

International Telecommunication Union

ITU-R
Radiocommunication Sector of ITU

Recomendación UIT-R SM.2139-0
(08/2021)

**Procedimiento de prueba para determinar
la precisión de los sistemas de TDOA**

Serie SM
Gestión del espectro

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radioastronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2022

© UIT 2022

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACION UIT-R SM.2139-0

Procedimiento de prueba para determinar la precisión de los sistemas de TDOA

(2021)

Cometido

La precisión de los sistemas de diferencia de tiempo de llegada (TDOA) constituye un elemento fundamental para las autoridades de reglamentación, entre otros organismos, que necesitan localizar emisores con sistemas de localización de emisores basados en TDOA. Con objeto de facilitar la comparación entre sistemas de TDOA, en la presente Recomendación se proporciona orientación sobre métodos de determinación de la precisión de dichos sistemas, notificación de los resultados y selección de un escenario de prueba.

Palabras clave

Precisión de los sistemas de TDOA, medición, sitio de prueba, escenario de prueba, diferencia de tiempo de llegada, TDOA

Siglas

CEP	Probabilidad de error circular
EEP	Probabilidad de error elíptico
GDOP	Pérdida de precisión de la posición geométrica
RMS	Valor cuadrático medio
RTK	Cinemática en tiempo real
SNR	Relación señal/ruido
TDOA	Diferencia de tiempo de llegada
VDOP	Pérdida de precisión vertical

Recomendaciones e Informes de la UIT conexos

Recomendación UIT-R SM.2060

Recomendación UIT -R SM.2097

Informe UIT-R SM.2211

Informe UIT-R SM.2356

NOTA – En todos los casos, debe utilizarse la edición más reciente de la Recomendación o del Informe en vigor.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el UIT-R ha incluido el método de localización de emisores por diferencia de tiempo de llegada (TDOA) en el Manual de la UIT sobre comprobación técnica del espectro (edición 2011);
- b) que en el Informe UIT-R SM.2211-1 – Comparación de los métodos de diferencia de tiempo de llegada y de ángulo de llegada para la localización geográfica de señales, se describen las ventajas y las deficiencias de los sistemas de TDOA;

- c) que los procedimientos de prueba aplicados repercuten en la precisión medida y reportada de los sistemas de localización de emisores basados en TDOA;
- d) que el escenario de prueba tiene un impacto en la precisión medida y notificada de los sistemas de localización de emisores basados en TDOA;
- e) que la precisión de los sistemas de TDOA puede influir en la percepción de la idoneidad de un sistema de localización de emisores TDOA en relación con el cumplimiento de determinadas actividades de comprobación técnica;
- f) que los procedimientos de prueba para validar la precisión de las especificaciones de los sistemas de TDOA deben ser independientes del diseño de los sistemas;
- g) que los procedimientos de prueba debidamente definidos para determinar la precisión de los sistemas de TDOA, de adoptarse, facilitarán una evaluación objetiva de los sistemas;
- h) que una comparación objetiva de sistemas diversos requiere la realización de una prueba en el mismo escenario,

recomienda

- 1 que se utilice el procedimiento de prueba que figura en el Anexo 1 para determinar y notificar la precisión de sistemas de TDOA;
- 2 que se utilice el escenario de prueba que figura en el Anexo 2 para establecer el sitio de prueba;
- 3 que para cada especificación en materia de rendimiento de precisión se indiquen el procedimiento y el escenario de prueba;
- 4 que las Administraciones estudien la posibilidad de realizar pruebas de rendimiento, además de las descritas en el Anexo 1, en un entorno operacional a fin de evaluar la repercusión de la degradación de señal, los efectos adversos en la propagación y la geometría de los sensores (incluida la elevación) respecto de la precisión o el rendimiento a nivel general de los sistemas de TDOA, con objeto de determinar la idoneidad del sistema para satisfacer sus requisitos.

Anexo 1

Procedimiento de prueba general para determinar la precisión de los sistemas de TDOA

1 Introducción

En la presente Recomendación se propone un procedimiento de prueba que puede utilizarse para evaluar la precisión de sistemas de TDOA. La finalidad del documento es definir un método aplicable a la realización de pruebas, de modo que las Administraciones dispongan de una metodología de comparación de sistemas de localización de emisores basados en TDOA, en función de sus necesidades.

