

RECOMENDACIÓN UIT-R P.1058-2

BASES DE DATOS TOPOGRÁFICOS DIGITALES PARA ESTUDIOS DE PROPAGACIÓN

(Cuestión UIT-R 202/3)

(1994-1997-1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la aplicación de modelos de predicción de la propagación requiere información topográfica;
- b) que los futuros modelos de predicción de la propagación podrán hacer uso de una información topográfica más detallada;
- c) la necesidad de proporcionar un asesoramiento técnico práctico sobre la elaboración de mapas topográficos digitales para las predicciones de la propagación;
- d) que es preciso que las distintas administraciones intercambien datos entre sí;
- e) que es conveniente establecer una base mundial de datos topográficos,

recomienda

- 1** que los sistemas de coordenadas para las bases de datos topográficos se determinen de conformidad con el § 2 del Anexo 1;
- 2** que la separación horizontal entre los datos que figuran en las bases de datos topográficos se determine teniendo en cuenta la información contenida en el § 5 del Anexo 1;
- 3** que las bases de datos topográficos identifiquen sin ambigüedad las superficies marinas y lacustres, incluidas sus alturas;
- 4** que las bases de datos contengan información sobre la superficie del terreno, sea ésta natural o artificial, así como detalles sobre el tipo y altura de la misma;
- 5** que al elaborar las bases de datos topográficos se tenga en cuenta la información adicional contenida en el Anexo 1.

ANEXO 1

1 Introducción

Las bases de datos topográficos digitales establecidas para predicciones de la propagación deben contener información relacionada con el tipo de predicción que va a llevarse a cabo. En frecuencias superiores a unos 30 MHz, se necesita normalmente información sobre la altura del terreno y la superficie del mismo. Para realizar predicciones de la propagación detalladas en frecuencias superiores a unos 1 000 MHz, especialmente en zonas urbanas, además de la información relativa a la altura del terreno se necesita generalmente conocer el emplazamiento, el tamaño y la orientación de las edificaciones.

Cabe esperar el desarrollo de modelos de predicción cada vez más sofisticados que permitan efectuar unas predicciones de la propagación más detalladas pero que a la vez exijan información más completa y, posiblemente, una separación horizontal más reducida entre las muestras de datos.

El objeto del presente Anexo es ofrecer orientaciones sobre el tipo de información que deben contener las bases de datos topográficos y sobre los valores adecuados de la separación horizontal entre las muestras de datos.

Cabe señalar que puede preverse una amplia gama de utilización de las bases de datos topográficos y también que puede identificarse una amplia gama de información sobre superficies del terreno. No es probable que en una región geográfica determinada aparezcan todos los tipos de superficie del terreno, lo cual tiene una consecuencia importante con respecto al almacenamiento de datos. Si bien puede elaborarse un conjunto universal de información sobre superficie del terreno,

muchas de las categorías establecidas serían irrelevantes en la mayoría de las aplicaciones específicas de las bases de datos topográficos. Ello supondría contar con un requisito de capacidad de almacenamiento innecesario. En esas circunstancias, no parece adecuado por el momento desarrollar un conjunto de categorías de superficie del terreno que se utilizarían de la misma forma en todas las aplicaciones. No obstante, puede ofrecerse cierta orientación sobre las categorías que se han considerado convenientes y sobre las que se estima pertinente proseguir las investigaciones.

Por razones similares a las expuestas, no puede proponerse un formato de almacenamiento universal. Sin embargo, se ha considerado apropiado que las rutinas de los programas informáticos para predicción de la propagación accedan a las bases de datos mediante el interfaz lógico adecuado. De esta forma, puede modificarse el contenido y estructura de las bases de datos a medida que se dispone de más información sin que resulten afectadas las citadas rutinas de predicción, introduciendo las modificaciones correspondientes en el mencionado soporte interfaz lógico.

Para realizar un intercambio satisfactorio de una base de datos topográfico, por ejemplo entre administraciones o entre un suministrador y un cliente, es fundamental que con la base de datos se suministre el soporte lógico adecuado o que se disponga de información completa sobre el tipo de almacenamiento y el contenido de la base de datos.

2 Sistemas de coordenadas

Los datos topográficos pueden estar referidos a cualquiera de los diversos sistemas de coordenadas. Estos corresponden normalmente a una de las dos categorías principales:

- coordenadas angulares, normalmente de latitud relativa al Ecuador y de longitud relativa a un meridiano de referencia, en general el de Greenwich;
- una proyección rectangular aplicada a una zona particular de la superficie de la Tierra según una proyección matemática definida.

