

As. 125.257

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 13-203088- -00005-0000

Fecha: 2014-12-23 16:46:22 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 378 FASENACIONALI
Act. 523 RESPUESTA Folios: 32

Señor

**DIRECTOR DIVISIÓN DE NUEVAS CREACIONES
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO**

E.

S.

D.

JY

REF: Expediente No. **13 203.088**– solicitud de patente de invención a favor de **INSTITUTO PRESBITERIANO MACKENZIE**. Título: **“PROCEDIMIENTO Y SISTEMA PARA DETERMINAR CAMBIOS TEMPORALES EN RETRANSMISIÓN Y PROPAGACIÓN DE SEÑALES USADAS PARA EMDIR DISTANCIAS, SINCRONIZAR ACTUADORES Y APLICACIONES DE GEORREFERENCIA”**.

RESPUESTA A EXAMEN DE FONDO

JUAN PABLO CADENA SARMIENTO, portador de la tarjeta profesional No. 57.492 del C.S.J., obrando como apoderado de la sociedad solicitante me permito dar respuesta al Oficio No. 12338 relacionado con la patentabilidad de la presente invención y notificado por fijación en lista el 30 de Noviembre de 2014.

En consideración de las objeciones manifestadas, nos permitimos remitir a su Despacho un nuevo pliego reivindicatorio compuesto por doce (12) reivindicaciones, las cuales encuentran total sustento en el capítulo descriptivo y no exceden en ningún momento el alcance de la invención inicialmente divulgada. Adjuntamos también el recibo correspondiente a la tasa de estudio de dos (2) reivindicaciones adicionales.

Teniendo en cuenta las objeciones de claridad y novedad efectuadas sobre la reivindicación independiente 8, la misma se modificó con el objetivo de describir de forma más clara y evidente las características esenciales que definen el sistema, pero conservando el alcance de la reivindicación originalmente presentada. El único cambio sustancial en la nueva reivindicación 8, se reduce a la presencia de uno o más objetivos (P), los cuales, al igual que las bases de referencia (A, B, C, D), cuentan con relojes de precisión (P), dispositivos de recepción (REC) y dispositivos de transmisión (MP), de manera que es posible determinar su posición y sus tiempos de sincronización. Soporte de esta modificación se encuentra en las páginas 17 y 18 de la solicitud en inglés y en las Figuras 1 y 3.

De igual manera, con el objetivo de superar las objeciones de claridad sobre el resto del pliego reivindicatorio, se eliminaron las antiguas reivindicaciones 13, 14 y 15, objetadas por definir resultados a alcanzar. Las demás expresiones objetadas, identificadas en las reivindicaciones 10 a 12, también se eliminaron en su totalidad del pliego reivindicatorio.

Antes de proceder con el análisis del actual pliego reivindicatorio y del estado de la técnica, consideramos pertinente resaltar que la reivindicación 8, y sus respectivas reivindicaciones independientes, se refieren a un sistema y no a un único producto o dispositivo.

La real academia define un sistema como un ***“conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a un determinado objeto”***. De acuerdo con este significado, un sistema no se define únicamente mediante los *elementos estructurales* que lo conforman, sino que la relación entre dichos elementos estructurales constituye el sistema como tal.

En otras palabras, la relación entre los elementos también caracteriza el sistema y le confiere la capacidad de llevar a cabo el objeto para el cual fue diseñado, lo que no sería posible mediante la adición de elementos dispuestos de forma aislada e inconexa.

Por consiguiente, frente a la observación del examinador en la cual establece *“son solo los elementos estructurales los que definen a dicho producto”* consideramos que al obviar las relaciones entre los elementos estructurales se está ignorando una parte importante que define la invención, y más aún se está desconociendo la definición de *sistema*.

Dicho esto, manifestamos que algunas de las expresiones objetadas por referirse a funcionalidades son en efecto una descripción de la relación entre los elementos estructurales que conforman el sistema de las reivindicaciones 8 a 12 y no únicamente funcionalidades asociadas a los elementos estructurales definidos en el sistema.

Por ejemplo, la expresión *“...capaz de emitir, en un instante de referencia, una señal codificada en tiempo que contiene la identificación de la base de transmisión de referencia (A) y del instante de emisión...”* no define singularmente una funcionalidad; sino que especifica el flujo de información entre la base de transmisión (A) y el resto de los elementos estructurales.

De hecho, define la naturaleza y la composición de la señal que se trasmite entre los elementos del sistema al especificar que esta se origina en el dispositivo de transmisión y que contiene la identificación de la base de transmisión de referencia y del instante de emisión.

Así mismo, la expresión *“una estación central (E) de procesamiento de las diferencias de tiempo de cada una de las bases de referencia (A, B, C, D) y desde cada objetivo (P), y las cuales corresponden a la comparación de la señal de tiempo codificada original transmitida desde la base de referencia (A), retransmitida por la estación repetidora (R), a los relojes de generación de señales de tiempo codificadas en cada una de las bases de referencia (A, B, C, D) y en cada objetivo (P)”* define la trayectoria completa de la señal al describir que la misma se origina en la base de referencia (A), se transmite a la estación repetidora (R), donde luego se retransmite a los relojes de las bases de referencia (A, B, C, D) y a los objetivos (P), donde se convierte en una diferencia de tiempo y se transmite a la estación central (E).