Cabe señalar que dicha precisión no es el único parámetro para caracterizar el rendimiento global de un sistema de TDOA y su idoneidad con respecto a los requisitos de una Administración determinada. Algunos aspectos importantes, en particular la capacidad de localizar señales por impulsos y el retardo

entre la emisión y la localización geográfica, también pueden revestir importancia, si bien van más allá del alcance de esta Recomendación.

La precisión de los sistemas de TDOA se define como el valor cuadrático medio (RMS) de la diferencia entre la localización real del emisor y la notificada por el sistema de medición.

El procedimiento puede llevarse a cabo en un escenario en condiciones idóneas o controladas, de conformidad con el Anexo 2 o los requisitos de la Administración de que se trate, y puede aplicarse para comparar la precisión y el rendimiento de sistemas de TDOA.

Puede ampliarse información en materia de TDOA en el Manual de la UIT sobre Comprobación técnica del espectro (edición de 2011), sección 4.7 (Capítulo 4), y en el Informe UIT-R SM.2211-2 – Comparación de los métodos de diferencia de tiempo de llegada y de ángulo de llegada para la localización geográfica de señales.

2 Principio de medición

Habida cuenta de que la precisión de TDOA viene dada en gran medida por la señal de prueba y el correspondiente método de prueba, en el Anexo 1 se especifica el tipo de modulación y la anchura de banda de la señal de prueba, la selección de la frecuencia de prueba, la configuración del sistema que es objeto de prueba y el procedimiento de medición. Con arreglo al Anexo 2, las mediciones se llevarán a cabo en un escenario controlado, con objeto de facilitar la repetición de las pruebas y la coherencia de los resultados en lugares de prueba análogo, de ahí que no sea necesario incluir la interferencia en el mismo canal y las condiciones externas no controlables, en particular la propagación por trayectos múltiples y las variaciones del terreno, a fin de reducir la complejidad y la duración del procedimiento de prueba. La medición debe realizarse en un entorno alejado de fuentes de radiación intensa y exento de radiación secundaria. Antes de la selección definitiva del emplazamiento, es preciso evaluar el entorno electromagnético para garantizar niveles suficientemente bajos de potencia de señal y ruido externos para la prueba.

No obstante, un conjunto de efectos reales pueden incidir en la precisión de los sistemas de TDOA. Dichos efectos pueden clasificarse en dos categorías, a saber, efectos sistemáticos o determinísticos, y efectos aleatorios o no determinístico. Entre los efectos de fuentes de error que pueden introducir un sesgo sistemático en los resultados de localización cabe destacar la repercusión de la geometría del sensor (GDOP) y la variación de la elevación (VDOP), asociados en gran medida al terreno de la zona de cobertura. Los errores provocados por la VDOP vienen dados por la diferencia de elevación entre los sensores, el emisor y las distancias de separación conexas. Por ejemplo, si la distancia de separación es pequeña, las diferencias de elevación pueden introducir un error significativo si el sistema de TDOA no tiene ello en cuenta mediante la utilización de datos de elevación específicos relativos al terreno o al caso de que se trate. Por otro lado, los efectos de la propagación y otros tipos de degradación de la señal pueden dar lugar a errores aleatorios o sistemáticos, según las circunstancias. Los errores generados por todas esas fuentes afectarán a la calidad de funcionamiento del sistema en un entorno operacional real. Las mediciones realizadas en una zona plana y sin obstáculos suelen proporcionar mejores resultados en materia de precisión y rendimiento para un sistema de TDOA que las mediciones que incluyen las fuentes de error mencionadas anteriormente. Con objeto de determinar la idoneidad de un sistema de TDOA para su uso en un entorno operacional real, se propone que las mediciones descritas en esta Recomendación se repitan con receptores de TDOA desplegados en un entorno real en el que pueda evaluarse plenamente la incidencia de los efectos sistemáticos y aleatorios. Aunque una prueba de esa índole puede determinar la utilidad del sistema de TDOA, no puede utilizarse en la práctica para comparar la calidad de funcionamiento de varios sistemas.

3 Configuración de la medición

3.1 Emplazamiento de prueba

En el Anexo 2 se recomienda el tipo de emplazamiento de prueba. También podría elegirse con arreglo a las necesidades de la Administración, en función de los escenarios de despliegue de interés.

La configuración de la medición que se describe en esta sección, así como el procedimiento de medición del § 4, son válidos en general y pueden utilizarse para diferentes emplazamientos de prueba.