Las principales características de ambos sistemas pueden resumirse del modo siguiente:

- las coordenadas de latitud-longitud proporcionan una cobertura mundial sin discontinuidades pero con una relación no lineal entre los valores de las coordenadas y las distancias sobre el terreno. En particular, el factor de escala entre la longitud y la distancia sobre el terreno varía con la latitud;
- las proyecciones rectangulares se aproximan a una relación lineal y de escala invariable entre las coordenadas y las distancias sobre el terreno en una zona geográfica definida, pero deben redefinirse para distintas zonas a fin de evitar una distorsión significativa. Muchos servicios cartográficos nacionales adoptan una proyección rectangular para el trazado de mapas en papel y, por esta razón, los datos topográficos más detallados para una determinada zona suelen estar indexados a intervalos regulares en la proyección local.

Muchos sistemas cartográficos nacionales se basan en la proyección transversal de Mercator. El sistema de proyección universal transversal de Mercator (UTM, *universal transverse Mercator*) es un conjunto de dichas proyecciones basado en definiciones uniformes para distintas longitudes, en los cuales el norte está referido al Ecuador. Esto proporciona un grado útil de normalización. En algunos casos se prefieren proyecciones de mayor exactitud en una latitud y longitud determinadas, en las cuales suelen elegirse valores específicos de elipticidad de la Tierra a fin de reducir al mínimo los errores. Existe también un cierto número de proyecciones no transversales de Mercator.

La elección del sistema de coordenadas puede depender de varios factores, entre ellos los siguientes:

- Cuando es importante una precisión lo más alta posible es conveniente mantener el sistema de coordenadas de origen, dado que la conversión a un sistema diferente ocasiona usualmente una pérdida de exactitud.
- Cuando se extraen perfiles de trayectos cortos, los datos indexados a una proyección rectangular permiten una simplificación útil, dado que una línea recta en el espacio de coordenadas se aproxima a una línea recta en el suelo. La discrepancia, en comparación con un verdadero trayecto circular, depende del sistema de proyección y de la orientación y longitud del trayecto. Como norma general, se considera que una línea recta en una proyección rectangular es suficientemente precisa para los estudios de propagación hasta aproximadamente 100 km. Sin embargo, las discrepancias actuales varían según la proyección utilizada y tienden a ser mayores para las orientaciones de trayecto Oeste-Este y en latitudes altas. Los usuarios deben evaluar los errores del caso más desfavorable cuando tracen perfiles de trayecto en forma de una línea recta en una proyección rectangular.
- Las coordenadas de latitud-longitud ofrecen una cobertura continua en zonas amplias. Cuando se utiliza la geometría de círculo máximo para evitar una no linealidad excesiva, el empleo de coordenadas de latitud-longitud evita la necesidad de efectuar la conversión de muchas coordenadas a una proyección rectangular.

En vista de los factores mencionados precedentemente, no es posible recomendar un sistema de coordenadas único para todos los casos. Para la coordinación internacional se recomienda la utilización de las coordenadas de latitud-longitud, en vista de su capacidad para abarcar toda la superficie de la Tierra sin discontinuidades. En los casos en que hay una necesidad práctica de una proyección rectangular, es preferible emplear coordenadas UTM por razones de uniformidad.

En el Cuadro 1 se resume lo expuesto anteriormente.

CUADRO 1

Sistemas de coordenadas

Parámetro	Latitud-longitud	UTM	Otros sistemas
Aplicabilidad	Toda la Tierra	Mayor parte de la Tierra	Generalmente local
Forma de cuadrícula	Trapezoide curvilíneo	Buena aproximación a la proyección cuadrada	Generalmente buena aproximación a la proyección cuadrada
Variación del factor de escala	Varía con la latitud	Buena aproximación a un valor constante	Generalmente buena aproximación a un valor constante
Limitaciones	Ninguna	Según la longitud	Variables

3 Dato geodésico

Un dato geodésico es el conjunto de valores de referencia en los que debe basarse un sistema de coordenadas. Para la coordinación internacional se recomienda el dato WGS 84, basado en el geoide GRS 80.

4 Compatibilidad en la base de datos

Debe prestarse la debida atención al combinar datos topográficos o cartográficos provenientes de distintas fuentes, a fin de garantizar su compatibilidad. En general, se producirán desajustes si todos los datos no están basados en un mismo dato geodésico y un mismo sistema de coordenadas.