También queremos hacernos notar al señor examinador que los sistemas de las reivindicaciones 8 a 12 están relacionados con la ubicación y sincronización de elementos remotos y por lo tanto, es físicamente imposible describir la relación entre los dispositivos del sistema mediante elementos estructurales, por lo que recurrimos a definir la trayectoria de la(s) señal(es) en el sistema, lo cual en efecto contribuye a solución del problema técnico objetivo, y por lo tanto es una característica esencial de la invención que le confiere novedad y nivel inventivo.

Por último, se entiende que las características esenciales son el conjunto de elementos que soluciona el problema técnico, de manera que la señal y las características de esta señal i.e. donde se origina, la información que transmite, destino, etc., son en efecto una característica esencial del sistema, puesto que contribuyen directamente a la solución del problema técnico y por lo tanto debería considerarse en el análisis patentabilidad.

Novedad

La novedad de la reivindicación 8 fue objetada en vista de las enseñanzas del documento D1 *"Wireless location system"* (US 5.890.068), frente a lo cual nos permitimos disentir y presentamos nuestros argumentos.

El documento D1 describe un sistema que permite estimar la posición de un transceptor inalámbrico (WT por sus siglas en inglés), usando el *Tiempo De Llegada* (o TOA por sus siglas en inglés) de la señal que transmite el WT a varios sitios de monitoreo (MS).

El sistema del documento D1 se basa en un sistema de localización TDOA (ver por ejemplo columna 4, líneas 13 a 17), el cual permite estimar la localización de un transmisor, basándose en las diferencias en los tiempos de llegada de la señal emitida por el transmisor a unos receptores.

Es decir, el principio básico de un sistema TDOA es localizar varios receptores alrededor del transmisor, en donde, debido a la distribución espacial de los receptores, la misma señal emitida por el transmisor los alcanza en diferentes momentos. A partir de estas diferencias de tiempo relativas, la localización del transmisor se puede calcular.

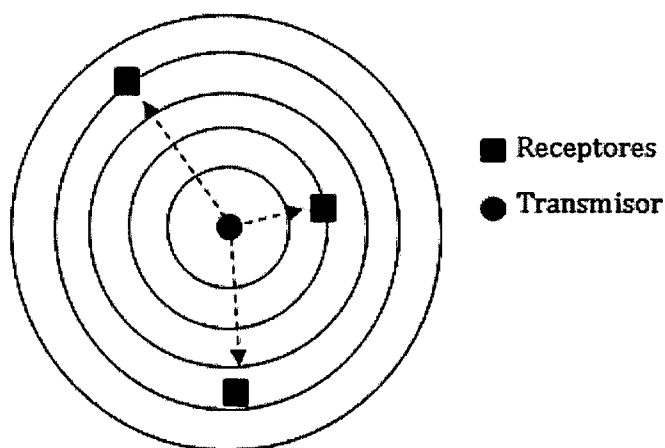


Figura 1. Sistema TDOA de acuerdo con el documento D1: El transmisor se encuentra rodeado por los receptores.

Ahora, todas las posiciones matemáticamente posibles para el transmisor, basándose en la diferencia de tiempo de dos receptores, yacen sobre una hipérbola. Al combinar las hipérbolas que resultan de los diferentes pares de receptores se puede encontrar con una determinada precisión la posición del transmisor.

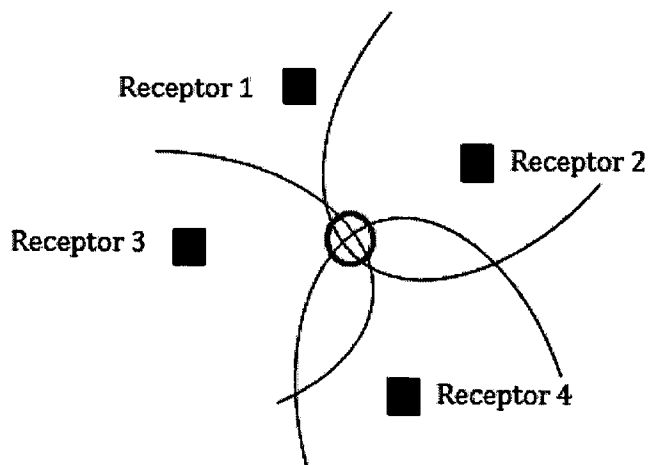


Figura 2. Sistema TDOA de acuerdo con el documento D1: Método matemático para encontrar la posición del Transmisor.

Por otro lado, el sistema definido en la reivindicación 8 comprende una estación repetidora (R); cuatro bases de referencia (A, B, C, D) instaladas en tierra en posiciones geográficas conocidas y visibles desde la estación repetidora (R); un dispositivo de transmisión, provisto en una de las bases de referencia; y una estación central (E).