3.2 Selección de equipos de prueba

Los equipos de prueba deben incluir un sistema de transmisión de señales con capacidad para determinar la posición. El sistema de transmisión comprende un generador de señales con capacidad para generar modulaciones analógicas y digitales, un amplificador de potencia y un conjunto de antenas de transmisión para las bandas de frecuencia de prueba. Se recomienda utilizar antenas omnidireccionales para conectar el sistema de transmisión a los efectos de realización de pruebas. Deben utilizarse niveles de potencia fijos y registrarse con datos relativos a la prueba. La polarización de la antena transmisora de prueba debe corresponder a la polarización de las antenas de TDOA. Deben probarse todos los ángulos principales de polarización que admita la antena del radiogoniómetro. La polarización utilizada debe figurar en el informe de las pruebas.

De ser necesario, los equipos de determinación de la posición pueden utilizar un dispositivo cinemático en tiempo real (RTK) de determinación de la posición a fin de proporcionar una mayor precisión de posición. Si se utilizan otros equipos de determinación de la posición, su precisión deberá marcarse y registrarse en el informe de la prueba. Todos los equipos de prueba deben calibrarse para garantizar la trazabilidad con respecto a un laboratorio nacional de normalización.

3.3 Selección de las frecuencias de prueba

Las frecuencias de prueba deben seleccionarse de manera uniforme en la gama de frecuencias de funcionamiento del sistema. Por debajo de 100 MHz, ha de utilizarse un intervalo de frecuencia mínimo de 10 MHz, y de 100 MHz a 1 000 MHz, un intervalo de frecuencia mínimo de 50 MHz; si la frecuencia de funcionamiento es superior a 1 000 MHz, debe utilizarse un intervalo de frecuencia mínimo de 100 MHz. El número de puntos de frecuencia también puede determinarse de común acuerdo entre la Administración y los fabricantes con arreglo a los requisitos del sistema o del caso de utilización.

Se deben evitar algunas frecuencias debido a la posible interferencia que pueden provocar determinadas señales autorizadas o no sujetas a control en la zona en su conjunto. Éstas deben identificarse previamente en el estudio del emplazamiento. También se deben excluir de la prueba las frecuencias que se degradan por efectos externos. Si existe una señal interferente en la frecuencia de prueba cuya potencia rebase en 6 dB la del ruido de fondo, la frecuencia de prueba puede modificarse y utilizarse otra situada a 5 MHz en torno a la frecuencia original.

3.4 Configuración de la modulación de la señal de pruebas

Deben utilizarse formatos de modulación analógica y digital de la señal de prueba. El método de modulación debe variar con arreglo a los límites de la capacidad del equipo de prueba a fin de lograr anchuras de banda sobre la base de las necesidades de la Administración y el acuerdo del fabricante. Para cada tipo de modulación es necesario anotar la potencia de salida, así como la amplitud recibida en cada receptor de TDOA. El formato de modulación y los parámetros (la velocidad de símbolos) deben figurar en el informe de la prueba.

3.5 Configuración del sistema objeto de prueba

En la presente Recomendación se especifica una configuración de prueba habitual con tres receptores de TDOA. Si el sistema que define la Administración emplea cuatro receptores o más, también puede regirse por esta Recomendación para configurar la prueba tras el ajuste de la geometría del receptor, y ello debe mencionarse en el informe de la prueba. Sin embargo, si se comparan sistemas, el número de sensores debe ser idéntico.

La antena del sistema de TDOA debe ajustarse a una altura adecuada, de ser posible de forma coherente con respecto a todas las ubicaciones del receptor. Antes de efectuar la prueba, el sistema de TDOA debe someterse a un período de preparación de acuerdo con la recomendación del fabricante, a fin de lograr el rendimiento especificado.

El sistema de TDOA debe configurarse para efectuar mediciones en cada frecuencia de prueba con una anchura de banda de adquisición que no supere la anchura de banda de modulación de la frecuencia transmitida y un tiempo de adquisición fijo (cantidad de muestras IQ/velocidad de muestreo IQ) con arreglo a los parámetros recomendados por el fabricante.