5 Separación horizontal en una base de datos macroscópicos

El valor de la separación horizontal entre puntos de datos que debe utilizarse en una base de datos topográficos depende de la utilización de los datos. No se puede recomendar un valor en particular. En la práctica, las separaciones horizontales suelen estar comprendidas entre 20 m y 1 km aproximadamente, o el equivalente en latitud-longitud. Diversos modelos de predicción de la propagación no sólo tienen distintos requisitos para la resolución horizontal, sino también sensibilidades distintas a los cambios en la resolución horizontal. No debe suponerse que el hecho de aumentar la resolución horizontal en un determinado método de propagación mejora siempre la precisión de la predicción.

6 Precisión de los datos de altura del terreno

La precisión de los modelos de predicción de la propagación puede verse muy afectada por la precisión de los datos de altura del terreno contenidos en una base de datos topográficos. Por lo general, la precisión de las alturas del terreno se expresan como un valor de error cuadrático medio. La resolución horizontal, la precisión vertical y el método de propagación utilizado afectan al resultado calculado. En general, los métodos de propagación determinísticos más detallados exigen una resolución y precisión mayores en los datos topográficos, pero los detalles varían en cada caso. Se considera aceptable para muchas finalidades un error cuadrático medio de 15 m en los datos de altura del terreno.

7 Principios generales del almacenamiento de datos de altura del terreno

Las bases de datos topográficos más utilizadas para la predicción de la propagación y la planificación radioeléctrica utilizan conjuntos de datos bidimensionales a intervalos iguales en el sistema de coordenadas elegido, denominados «datos en rejilla». Esto tiene la ventaja de que únicamente se necesitan coordenadas horizontales para los puntos de referencia, y la mayoría de los datos consisten en conjuntos de valores de altura autoindexados. Por lo general, en las proyecciones rectangulares la separación horizontal entre los datos será la misma en una base de datos. Para las coordenadas de latitud-longitud, la separación en longitud aumenta a veces por pasos a medida que aumenta la latitud a fin de mantener aproximadamente constante el factor de escala en longitud.

Se recomienda el almacenamiento de datos en rejilla en las bases de datos topográficos utilizadas para estudios de propagación, debido a su simplicidad y amplia utilización.

La información que figura a continuación, constituye una orientación general sobre otros métodos para almacenar datos topográficos que pueden ser de utilidad.

Despierta cada vez mayor interés la utilización de otras estrategias de almacenamiento para los datos topográficos, tanto para reducir el espacio de almacenamiento como para conseguir, en algunos casos, una representación más eficaz de la altura del terreno.

Pueden utilizarse métodos corrientes para comprimir los datos topográficos, aunque, en general, se obtienen índices de compresión mayores utilizando métodos especializados, no todos ellos exentos de error. Algunos ejemplos de la compresión de los datos en rejilla son los siguientes:

- transformada discreta de coseno (DCT, *discrete cosine transform*);
- diversas formas de codificación Huffman, que pueden estar exentas de errores y resultar particularmente eficaces si la diferencia entre las alturas reales y una predicción de la altura a partir de puntos vecinos tiene codificación Huffman para el almacenamiento;
- utilización de una separación variable entre puntos según la irregularidad del terreno, la cual puede almacenarse eficazmente en formatos de relación mediante nodos con ramificación cuádruple.

Cuando se dispone de datos de altura del terreno con una resolución horizontal suficiente para puntos de localización irregular, lo que implica normalmente un sistema de reconocimiento que seleccione accidentes como cerros y valles, el método de la red irregular triangulada (TIN, *triangulated irregular network*) tiene varias ventajas. Se basa en el almacenamiento de las coordenadas horizontales y la altura de cada punto. Es necesario también definir una triangulación que vincule todos los puntos, para representar el terreno en forma de facetas triangulares contiguas. La triangulación puede almacenarse explícitamente, o implícitamente para la reconstrucción durante la recuperación de los datos.

Cabe destacar que la ventaja del método TIN radica en que los puntos están referidos a las características del terreno, que en general son irregulares. Se plantean las dos cuestiones siguientes:

- la cartografía tradicional no siempre presenta esos puntos de manera precisa con la resolución adecuada;
- un sistema TIN derivado de datos en rejilla debe utilizar un sistema para identificar los puntos topográficamente más significativos. Cabe señalar también que pueden existir triangulaciones ambiguas para puntos separados regularmente.