A diferencia del sistema descrito en el documento D1, el principio de funcionamiento del sistema de la reivindicación 8, se basa en la emisión de una señal de tiempo desde el dispositivo de transmisión (T) dispuesto en una las bases (A); posteriormente, la estación repetidora (T) recibe y retransmite la señal emitida por el transmisor (T) a las cuatro bases de referencia (A, B, C, D). Esta señal, es luego recibida por los dispositivos de recepción (REC) instalados en cada una de las bases de referencia (A, B, C, D), en donde se calcula el tiempo de llegada de la señal.

Seguidamente, en la estación central (E) se calcula la diferencia de por lo menos dos posiciones de la estación repetidora para la misma señal codificada transmitida. Dicho cálculo se hace utilizando por lo menos dos conjuntos distintos de tres bases de referencia, sabiendo que la diferencia antes mencionada es dependiente de un valor de la alteración en tiempo, fase o frecuencia, que es atribuida a la estación repetidora. Una vez calculadas las diferencias referidas anteriormente, es posible identificar qué valor produce una diferencia mínima para las dos posiciones calculadas.

De acuerdo con los párrafos anteriores, el sistema definido en la reivindicación 8 es diferente del sistema del documento D1 tanto en su principio de funcionamiento como en los elementos estructurales que lo conforman:

Primero, la actual reivindicación 8 recita:

“un dispositivo de transmisión (T) provisto en una de las bases (A) capaz de emitir, en un instante de referencia, una señal codificada en tiempo que contiene la identificación de la base de transmisión (A) y del instante de emisión”.

El señor examinador considera que el dispositivo de transmisión de la reivindicación 8 se ve anticipado por las *“estaciones de monitoreo como parte de la estación de base (la estación base por definición tienen dispositivos de transmisión)”*.

Sin embargo, el documento D1 es completamente silencio en cuanto a que las estaciones de monitoreo (MS) transmiten una señal que contiene la identificación de la base (A) y del instante de emisión desde la misma base.

De acuerdo con el Oficio Técnico, esta característica no fue considerada en el análisis de novedad de la reivindicación 8 debido a que describe una funcionalidad del elemento estructural (el dispositivo de transmisión) y por lo tanto no le aporta novedad o nivel inventivo a la reivindicación.

Al respecto argumentamos que como se expuso previamente, esta expresión no define únicamente una funcionalidad del elemento de transmisión (T), sino que describe la relación entre los elementos estructurales del sistema.

Queremos hacer notar al señor examinador, que si bien esta expresión se contextualiza dentro de la reivindicación al exponer que el elemento de transmisión *es capaz de emitir...una señal...*, por lo que podría interpretarse como una funcionalidad, la misma expresión también define la composición de la señal (i.e. que es una señal codificada de tiempo, y que contiene la identificación de la base de transmisión (A) y del instante de emisión), la cual constituye un elemento esencial del sistema, que le aporta novedad y por ende, que permite diferenciarlo del estado de la técnica.

De hecho, debido a que el sistema está conformado por dispositivos remotos, **la caracterización de la señal es fundamental**, ya que es el único medio que interrelaciona dichos dispositivos y los orienta a la solución del problema técnico, siendo imposible describir dicha conexión mediante elementos estructurales.

Ahora, en segundo lugar, la reivindicación 8 específica

“relojes de precisión (RL) cada uno instalado en cada uno de las cuatro bases de referencia (A, B, C, D) y uno en cada objetivo (P) y sincronizados entre ellos”

El documento D1, y de conformidad con lo expuesto en el Oficio Técnico, solo menciona que el sistema comprende un reloj de precisión en la reivindicación 31, la cual nos permitimos citar a continuación: *“El método de la reivindicación 30 en el cual generar una marca de tiempo de referencia en cualquier momento en que se genera una activación incluye usar un GPS o un reloj de alta precisión”*.

Por lo tanto, el documento D1 referencia de forma singular un reloj de precisión, pero nunca enseña o sugiere una pluralidad de relojes de precisión instalados en cada uno de las bases de referencia y objetivo. También es completamente silencio en cuanto al hecho de que los relojes de precisión instalados en cada una de las bases y en cada uno de los objetivos están sincronizados entre ellos.

Más aún, debido a que la función del reloj de precisión en D1 es la de generar una marca de tiempo de referencia, la anterioridad recita usar un GPS o un reloj de alta precisión. Es decir, en el sistema de D1 estos dos dispositivos son intercambiables. Por el contrario, en el sistema de la reivindicación 8, un GPS no podría realizar las funciones atribuidas a los relojes de precisión instalados en cada base de referencia.

Tercero, la anterioridad falla en anticipar:

“una estación central (E) de procesamiento de las diferencias de tiempo de cada una de las bases de referencia (A, B, C, D) y desde cada objetivo (P), y las cuales corresponden a la comparación de la señal de tiempo codificada original transmitida desde la base de referencia (A), retransmitida por la estación repetidora (R), a los relojes de generación de señales de tiempo codificadas en cada una de las bases de referencia (A, B, C, D) y en cada objetivo (P)”.

Específicamente, D1 no divulga que la diferencia de tiempo que permite estimar la ubicación consiste en la comparación de la señal de tiempo original transmitida desde la base de referencia (A), la cual es luego retransmitida por la estación repetidora (R) a los relojes de generación de señales de tiempo codificadas en cada una de las bases de referencia (A, B, C, D) y en cada objetivo (P).