4 Procedimiento de medición

4.1 Selección de la posición de prueba

Deben seleccionarse varias posiciones de prueba para medir la precisión de la localización geográfica del sistema de TDOA. Además de la posición central del sitio de prueba, son necesarias otras posiciones de prueba, en particular:

- La cantidad de posiciones de prueba suplementarias no será inferior a tres.
- Las posiciones de prueba deben seleccionarse para la región correspondiente a los receptores de TDOA. No deben utilizarse posiciones de prueba a lo largo de las líneas radiales entre sensores.
- La distancia entre las posiciones de prueba debe ser mayor que la precisión de localización geográfica nominal del sistema que es objeto de prueba.
- De ser posible, deben seleccionarse dos posiciones de prueba fuera de la región delimitada por los receptores de TDOA para determinar la capacidad del sistema para procesar condiciones GDOP deficientes. La distancia desde el límite de los receptores de TDOA no debe ser inferior a la precisión de la localización geográfica nominal del sistema que es objeto de prueba. Esas posiciones de prueba y los correspondientes resultados deben registrarse por separado en el informe de la prueba.

4.2 Procedimiento de prueba

- 1 Sitúese el sistema de transmisión en la posición de prueba 1 y ajuste la antena a la misma altura que la antena del receptor de TDOA.
- 2 Actívese el dispositivo de determinación de la posición para medir la posición del sistema transmisor y regístrese la latitud y la longitud (α_j, β_j) ($j = 1, 2...m$).
- 3 Ajústese el modo de modulación del sistema de transmisión y selecciónese la frecuencia de prueba f_i ($i = 1, 2...n$).
- 4 Ajústese el sistema de transmisión para lograr una SNR de 20 dB para cada receptor de TDOA al menos como apoyo a la prueba.
- 5 Establézcase la frecuencia de funcionamiento del sistema de TDOA como la frecuencia de prueba en curso, f_i , establézcase el modo de recepción idóneo del sistema con arreglo al correspondiente modo de modulación de señal y regístrense los parámetros del receptor.

- 6 Aplíquese el sistema de TDOA tomando al menos 10 (diez) mediciones, regístrese la latitud y la longitud de cada ubicación medida y los resultados promedio (x_i, y_i) , introdúzcanse en el Cuadro 1 y anótense los resultados en un diagrama de ubicación.
- 7 Modifíquese la frecuencia de prueba, los parámetros de modulación y la ubicación del sistema de transmisión de la señal repitiendo lo anterior hasta que se hayan utilizado todas las frecuencias, modulaciones y posiciones.

4.3 Procesamiento de los datos de las prueba y presentación de los resultados

La distancia entre las posiciones medidas (x_i, y_i) y la posición real (α_j, β_j) del sistema transmisor corresponde al error de localización geográfica ΔL_{ij} . La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$\Delta L_{ij} = R \times \arccos \left(\sin \left(\frac{\beta_j \times \pi}{180} \right) \times \sin \left(\frac{y_j \times \pi}{180} \right) + \cos \left(\frac{\beta_j \times \pi}{180} \right) \times \cos \left(\frac{y_i \times \pi}{180} \right) \times \cos \left(\frac{(x_i - \alpha_j) \times \pi}{180} \right) \right)$$

siendo:

R : Radio elíptico largo de la Tierra.

Una vez que se haya medido el error de localización geográfica de todas las posiciones para toda la banda de frecuencias de funcionamiento del sistema que es objeto de prueba, la precisión del sistema de TDOA con arreglo al modo de modulación de señal y a la anchura de banda correspondientes puede obtenerse de la manera siguiente:

$$\Delta L_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\Delta L_{ij})^2}{mn}}$$

siendo:

m : número de posiciones de prueba

n : número de puntos de frecuencia.

El informe de la prueba de la precisión de TDOA debe incluir el cuadro de datos de la prueba y el diagrama de localización, como mínimo. Sobre la base de la prueba real, también se registrará, de ser posible, el tiempo aproximado necesario para calcular el resultado, la potencia de salida del equipo de prueba y la amplitud recibida en cada sensor de TDOA. Por otro lado, si el sistema de TDOA proporciona la calidad de la correlación (porcentaje o valor de la fracción), deberá incluirse en el informe de la prueba.