8 Representación de los datos de altura del terreno

Los valores de la altura del terreno en rejilla pueden representar distintos aspectos de la altura del terreno:

- a) la altura máxima, mínima o mediana u otra altura característica de un cuadrilátero de terreno, uno de cuyos lados es igual a la separación horizontal de los datos;
- b) la altura en un solo punto, representada sin proporcionar información sobre las alturas en otras partes.

La manera elegida de representar las alturas afecta a la forma en que deben extraerse de la base de datos los perfiles de trayectos relativos a alturas del terreno y a la interacción entre la información sobre la altura y un determinado método de predicción de la propagación. No es posible formular una recomendación general a este respecto. En el § 9 se examinan métodos de extracción de perfiles.

9 Extracción de perfiles

Cuando se traza un perfil entre dos sitios cualesquiera, pocos puntos de datos en una base de datos en rejilla o ninguno coincidirán exactamente con el perfil. Existen diversos métodos para obtener datos de altura del terreno en dichos casos. Según las circunstancias, se recomiendan los siguientes métodos:

- cuando los datos de altura son de algún modo representativos de una superficie cuadrada de terreno, como se describe en el párrafo a) del § 8, el perfil debe comprender datos para cada cuadrado que atraviesa. Cada punto del perfil puede ubicarse sobre la perpendicular de la línea del perfil al punto de datos correspondiente, aunque esto no producirá en general puntos de perfil igualmente separados. Si el método de propagación exige puntos igualmente separados, es aceptable desplazar los puntos del perfil para lograrlo;
- cuando los datos de altura representan únicamente la altura en cada punto exacto, como se describe en el párrafo b) del § 8, el método de extracción preferido consiste en predeterminar puntos de perfil igualmente separados y obtener la altura del terreno para cada uno de ellos mediante una interpolación bilineal a partir de los valores más próximos de la rejilla.

Se aplican distintos principios para la extracción de un perfil mediante una base de datos basada en el sistema TIN. En rigor, el perfil es la línea continua formada por los lados de los triángulos contiguos por los cuales el sistema TIN representa el terreno. En la práctica es aceptable efectuar un muestreo de esta superficie para puntos de perfil prefijados y con la misma separación entre ellos.

10 Bases de datos topográficos en zonas urbanas

En el caso de predicciones de la propagación en zonas urbanas, especialmente en frecuencias superiores a unos 1 000 MHz donde deben tenerse en cuenta las reflexiones en las superficies de los edificios, es preciso realizar consideraciones especiales. En tales casos se necesita contar con una información muy detallada, incluida la altura y forma de los edificios y, posiblemente, el emplazamiento y anchura de las calles, si bien esta última información en algunos casos puede derivarse de la superficie del terreno que no está ocupada por edificios.

En estos casos pueden utilizarse dos métodos. El primero de ellos consiste en una ampliación del concepto general indicado en el § 5, utilizando una separación horizontal de 5 a 10 m y almacenando la información sobre altura de los edificios como parte de los datos sobre superficie del terreno (véase la Nota 1). En este caso, la orientación media de los edificios puede obtenerse únicamente de forma aproximada. Siguiendo el segundo método, se crea una base de datos vectorial que contiene las coordenadas tridimensionales correspondientes a los vértices que definen la forma de cada edificio (véase también el § 12). En ambos casos, las alturas almacenadas pueden ser valores absolutos o valores relativos con respecto a la altura media de la superficie local. Actualmente no se posee suficiente información como para indicar cuál de estos dos métodos resulta el más adecuado para los cálculos de propagación.

NOTA 1 – La información relativa a edificios de forma irregular puede almacenarse como una combinación de edificios más pequeños de diferente altura.

11 Información macroscópica sobre superficie del terreno

Como se ha indicado anteriormente, la gama de posibles categorías de cobertura del terreno es muy amplia y no es probable que todas estas categorías sean importantes en una zona geográfica concreta. El Cuadro 2 ofrece los nombres y un esquema de codificación binivel de un conjunto de categorías de cobertura del suelo. Una categoría describe el tipo de cobertura de una superficie especificada (por ejemplo, un cuadrado de 100 metros). Cuando en la zona considerada haya más de un tipo de cobertura, debe describirse la categoría dominante. Las categorías indicadas en mayúscula pueden utilizarse cuando no se precisa una clasificación más detallada, o no existe información con más detalle.

