética deben coordinar la recopilación y el intercambio de datos. Si se combinan de adecuadamente, las iniciativas regionales permitirán lograr una caracterización global coordinada de la ionosfera, lo que a su vez contribuirá a la implantación armonizada del GNSS y de la navegación basada en GNSS.

2.3.3 El Japón, centrado en un enfoque colaborativo para hacer frente al problema regional en materia de GNSS, ha trabajado en la caracterización de la anomalía ionosférica para aplicaciones GNSS en la navegación aérea y ha impulsado actividades regionales al respecto. El ENRI (Instituto de investigación en navegación electrónica), organización de investigación especializada en CNS/ATM del Japón, lleva tiempo analizando la amenaza ionosférica y realizando aportes al foro nacional y a los internacionales en esa materia.

2.3.4 En la Región de Asia y el Pacífico se ha establecido el Equipo especial sobre estudios ionosféricos (ISTF) dentro del Subgrupo de Comunicaciones/Navegación/Vigilancia y Meteorología (CNS/MET SG) del Grupo regional Asia/Pacífico de planificación y ejecución de la navegación aérea (APANPIRG) con el objetivo final de lograr una caracterización de la ionosfera a más tardar en el año 2014 aplicable a la toda la región (Ref. Apéndice B). Así, los Estados afectados pueden evitar la duplicación de tareas y contribuir a que los servicios GNSS sean ininterrumpidos en todos los Estados/FIR. Esto debería redundar en un beneficio común para los Estados, los ANSP, los usuarios del espacio aéreo y los fabricantes de GNSS.

2.3.5 Los problemas ionosféricos son de gran interés para el Grupo de trabajo internacional del GBAS (IGWG), grupo voluntario para el estudio de diversos aspectos del GBAS integrado por encargados de la reglamentación, ANSP, industrias e institutos de investigación. Un subgrupo del IGWG está llevando a cabo estudios ionosféricos coordinados para el GBAS. El Japón participa en esa actividad y actúa como enlace entre el IGWG y el NSP de la OACI.

2.3.6 Los datos ionosféricos recogidos en condiciones de perturbación revisten especial importancia cuando los ANSP operan y suministran servicios GNSS todo el tiempo en un espacio aéreo determinado. La ionosfera sufre perturbaciones con mayor frecuencia y severidad durante los períodos de alta actividad solar, que se espera alcance un valor máximo en los próximos dos años y luego once años más tarde y de ahí en adelante. A la luz de la observación del párrafo 2.2, se recomienda desarrollar e implantar el GNSS, con una evaluación adecuada de la perturbación que causa el sol en la ionosfera, sin dejar pasar la oportunidad que se presenta una vez cada diez años.

2.3.7 La participación de los Estados en esa actividad de caracterización ionosférica puede incrementar sus conocimientos especializados y su experiencia práctica, que los Estados afectados deben adquirir a fin de certificar y/o aprobar el diseño y la operación del GNSS, con inclusión de la aviónica, los procedimientos basados en GNSS y las operaciones de aeronaves en su propia jurisdicción.

2.4 Información sobre condiciones meteorológicas espaciales para el GNSS

2.4.1 El tiempo espacial puede definirse como *“las condiciones en el sol y en el viento solar, magnetosfera, ionosfera y termosfera que pueden influir en la actuación y fiabilidad de los sistemas tecnológicos basados en el espacio y en tierra y pueden poner en peligro la vida humana o la salud de las tripulaciones de vuelo y los pasajeros aeronáuticos* (Ref. párrafo 3.9 y Apéndice A de WP/21).

2.4.2 El uso de la información sobre condiciones meteorológicas espaciales es ahora notable dada su aplicación para la seguridad y eficiencia de las operaciones aéreas. En *Concept of Operations for International Space Weather Information in Support of Aviation* [Concepto operacional para la información sobre condiciones meteorológicas espaciales internacionales en apoyo de la aviación (en adelante, CONOPS sobre condiciones meteorológicas espaciales)], que es objeto de examen por un grupo de expertos en meteorología de la OACI, se sugiere que se puede aprovechar la información sobre condiciones meteorológicas espaciales para mitigar la interrupción de las comunicaciones HF, la falla del GNSS, las dosis de radiación por partículas de alta energía, etc.

2.4.3 Las irregularidades ionosféricas que afectan las señales GNSS constituyen uno de los fenómenos de las condiciones meteorológicas espaciales. El control y el pronóstico de las condiciones ionosféricas, que entran en la categoría de información sobre condiciones meteorológicas espaciales, mejorarán la eficacia y la eficiencia de los servicios basados en GNSS de SF-SC mediante el empleo correcto de dicha información. La información sobre condiciones meteorológicas espaciales puede aportar información útil para las advertencias tempranas, el pronóstico de la disponibilidad o la conciencia de la situación de falla de los sistemas GNSS de MF-MC de navegación que se implanten en el futuro, por lo que puede aumentar la eficacia y eficiencia de la operación del GNSS.