CUADRO 1

Cuadro de datos de prueba de muestra

Información de base	
Fecha:	
Condiciones meteorológicas:	
Entorno de prueba:	
Número de sensores:	
Empresa:	
Producto:	

Lugar de la prueba 1		Latitud			xx.xxxx			Longitud		xx.xxxx		
Medición núm. 1	Configuración del generador de señal				Configuración del sistema de TDOA			Resultados de la medición de TDOA				
Identificador de la medición	Frecuencia (MHz)	Anchura de banda (kHz)	Modulación	Amplitud (dBm)	Número de muestras	Anchura de banda (kHz)	Atenuación (dB)	Latitud	Longitud	Calidad (0>1)	Error (metros)	Hora de la medición
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
VALOR PROMEDIO												

Nótese que ΔL es el error de localización geográfica para la localización promedio determinada. Se calcula como la distancia que existe entre la posición verdadera y la localización promedio presentada por el sistema de TDOA. También se puede notificar como delta x (variación de la medición en la dirección de latitud en metros y con valores positivos en sentido este), y delta y (variación de la medición en la dirección de longitud en metros y con valores positivos en sentido norte).

Anexo 2

Escenario de prueba para determinar la precisión de los sistemas de TDOA

1 Requisitos generales del lugar de la prueba

El escenario de prueba debe estar exento de superficies reflectoras, obstáculos y transmisores, que han de situarse lejos de fuentes de radiación intensa y sin radiación secundaria. El lugar de prueba idóneo puede ser el emplazamiento de pruebas en exterior adecuado (OATS) que se define en la Recomendación UIT-R SM.2060.

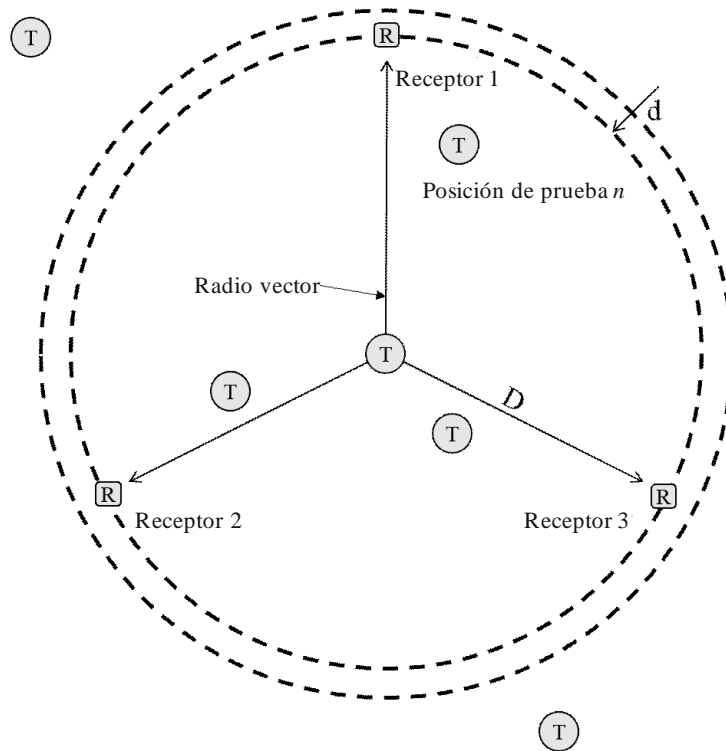
El lugar de la prueba también puede seleccionarse en función de los requisitos de la administración. Los aspectos de la planificación de las redes de TDOA que se indican en el Informe UIT-R SM.2356 deben tenerse en cuenta al planificar la configuración del sistema TDOA que es objeto de prueba.

2 Configuración del emplazamiento de prueba

El escenario recomendado se muestra en la Fig. 1 y debe ser una región plana delimitada por un círculo. El lugar de prueba también puede elegirse en función de los requisitos de la administración y de los escenarios de despliegue pertinentes. Debe existir separación suficiente entre los receptores de TDOA para garantizar un funcionamiento adecuado, en particular en relación con las señales de prueba de banda estrecha. Habida cuenta de ello, el radio del sitio de pruebas no debe ser inferior a

500 metros. Si ello no fuera posible, el radio del lugar de prueba se determinará de común acuerdo entre la Administración y el fabricante. Tales casos se anotarán en los resultados de la prueba.

FIGURA 1
Estructura general del emplazamiento de prueba



SM.2139-01

Receptor – Emplazamiento del receptor de TDOA

«T» – Posibles emplazamientos de prueba

El sistema de prueba se dispondrá del modo que se indica en la Fig. 1:

- La distancia de cada receptor al centro del emplazamiento del sistema de prueba es D , cuyo valor no será inferior a 500 m, a menos que lo acuerde el fabricante.
- Cada receptor de TDOA deberá distribuirse uniformemente en el lugar de la prueba, y la distancia entre los receptores deberá ser coherente con las condiciones de funcionamiento habituales de los sistemas TDOA.
- La distancia de cada receptor al extremo del emplazamiento de pruebas es d , cuyo valor no será inferior a 50 m.
- La distancia mínima de un lugar de prueba a cualquier receptor deberá estar en consonancia con la recomendación del fabricante. Por lo general, cuanto mayor sea la anchura de banda de modulación de la señal de prueba, más cerca del receptor podrá situarse el transmisor de prueba. Una anchura de banda de modulación de la señal de prueba pequeña requerirá una mayor separación de los receptores.