CUADRO 2

**Categorías que deben incluirse en una base de datos macroscópica
sobre tipos de superficie del terreno**

00		Desconocida
10	RURAL DESPEJADA	
	11	Pastos, prados
	12	Campos de cultivo bajo
	13	Campos de cultivo alto (por ejemplo, viñedos, campos de lúpulo)
	19	Páramos
20	ÁRBOLES DIVERSOS	
	21	Árboles aislados con separación irregular
	22	Huertas (separación regular)
	23	Árboles de hoja caduca (separación irregular)
	24	Árboles de hoja caduca (separación regular)
	25	Coníferas (separación irregular)
	26	Coníferas (separación regular)
	27	Árboles de diversos tipos
	28	Arbolescencia tropical húmeda
30	ZONAS HABITADAS	
	31	Construcciones aisladas
	32	Centro de poblaciones
	33	Zona suburbana
	34	Zona suburbana densa
	35	Zona urbana
	36	Zona urbana densa
	37	Zona industrial
40	SUELO ÁRIDO	
	42	Dunas de arena
	43	Desierto
50	TERRENO HÚMEDO (sin árboles)	
	52	Zonas pantanosas
	54	Terrenos bajos inundados
60	AGUA DULCE	
70	AGUA MARINA	
80	CRIOSFERA	
	82	Hielo marino
	83	Agua dulce helada
	84	Glaciares
	86	Nieve seca
	88	Nieve húmeda
90	OTRAS	
		(Especifíquese)

Una categoría puede representarse mediante un código de dos cifras como se indica en la primera columna del Cuadro 2. Pueden indicarse hasta tres parámetros opcionales cuando se conozcan, a fin de añadir precisión a la descripción que conlleva un nombre de categoría:

- *Altura H_c* : Debe representar la altura característica de la superficie del terreno en metros sobre el suelo, haciendo caso omiso de los objetos de altura superior. En términos matemáticos la mejor aproximación será a menudo la moda de la altura, aunque de lo que se trata es de indicar la altura más característica de la horizontal de la cobertura respecto al nivel del suelo.
- *Densidad D_c* : Porcentaje del terreno de la superficie en consideración revestida de toda cobertura que tenga una altura igual o superior a H_c .
- *Anchura de brecha G_c* : Debe representar la altura típica (m) de las brechas en la cobertura del suelo.

Véase que debe indicarse H_c cuando se indique D_c y que debe indicarse D_c cuando se indique G_c .

Dada la gran variabilidad de la superficie del suelo, a menudo sólo será posible obtener estimaciones de los parámetros H_c , D_c y G_c . No obstante, pueden ser de utilidad añadiendo precisión a las categorías genéricas, lo cual puede hacerse para un conjunto completo de datos o puede indicarse individualmente para cada punto de un conjunto de datos, tal como el de un perfil de un trayecto.

12 Información especializada sobre superficie del terreno

Las consideraciones expuestas en el § 10 pueden ampliarse a cualquier situación especial en que se necesite realizar una predicción de la propagación detallada. En el Cuadro 3 figuran algunos ejemplos de categorías de cobertura del terreno junto con un posible mecanismo para registrar sus características; se trata fundamentalmente de una ampliación del primer método descrito en el § 10. De forma alternativa, puede utilizarse el método vectorial consistente en almacenar las coordenadas de los puntos extremos de los objetos.

CUADRO 3

Categorías y parámetros adicionales para bases de datos sobre estructuras especiales de superficie

Superficie del terreno	Parámetros
Fila de edificios (Fila de edificios bien definida y aislada; normalmente se trata de una fila de chalets a lo largo de la carretera)	<ul style="list-style-type: none"> – Altura media de los edificios – Coordenadas de los puntos extremos de la fila
Edificios aislados (Edificios aislados con zona ajardinada en el interior)	<ul style="list-style-type: none"> – Altura de los edificios – Coordenadas del centro del edificio – Superficie cubierta por el edificio
Línea de árboles (Normalmente se trata de una carretera bordeada de árboles)	<ul style="list-style-type: none"> – Altura media de los árboles – Coordenadas de los extremos de la línea de árboles
Mástiles (Postes de electricidad, turbinas eólicas, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> – Altura del mástil – Coordenadas del centro del mástil

13 Datos sobre población

En muchos casos es necesario establecer la cobertura de población para un servicio de radiocomunicaciones. Ello no reviste una gran dificultad si se ha creado un banco de datos de población; se ha observado la utilidad de establecer la misma separación horizontal cuando se habla de cobertura de población que cuando nos referimos a superficie y alturas del terreno.