2.4.4 En la última versión del CONOPS sobre condiciones meteorológicas espaciales se describen los efectos de las condiciones meteorológicas espaciales en el GNSS, fundamentalmente en latitudes magnéticas intermedias y altas. En la región de latitud magnética baja, los efectos de la termosfera (atmósfera de ambiente neutro) en la ionosfera afectan más al GNSS que en otras regiones (Ref. párrafo 2.1 de la Nota del NSP sobre efectos ionosféricos). Para que sean más prácticos y aplicables en todo el mundo, es preciso examinar los efectos termosféricos en la ionosfera, que son mayores en la región de latitud magnética baja, teniendo en cuenta las diferencias regionales, e incorporarlos adecuadamente en el CONOPS.

3. CONCLUSIÓN

3.1 En el párrafo 2 de la presente nota se pone de relieve la eficacia y la eficiencia de un enfoque colaborativo para hacer frente a la amenaza ionosférica y la utilización óptima de la información de las condiciones climáticas espaciales para aumentar la integridad y disponibilidad del GNSS mediante la mitigación eficaz de los efectos ionosféricos. En este contexto, y con conocimiento de las recomendaciones pertinentes que figuran en la WP/21, se invita a la Conferencia a convenir en las siguientes recomendaciones:

Recomendación 6/x – Información sobre la ionosfera y las condiciones meteorológicas espaciales para la implantación futura del sistema mundial de navegación por satélite

Que la Conferencia solicite a la OACI que:

- a) coordine actividades a nivel regional y mundial en materia de caracterización ionosférica para la implantación armonizada del sistema mundial de navegación por satélite;
- b) prosiga sus esfuerzos para hacer frente a la vulnerabilidad del sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) a las condiciones climáticas espaciales a fin de asistir a los Estados en la implantación del GNSS teniendo en cuenta la evolución del GNSS a largo plazo y las proyecciones de fenómenos de las condiciones meteorológicas espaciales; y
- c) estudie el uso óptimo de la información sobre condiciones meteorológicas espaciales que es aplicable a nivel mundial en regiones de baja a alta latitud magnética a fin de mejorar la actuación del sistema mundial de navegación por satélite en un contexto global.

Que la Conferencia solicite a los Estados que:

- a) cuando se requiera o prevea implantar la gestión del tránsito aéreo basada en el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS), consideren la posibilidad de aplicar un enfoque colaborativo entre Estados o regiones para solucionar los problemas ionosféricos, incluso mediante la caracterización ionosférica para que la implantación del GNSS sea rentable, armonizada y adecuada a nivel regional.

— — — — —

APPENDIX A

A NEED FOR IONOSPHERIC THREAT MODEL IN GNSS IMPLEMENTATION

1. Importance of properly addressing ionospheric threat in GNSS implementation

The ionosphere is one of the vulnerabilities, which need to be properly treated when implementing GNSS. (Ref. ANConf/12-WP/21). To achieve safe and available services, the range of variability in the ionospheric effects (or threats) in the airspace where the GNSS-based air navigation service is provided must be clearly defined.

The ionospheric effects depend primarily on the region with respect to the earth's magnetic field and on solar activity. Thus, the ionospheric effects need to be evaluated in a manner suitable for the region where GNSS-based navigation service is given with data covering high solar activity periods.

2. Distribution of ionosphere

Distribution of the ionosphere is subject to the magnetic latitudes determined by the earth's magnetic field rather than the geographic latitude. The magnetic equator where the magnetic latitude is zero and the magnetic field is horizontal deviate from the geographic equator by about $\pm 10^\circ$ (Figure A.1).

The ionosphere can be divided into three regions by the magnetic latitude, namely, Low-latitude ($\pm 20^\circ$), Mid-latitude (20 to about 65°), and High-latitude (above 65°) regions (Figure A.1). Ionospheric dynamics are strongly affected by the magnetic field, and this dynamism makes the ionospheric phenomena vary by region. For example, the aurora-related phenomena is critical in the auroral region, the mid-latitude region is rather moderate except for the period of severe magnetic storms, and the equatorial region is more disturbed due to so called "equatorial anomaly", which translates into the enhancement of ionospheric density around $\pm 15^\circ$ magnetic latitude due to a local sharp depletion of the ionosphere dubbed "depletions" or "bubbles".