Nuevamente, esta expresión define la trayectoria de la señal por el sistema de la reivindicación 8, y la cual es en efecto una característica esencial al relacionar los diferentes dispositivos estructurales.

A diferencia de lo expuesto en la reivindicación 8, en el sistema de D1 la diferencia de tiempo corresponde únicamente a la comparación de los tiempos de llegada de la señal emitida desde el Transceptor Inalámbrico (WT) a las estaciones de monitoreo (MS). Es decir, que a diferencia de la invención, la señal no se origina en una de las estaciones o bases, sino en el WT, el cual equivale según el oficio técnico al repetidor (R), y por lo tanto físicamente, no puede ser transmitido al repetidor y este no puede retransmitir a las bases como en el sistema de la reivindicación 8.

De esta manera las diferencias de tiempo a las cuales se refiere el documento D1 son completamente diferentes a las del sistema de la reivindicación 8.

La presente invención tampoco se hubiera podido derivar de manera evidente a partir del estado de la técnica, ya que esta falla en proporcionar cualquier enseñanza o motivación que hubiera llevado al versado en la materia a lograr la caracterización del sistema tal y como se reivindica.

De hecho, el principio de funcionamiento del sistema definido en la reivindicación 8 es sustancialmente diferente del descrito en la anterioridad. Por ejemplo, el repetidor inalámbrico de D1 se refiere a un celular móvil y es aplicable únicamente a redes de comunicación móvil. Además, el móvil o transceptor inalámbrico (WT) que desea localizarse **debe necesariamente transmitir su propia señal codificada** sin usar ningún medio transpondedor intermediario adicional.

De acuerdo con el principio de funcionamiento del sistema del documento D1, el Transceptor Inalámbrico (WT) debe estar rodeado por las bases de referencia para poder lograr una ubicación del mismo con exactitud. Como se expuso en párrafos anteriores, la localización del WT en un sistema TDOA se estima definiendo hipérbolas entre los pares de receptores; posteriormente, se combinan dichas hipérbolas para determinar el punto de intersección, el cual corresponde a la posición del WT. Así, si el WT se ubicara en un punto fuera de las cuatro bases de referencia (MS), no se podrían

definir todas las hipérbolas necesarias para resolver matemáticamente la ubicación del WT.

Esta limitación del sistema de D1 se puede evidenciar en las Figuras 2 a 6 de la anterioridad. Por ejemplo, en la Figura 3, se muestra como el transceptor inalámbrico (WT) se ubica en un punto entre todas las bases de referencia (MS), para poder definir todos los tiempos de llegada (TOA) a cada una de las bases (MS) de la señal que emite el WT.

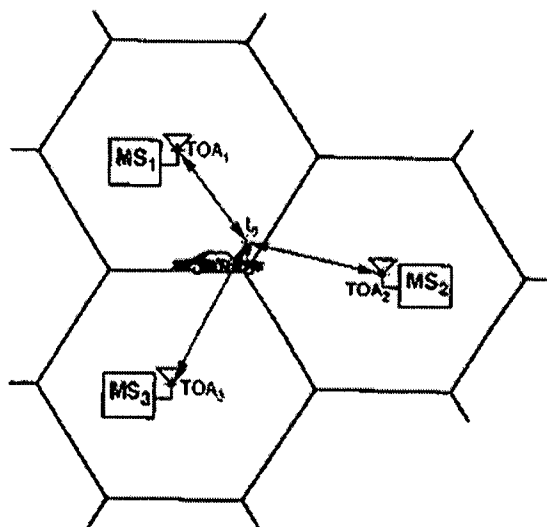


Figura 3. Figura 3 del documento D1: El WT está rodeado de las MS.

La Figura 6 muestra el método mediante el cual se definen las hipérbolas para estimar la posición del transceptor inalámbrico (WT) dentro de las bases de referencia (MS): *"Fig. 6 es una ilustración esquemática de la localización de un transceptor usando trilateración hiperbólica. Con tres TOAs se pueden estimar las coordenadas (x, y) de el WT como la intersección de los dos loci, cada uno corresponde a un TDOA que es independiente del otro TDOA."* (Adaptado de D1, columna 7, líneas 42 a 46).

Por el contrario, en el sistema de la reivindicación 8 no es necesario que el Objetivo (P), o el Repetidor (R), se encuentren rodeados de las bases de referencia (A, B, C, D). De hecho, la reivindicación 8 especifica que estas últimas deben estar en la vista del repetidor con el objetivo de que puedan recibir la señal, pero como el método de

cálculo no se base en definir hipérbolas entre pares de bases, no es necesario que el Repetidor (R) este rodeado de las bases (A, B, C, D).