Anexo 3

Ejemplos de resultados de prueba de sistemas de TDOA

En el caso de los datos de prueba generados mediante mediciones efectuadas en un entorno operacional real susceptible de verse afectado por la señal interferente, pueden excluirse los valores atípicos estadísticos («datos en bruto»), si bien deben anotarse en el informe de prueba.

El suministro de visualizaciones de la prueba de precisión TDOA facilitará a las autoridades la interpretación de los resultados y la comprensión de las fuentes de error para varios emplazamientos de prueba y anchuras de banda de la señal. Se recomienda incluir los siguientes elementos en la presentación visual de los resultados de la prueba de TDOA:

- mapa de la zona de prueba con indicación de la escala o clara marcación de la distancia entre dos de los sensores;
- emplazamiento preciso del emisor de prueba;
- el número de la secuencia de prueba (con respecto al cuatro de condiciones de prueba, como la frecuencia central, la anchura de banda de la señal y el nivel de potencia de salida);
- ubicación de cada una de las estimaciones de TDOA del emisor de prueba (por ejemplo una «X» o una cruz);
- ubicación del valor promedio de las estimaciones de TDOA, y la distancia medida al emplazamiento de prueba;
- el valor de EEP o CEP (de forma facultativa);
- convergencia de TDOA o mapa térmico (de forma facultativa).

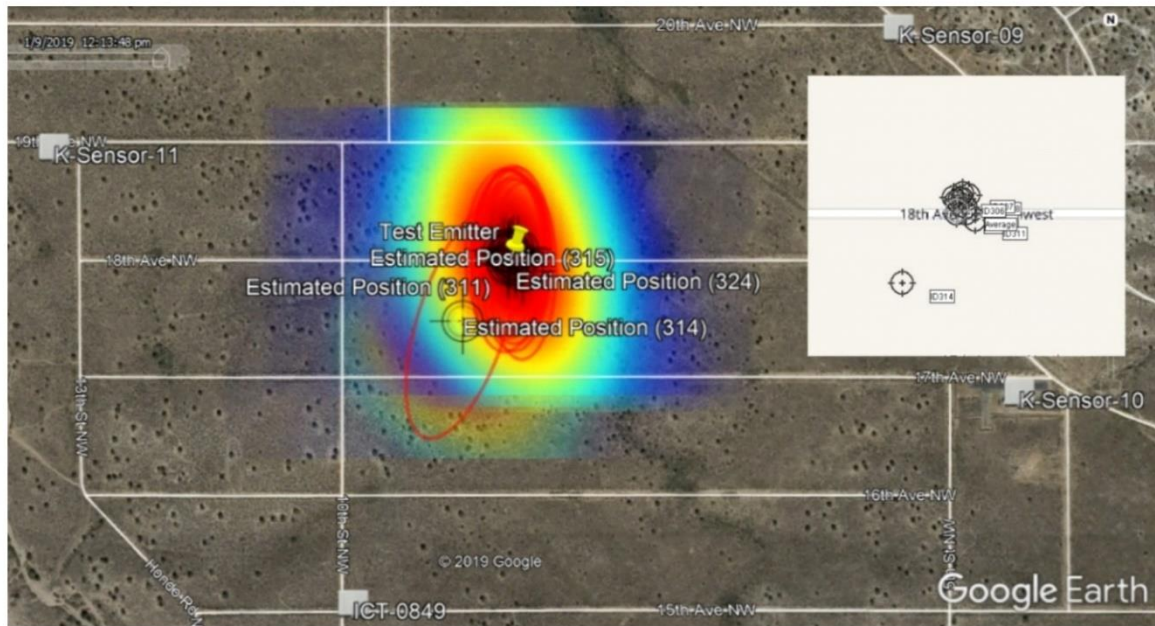
Con objeto de tener una comprensión más cabal de los resultados de las pruebas, las mediciones también deben visualizarse en un Sistema de información geográfica (SIG) comercial, o en el sistema de presentación del mapa que proporcione el sistema objeto de prueba. Para cada emplazamiento de prueba, los resultados deben superponerse con la ubicación del transmisor a fin de representar el tipo de errores. Toda información suplementaria del sistema objeto de prueba (de estar disponible) debe visualizarse e incluirse en el informe de la prueba. Dicha información podría incluir:

- datos de la Probabilidad de error elíptico (EEP) o la Probabilidad de error circular (CEP), incluido el correspondiente valor porcentual (por lo general, el 50% o el 95%) para incluir los ejes mayor y menor, así como la rotación relativa al norte;
- la hipérbola de TDOA;
- el mapa cromático que muestra la convergencia del algoritmo de localización geográfica;
- el emplazamiento de los sensores;
- el número de sensores de TDOA.

Esta información facilitará a las autoridades la comprensión de las fuentes de error asociadas a cada medición, en particular en relación con la anchura de banda de la señal, la relación señal/ruido y la geometría (GDOP). A continuación se muestran cuatro ejemplos.

FIGURA 2

Ejemplo de resultados de prueba de localización geográfica – Valor adecuado de GDOP

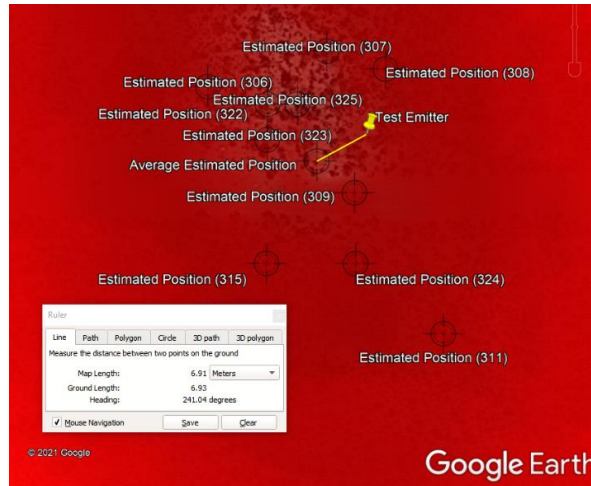


SM.2139-02

En la Fig. 2 se muestra un conjunto de 12 mediciones de TDOA para el que se utilizan cuatro sensores de TDOA, con el emisor de prueba (representado mediante el fijador amarillo) en una ubicación favorable para la realización de mediciones de TDOA precisas (valor adecuado de GDOP). Se representan las ubicaciones estimadas, los valores de EEP y el mapa de colores de los resultados de las mediciones. La presentación proporciona al usuario una rápida evaluación de la precisión y coherencia de los resultados en relación con el emisor de prueba. En el recuadro se muestran los resultados de localización tal y como aparecen en la visualización del mapa del sistema de TDOA. Ese conjunto de mediciones incluye un valor atípico (número 314) que requiere un análisis suplementario para determinar si la interferencia, u otro factor externo, provocó un error inusualmente amplio.

El procedimiento requiere la determinación del error entre la ubicación del emisor de prueba y el valor promedio de las mediciones de TDOA. Ello también puede representarse visualmente; en la Fig. 3 se muestra un ejemplo. La imagen también muestra una distribución aleatoria del error alrededor del emisor de prueba y, en este caso, el valor promedio da lugar a una estimación precisa de la ubicación del emisor, mejor que la mayoría de las mediciones específicas. El valor atípico no se muestra en esta imagen a fin de visualizar mejor la distribución del error.