It should be noted that when GNSS signals pass the ionosphere region, the GNSS signals received at a particular site is affected. The locations where signals from a particular satellite passes the ionosphere (Ionospheric Pierce Point: IPP) distribute around the receiving sites with a radius of more than 1600 km (assuming the ionospheric altitude at 350 km), when satellites with elevation angles greater than 5° are used. Providers and regulators of GNSS-based air navigation services should consider the ionospheric effects which influence GNSS performance within the said circular area.

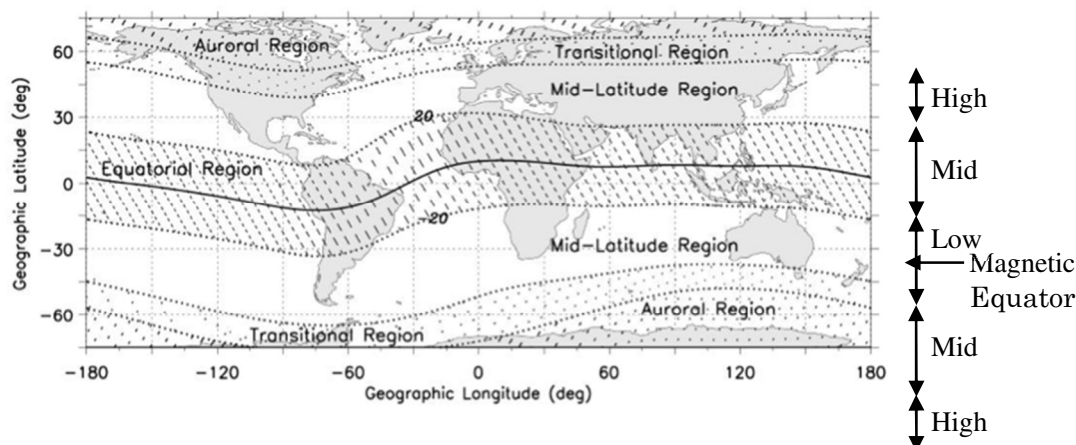


Figure 1. Ionospheric regions (adapted from Figure 3, NSP Iono paper)

3. Solar cycle consideration

The ionospheric activity (density and disturbance) strongly depends on the solar activity in various ways (increase in ionization, increase in the frequency and severity in solar disturbances, increase in thermospheric density and dynamics, etc.). The solar activity has periodicity and repeats the cycle with high and low solar activity periods almost every eleven years. The previous solar cycle reached its bottom in 2009. The current solar cycle is in its increasing phase and is expected to reach its summit around 2013-2014 (Figure A.2). To support GNSS-based services in the long-term, it is obtain to collect ionospheric data during the high solar activity period. Otherwise, it would take another eleven years to obtain data in challenging conditions, which are necessary for GNSS design and engineering to ensure the safety of GNSS-based services as well as the required performance of GNSS.

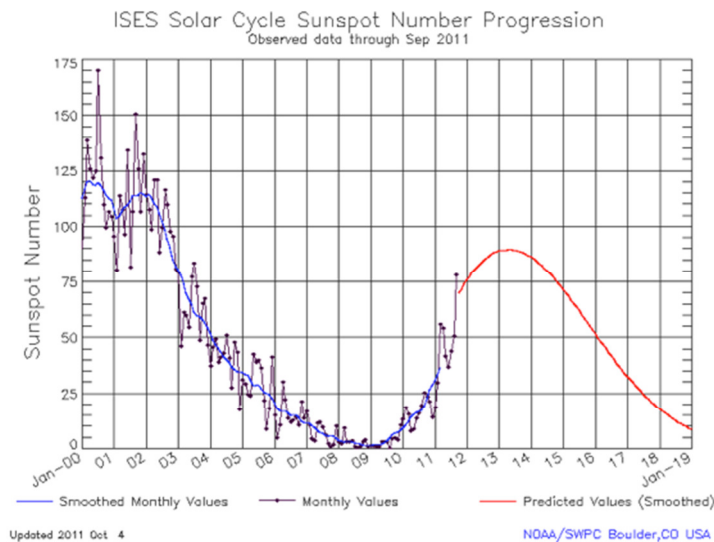


Figure 2. Sun spot number progression as recorded by the U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOOA) (Figure 2, NSP Iono paper)

4. Role of providers and regulators of GNSS-based air navigation services

Defining the range and degree of ionospheric variation which affect GNSS performance in their FIRs (ionospheric threat model) is the role of regulators of GNSS-based air navigation services, whether the model is developed by their own or modeled after other data sources. GNSS-based services must be proved to be compliant with international standards by employing the ionospheric characteristics the regulators define. Thus, it is important for regulators and service providers to correctly understand the ionospheric conditions and to build threat models applicable in their FIRs.