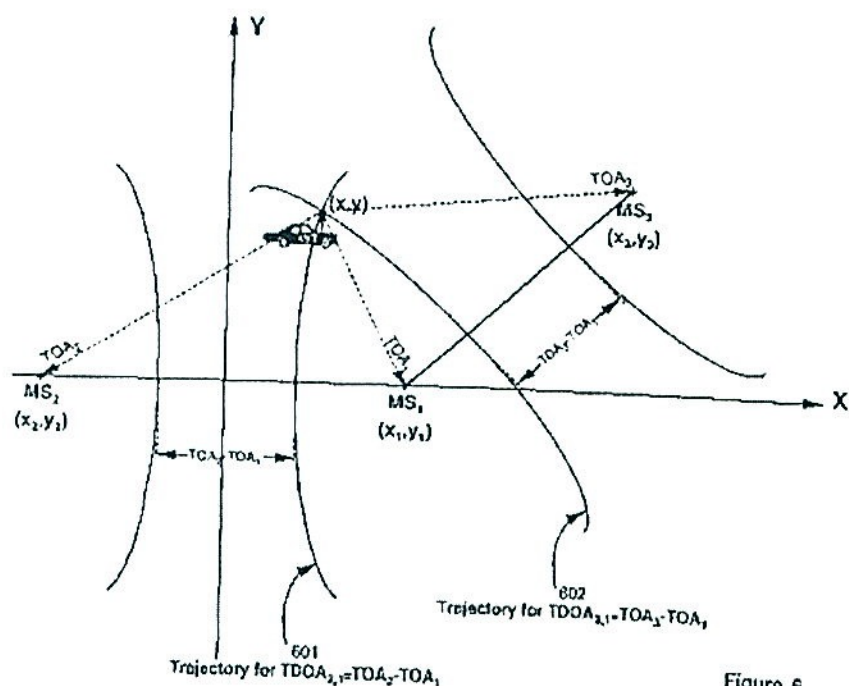


Figure 6

Figura 4. Figura 6 del documento D1: Trilateración hipérbolica.

Adicionalmente, el transpondedor inalámbrico (WT) que desea localizarse **debe necesariamente transmitir su propia señal codificada**. De acuerdo con la reivindicación 1 del documento D1, el sistema comprende una pluralidad de estaciones de monitoreo (MS) donde cada estación de monitoreo incluye un transceptor para monitorear la señal transmitida desde un transmisor inalámbrico y generando un tiempo de llegada estimado (TOA). Esto se puede observar adicionalmente en las Figuras 1 a 6 de D1, en donde se muestra mediante las direcciones de las flechas, como la primera señal emitida en el sistema proviene desde el transmisor inalámbrico (WT) y hacia las estaciones de monitoreo (MS).

Ahora, en el sistema definido en la reivindicación 8, la primera señal no es emitida por el objeto al cual se le quiere determinar la posición (en el caso de D1 el transmisor inalámbrico (WT) y en el caso de la invención el repetidor (R) y el objetivo (P)), sino que la primera señal es emitida por un dispositivo de transmisión (T) provisto en una de las bases (A).

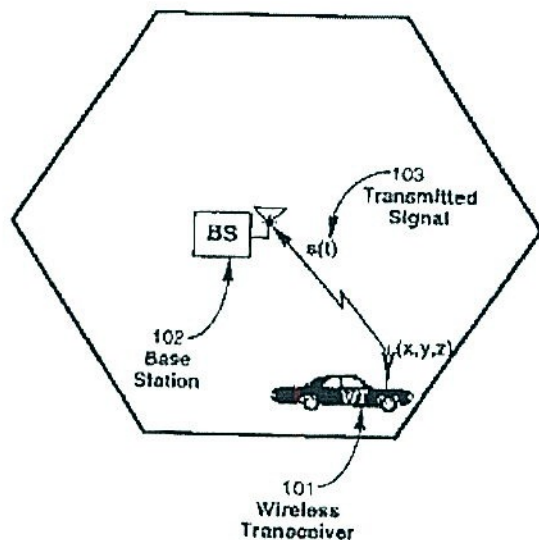


Figura 5. Figura 1 del documento D1.

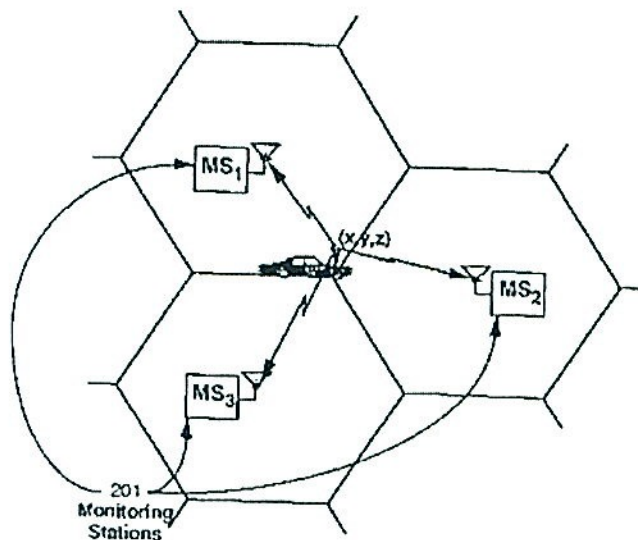


Figura 5. Figura 2 del documento D1.

Por lo tanto, el documento D1 falla en anticipar que la señal de tiempo codificada original es transmitida desde la base de referencia (A) (ítem f de la reivindicación 8)

Asimismo, el documento D1 falla en proporcionar alguna sugerencia que pudiera llevar al versado en la materia a modificar el sistema de la anterioridad para que la primera señal, o la señal original, se emita desde una base de referencia.