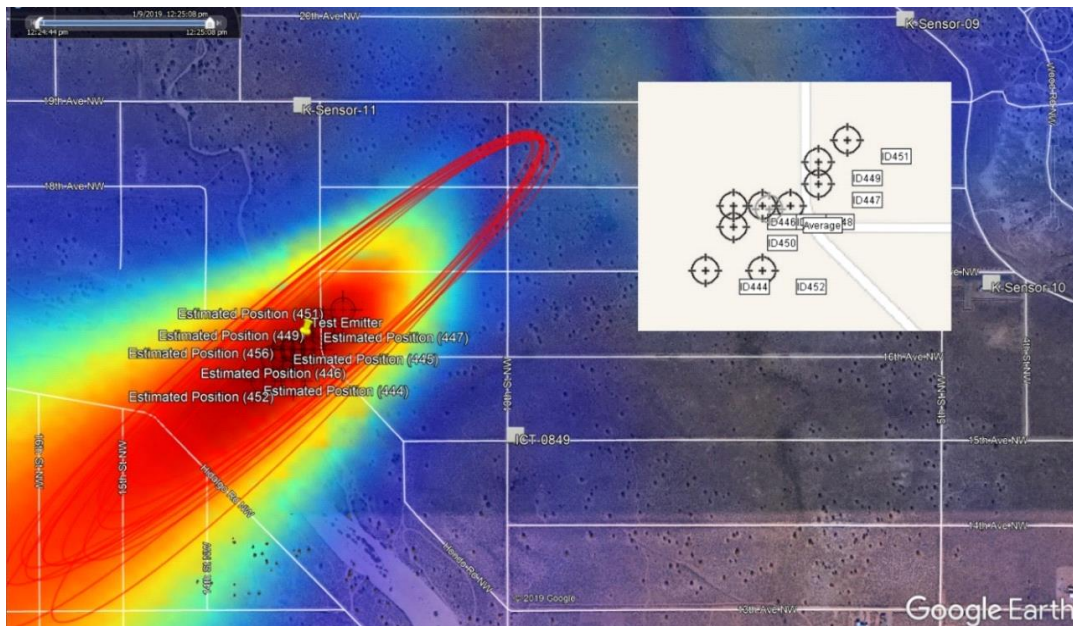
FIGURA 3
Distribución de errores de TDOA – Valor adecuado de GDOP



SM.2139-03

En la Fig. 4, el emisor de prueba estaba situado fuera de los límites del sensor, lo que provocó un valor inadecuado de GDOP y mayores errores de medición. Como puede apreciarse, las mediciones se distribuyen a lo largo de un eje en el que se representa la línea de marcación desde el campo del sensor hasta el emisor. Los valores de EEP son más amplios debido a la incertidumbre introducida a nivel geométrico.

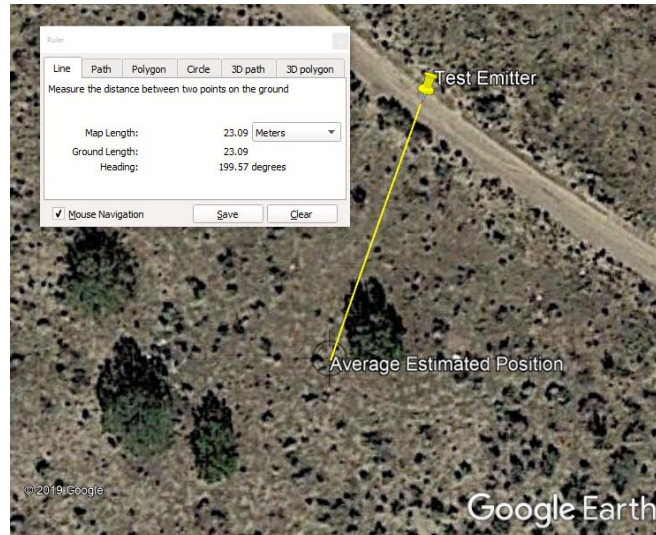
FIGURA 4
Ejemplo de resultados de la prueba de localización geográfica – Valor adecuado de GDOP



SM.2139-04

El error en este conjunto de datos para el caso más desfavorable fue de más de 120 metros. Sin embargo, al promediar los errores aleatorios se obtiene una precisión de unos 20 metros, como se aprecia en la Fig. 5.

FIGURA 5
Error promedio de TDOA – Valor adecuado de GDOP



SM.2139-05

En los ejemplos de medición mostrados anteriormente se utilizaron cuatro sensores de TDOA y se realizaron con señales cuya anchura de banda de modulación fue relativamente amplia (alrededor de 1,25 MHz). La realización de la prueba con tres sensores, el valor mínimo requerido para la localización del emisor, y con señales de diferente anchura de banda puede poner de manifiesto limitaciones asociadas a equipos físicos o algoritmos específicos. Las Administraciones deberían tener en cuenta esas limitaciones a fin de clasificar los sistemas de TDOA.

NOTA – Las denominaciones empleadas y la presentación de información en las Figs. 2 a 5 no conllevan la manifestación de opinión alguna de la UIT o de su Secretaría en relación con la situación jurídica del país, el territorio, la ciudad o la zona de que se trate, o sus autoridades, ni sobre la delimitación de sus fronteras o límites.