APPENDIX B

IONOSPHERIC STUDY TASK FORCE ACTIVITY IN ASIA/PACIFIC REGION

1. Background

1.1 In the Asia/Pacific Region, it has been widely recognized that ionosphere data collection is indispensable to characterize the low latitude ionosphere more appropriately for implementing GNSS infrastructure in the region. Such awareness was shared not only by air navigation domain, but also by regional multi-national fora such as Asia Pacific Economic Cooperation (APEC).

1.2 In the ICAO framework, the question on how to properly address ionospheric effects on GNSS was table on the 20th Asia/Pacific Air Navigation Planning and Implementing Regional Group meeting (APANPIRG/20) in September 2009. The meeting resolved that the member States cooperate with each other to collect ionosphere data and urged the member States to provide a focal point of contact in their Administration to ICAO for coordinated collection and exchange of the ionosphere data (Ref. APANPIRG/20 Report).

1.3 As a follow-up to the APANPIRG Resolution, its CNS/MET Subgroup meeting in 2010 agreed on conducting a coordinated ionospheric review and measurement campaign in the Asia Pacific region. Recognizing its dedication to R & D on ionospheric threat modeling as well as GNSS, Japan was invited to assume the technical leadership in that regional missions. (Ref. APANPIRG CNS/MET-SG/14 Report and APANPIRG 21 Report).

1.4 Inception of the mission of convening a workshop on the ionosphere data collection, analysis, and sharing in May 2011, which was followed by establishment of a dedicated Task Force, named “Ionospheric Studies Task Force (ISTF)”, of which outlines are explained in the following sections. The 1st meeting of the ISTF (ISTF/1) was held in Tokyo, Japan, in February 2012 resulting in a good kick-off for driving the regional initiative.

2. Purpose and Terms of Reference

2.1 The objectives of ISTF are to facilitate ionospheric data collection and sharing, to study the need for development of Regional Ionospheric Threat Models for GBAS and SBAS, and to develop them if the need is identified.

2.2 The current TOR of ISTF is as follows: Take the responsibility for identification of the available GNSS data source:

- a) make recommendation on sharing scenario for Ionospheric data collected;
- b) make recommendations on selecting ionospheric data sources and sharing scenario for the collected data;
- c) steer process for evaluation of the data analysis;
- d) study the need for development of regional Ionospheric threat models for GBAS and SBAS;
- e) provide guidance on the development of regional Ionospheric threat models for GBAS and SBAS if the need is identified; and

- f) establish rules for use of shared data and the result of study for non-commercial purpose.

3. **Membership**

3.1 The membership of ISTF is open to all the member States of APANPIRG.

3.2 The ISTF/1 meeting was attended by 9 States/Administrations including Australia, Hong Kong China, India, Japan, The Philippines, Republic of Korea, Singapore, Thailand, and United States of America.

3.3 The States which are not participating in the Ionospheric Studies Task Force are expected to share ionospheric data from their national sources with the Task Force to support development of regional ionospheric models for GBAS and SBAS.

4. **Work plan**

4.1 Five specific tasks were identified by ISTF/1 with sequence and corresponding task leads as follows:

- a) identification of data source, GNSS data collection, sharing, distribution and archiving. Identification of data sharing format. (Sequence 1);
- b) identification of analysis methodology and GNSS ionospheric data analysis (Sequence 1);
- c) GNSS total electron content (TEC) gradient data generation (Sequence 2);
- d) GNSS ionospheric scintillation data generation (Sequence 2); and
- e) assessment of need to Regional GBAS and SBAS ionospheric models and development of these models if it is needed (Sequence 3).

4.2 The ISTF plans to have meetings twice in the first year and once from the second year, with a target of delivery of its final product by 2014.

5. **Financial implication**

5.1 The ISTF activities are supported by the voluntary contributions by the participating States, who have already been engaged with great interest in their domestic activities in this subject.

5.2 The cost incurred from data collection and ionospheric threat modeling can be minimized by making the best use of the GNSS networks which have already been operated by national organizations for such purposes of geodetic reference, reference for intelligent transportation system, GNSS augmentation or scientific research. In light of the regional or global nature of GNSS and the entire implementation cost of relatively large-scale projects, team work by those of the common interest can reduce the total cost and time by avoiding duplication of similar work as well as system harmonization in an efficient way. ICAO, being as facilitator or usher, assists them in building inter-regional or global ionospheric threat models, which allow States and ANSPs to enhance PBN as well as GNSS in a globally harmonized fashion.

5.3 The ISTF adopted a sample MOU for assisting States in entering into a data sharing agreement with their national organizations concerned.