Ahora, si en D1 las señales codificadas se transmiten desde el transmisor inalámbrico (WT) a por lo menos tres sitios de monitoreo (MS), en las cuales se determinan los tiempos de llegada (TOA), implica que **el transmisor inalámbrico (WT) debe estar activo.**

En contraste, en la presente invención la señal de referencia codificada de temporización, referida a un reloj de precisión, se transmite desde una de las cuatro bases de referencia, o sitios, y es retransmitida de vuelta a las cuatro bases de referencia y a objetivos en diferentes localizaciones. De esta manera, el Repetidor (R) puede estar tanto activo, como un trans-receptor, o pasivo, como un reflector.

Con respecto al método de cálculo, la reivindicación 8 específica *"la estación de procesamiento (E) determina las posiciones de la estación repetidora (R) referidas a dos conjuntos distintos de tres de las cuatro bases de referencia (A, B, C y A, B, D; A, B, C y B, C, D; A, B, D y B, C, D), minimizando la diferencia entre las respectivas posiciones calculadas para la estación repetidora (R)..."*.

Por lo tanto, el método matemático de la reivindicación 8 es diferente al del sistema TDOA, ya que no define hipérbolas entre todos los pares de receptores para definir un sistema de ecuaciones, sino que se toman solo dos conjuntos de tres de las cuatro bases de referencia y se realiza una optimización sobre estos para corregir los cambios temporales, permitiendo encontrar una posición única del repetidor (R) y los objetivos (P).

En síntesis, el sistema del documento D1 es diferente del de la reivindicación 8 debido a que en el primero la señal se origina por el WT a localizarse, y el cual por consiguiente debe estar activo, mientras que en la invención, la señal se origina en una de las bases de localización conocida y se transmite al repetidor, el cual retransmite la señal a las bases de referencia y a los objetivos, de manera que es posible obtener tanto la ubicación del repetidor, como la ubicación de los objetivos.

Habiendo expuesto las diferencias esenciales que permiten diferenciar el sistema definido en la reivindicación 8 del divulgado en el documento D1, procedemos a discutir algunas de las ventajas de la invención sobre este último, con el objetivo de argumentar a favor de la presencia de nivel inventivo en la solicitud.

Primero, y como se expone en el preámbulo de la reivindicación 8, el sistema reclamado permite: identificar distancias; sincronizar el tiempo de actuadores, geo-referenciar objetivos remotos, con corrección simultánea de cambios temporales, los cuales ocurren como consecuencia de los retrasos en la trayectoria de propagación de las señales y tiempos de tránsito. Por consiguiente, el sistema de la reivindicación 8 permite realizar otros cálculos adicionales a localizar un transmisor inalámbrico.

Por el contrario, el sistema del documento D1, se relaciona únicamente con la estimación de la posición de un transmisor inalámbrico (WT) y más específicamente, con encontrar la localización de un celular móvil. El sistema de la anterioridad no está en capacidad de realizar las demás funciones debido a las limitaciones intrínsecas del sistema. Por ejemplo, y como se discutió previamente en el análisis de novedad, el sistema de D1 no divulga que cada base de referencia o estación de monitoreo tenga instalado un reloj de precisión. En consecuencia, el sistema de D1 no cuenta con las herramientas que permiten sincronizar el tiempo de actuadores remotos y mucho menos permite la corrección de cambios temporales.

Más aún, D1 enlista todas las fuentes de error en la columna 2 líneas 49 a 67, pero nunca considera los retrasos en la longitud de la trayectoria de propagación, ni los tiempos de tránsito en el repetidor.

Por otro lado, el sistema de D1 es de relativo corto alcance, ya que está diseñado para identificar celulares móviles y otros tipos de transmisores inalámbricos en tierra. D1 referencia un celular móvil, PCS o sistemas de comunicación personal, teléfonos con etiquetas de radio, y en general aplicaciones basadas en redes de comunicación de celulares móviles.

En contraste, la presente invención **es un sistema geo-referenciador** que puede emplearse para conocer la ubicación de un satélite o se cualquier otro objetivo remoto dentro del campo de vista del repetidor.

Asimismo, el sistema de D1 es un sistema limitado, de corto alcance, poca precisión y altos tiempos de localización. Específicamente, debido a que los mensajes están denominados mediante etiquetas de identificación de radio, como las usadas en teléfonos inalámbricos, la precisión del sistema de D1 es de apenas unos 115 m:

15

Los inventores han implementado un sistema basado en la presente invención para localizar el teléfono celular basado en la AMP con una precisión horizontal acercándose 115 m (ver D1, columna 5, líneas 1 a 5). Adicionalmente, debido a que la temporización de referencia en D1 depende de servicios de telefonía pública para proveer la identificación de la persona que llama y otros datos, la precisión de dicha temporización de referencia es bastante pobre.

Por el contrario, el sistema de la reivindicación 8 emplea referencias precisas de tiempo codificado en una de las bases de transmisión. La alta precisión en la invención se alcanza mediante los relojes de alta precisión instalados en cada una de las bases y mediante la sincronización entre ellos, y los cual no se presenta en el sistema de D1. Un ejemplo de un reloj de precisión es por ejemplo un reloj de clase media de rubidio, el cual tiene asociada una incertidumbre del orden de 0.5 nanosegundos; errores de posición de aproximadamente 20 centímetros para la posición del repetidor; menos de 10 metros para posicionamiento de objetivos remotos, para un solo repetidor; y 1.0 nanosegundos en sincronización en relojes remotos (ver Kaufmann et al., "A new independent GPS-free system for geo-referencing from space", Positioning, vol. 5, pp. 37-45, 2014)

Por ende, la precisión tanto en los tiempos de sincronización, como en la posición del objeto a ser ubicado, es mucho más alta en la presente invención (del orden de 10 veces más preciso), lo cual es un claro indicio de la presencia de nivel inventivo en el sistema reivindicado.

Ahora, el sistema de la anterioridad también implica que la localización toma mucho más tiempo en relación con la invención. En concreto el documento D1 divulga con exactitud que el tiempo necesario para alcanzar una estimación de localización inicial del terminal móvil consiste de tres partes principales:

- 1) el tiempo necesario para el seguimiento de la señal de radio transmitida, seguido por el tiempo para el procesamiento de la señal recibida a fin de estimar su TOA en relación a una referencia de tiempo;
- 2) el tiempo requerido para descargar de cada estación de monitoreo (MS) su TOA correspondiente a un sitio central, seguido por el tiempo para el procesamiento de todos los TOA estimados a través de trilateración hiperbólica diferencial con el fin de estimar la localización del terminal móvil;
- 3) el tiempo requerido para la superposición de la ubicación geográfica del subscriptor móvil con regiones de cobertura individuales de Puntos de Respuesta de Seguridad Pública (PSAP) para determinar el enrutamiento PSAP apropiado. (Ver D1, columna 6, líneas 30 a 45).

Lo anterior implica la presencia de dos limitaciones del sistema de D1 que se ven superadas por la presente invención. Primero, de acuerdo con el numeral 3, el sistema de D1 requiere de puntos de respuesta de seguridad pública (PSAP) tales como los servicios de 1-900 en Estados Unidos para la identificación de las etiquetas como referencias. Por el contrario, la invención tiene aplicaciones universales de manera que no requiere de un punto de respuesta por región de cobertura, sino que es capaz de ubicar la posición del repetidor en la estación central (E).

Segundo, el sistema de D1 toma más de veinte (20) segundos para encontrar la posición del celular a localizarse (ver D1, columna 2, líneas 30 a 34). Mientras que la invención determina de manera exacta e instantánea el posicionamiento geográfico de la estación remota referida (ver párrafo 1 de: breve descripción de la invención de la solicitud).

Así la reivindicación 8, al igual que las reivindicaciones dependiente 9 a 12, constituyen materia sin precedentes en el estado de la técnica y por lo tanto son completamente meritorias del privilegio de patente que aquí se solicita.

En vista de lo anteriormente expuesto, respetuosamente solicitamos el retiro de las objeciones de la presente solicitud y la concesión del privilegio solicitado, ya que en opinión del solicitante cumple con todos los requisitos establecidos en la Decisión 486.

Atentamente,



JUAN PABLO CADENA SARMIENTO

T.P. No. 57.492 del C.S.J.

C.C. 80.410.337 de Usaquén

Calle 70 A No. 4 - 41

REIVINDICACIONES MODIFICADAS

1.- Un procedimiento para determinar cambios temporales en retransmisión y propagación de señales, para medir distancias, sincronizar actuadores y georreferencia, caracterizado por el hecho de que comprende los pasos de:

a- instalar las cuatro bases de referencia (A, B, C, D) en tierra, cada tres de ellas no colineales, en posiciones geográficas conocidas y visibles dese la estación repetidora (R);

b- emitir, en un instante de referencia y desde un dispositivo transmisor (T) provisto en una de las bases de referencia antes mencionadas, una señal codificada que contiene la identificación de la base de referencia emisora y del instante de emisión;

c- recibir, en un dispositivo receptor (REC) instalado en cada una de las cuatro bases de referencia (A, B, C, D) la señal codificada, recibida y retransmitida por la estación repetidora (R);

d- atribuir, sistemáticamente, diferentes valores arbitrarios al cambio en tiempo, fase o frecuencia, a la repetidora (R) y calcular, para cada cambio temporal atribuido, una diferencia de posición respectiva para la estación repetidora (R) obtenida con el uso de dos distintos conjuntos de tres bases de referencia (A, B, C y A, B, D; A, B, C y B, C, D; A, B, D y B, C, D);

e- identificar cuál de los valores atribuidos para los cambios temporales en la repetidora (R) da por resultado una diferencia mínima entre las dos posiciones de la estación repetidora (R), obtenidas usando dos distintos conjuntos de tres bases de referencia (A, B, C y A, B, D; A, B, C y B, C, D; A, B, D y B, C, D); y

f- utilizar el cambio temporal encontrado en "e" para determinar la posición de la repetidora (R).

2.- El procedimiento de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado además por el hecho de que las posiciones de diferencia para la estación repetidora (R) se calculan algebraicamente atribuyendo ciertos valores a dicho cambio temporal, en un número suficientemente alto para identificar el denominado valor mínimo de las diferencias comparativas.

3.- El procedimiento de conformidad con la reivindicación 2, caracterizado además por el hecho de que la realización de los cálculos iterativos de las diferencias entre posiciones de la estación repetidora incluyen y corrigen el efecto causado por cambios temporales debido a la propagación de señal característica del medio en el cual opera el sistema, adoptando modelos de propagación conocidos, y usando ángulos de elevación para la estación repetidora (R) como se ve a partir de las diferentes bases (A, B, C, D) para determinar la exactitud y posición definitiva de la estación repetidora (R).

4.- El procedimiento de conformidad con la reivindicación 3, caracterizado además porque también incluye otro paso: la determinación de las coordenadas de la estación repetidora (R) con correcciones para cambios en tiempo, frecuencia o fase, para un instante de referencia dado.

5.- El procedimiento de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 3 ó 4, caracterizado además porque también incluye otro paso para diseminar señales de tiempo a otros puntos en tierra, con posiciones geográficas conocidas, para sincronización de los relojes respectivos.

6.- El procedimiento de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 3 ó 4, caracterizado además porque también incluye los siguientes pasos: - emitir, desde dicha base de referencia y en instantes sucesivos, señales codificadas y obtener coordenadas sucesivas para la estación repetidora (R), corregidas tomando en cuenta el tiempo, frecuencia o cambios de fase en la retransmisión y propagación de dichas señales de tiempo codificadas a fin de determinar la navegación de la estación repetidora (R); - retransmitir, por la estación repetidora (R), las señales de tiempo codificadas a otros objetivos con posiciones geográficas desconocidas, cada una con sus propios relojes sincronizados a relojes instalados en las cuatro bases de referencia (A, B, C, D); - obtener distancias desde la estación repetidora (R) a los otros objetivos, corregidas para los cambios en tiempo sobre la retransmisión y sobre la propagación en el medio; y - determinar coordenadas objetivo al medir las diferencias en tiempo de por lo menos tres instantes sucesivos, con la adopción de cambios en tiempo, fase o frecuencia.

7.- El procedimiento de conformidad con la reivindicación 6, caracterizado además porque también comprende el paso de: - calcular la distancia desde la estación repetidora (R) a las bases de referencia (A, B, C, D) y a los objetivos con posiciones geográficas que han de ser determinadas, con correcciones para los cambios en tiempo en la estación repetidora (R) y aquellas causadas por la propagación de señal en el medio, para las posiciones de la estación repetidora (R) en cuatro instantes diferentes, dichas posiciones no están a lo largo de una sola línea recta, definiendo unívocamente, en un sistema de coordenadas arbitrariamente seleccionadas en el espacio, a través de cuatro mediciones sucesivas, el posicionamiento espacial de los objetivos, dicha ubicación es buscada.

8.- Un sistema para determinar distancias, sincronización de tiempo de actuadores y geo-referencia de objetivos a distancia (P), con corrección simultánea de cambios temporales, debido a los retrasos de la trayectoria de señales de propagación y tiempos de tránsito en los dispositivos de transmisión (T), una estación repetidora (R) y dispositivos de recepción (REC), siendo dicho sistema caracterizado por el hecho de comprender:

a- cuatro bases de referencia (A, B, C, D) en tierra, cada tres de ellas no colineales, en posiciones geográficas conocidas;

b- un dispositivo de transmisión (T) provisto en una de las bases (A) capaz de emitir, en un instante de referencia, una señal codificada en tiempo que contiene la identificación de la base de transmisión de referencia (A) y del instante de emisión;

c- una estación repetidora (R) que define un dispositivo intermedio de retransmisión, localizado espacialmente en algún lugar visible para todas las cuatro bases de referencia (A, B, C, D);

d- relojes de precisión (RL) cada uno instalado en cada una de las cuatro bases de referencia (A, B, C, D) y uno en cada objetivo (P) y sincronizados entre ellos;

e- dispositivos de recepción (REC) instalados en cada una de las cuatro bases de referencia (A, B, C, D) y uno en cada objetivo (P), en capacidad de recibir la señal de tiempo codificada originada desde el dispositivo de transmisión (T) en una de las bases (A), retransmitida por la estación repetidora (R), y en capacidad de diferenciar dicha señal de tiempo codificada de la señal de tiempo codificada generada por los relojes en cada una de las respectivas bases de referencia (A, B, C, D) y desde cada objetivo (P)

f- una estación central (E) de procesamiento de las diferencias de tiempo de cada una de las bases de referencia (A, B, C, D) y desde cada objetivo (P), y las cuales corresponden a la comparación de la señal de tiempo codificada original transmitida desde la base de referencia (A), retransmitida por la estación repetidora (R), a los relojes de generación de señales de tiempo codificadas en cada una de las bases de referencia (A, B, C, D) y en cada objetivo (P), la estación de procesamiento (E) determina las posiciones de la estación repetidora (R) referidas a dos conjuntos distintos de tres de las cuatro bases de referencia (A, B, C y A, B, D; A, B, C y B, C, D; A, B, D y B, C, D), minimizando la diferencia entre las respectivas posiciones calculadas para la estación repetidora (R) para cambios temporales óptimamente corregidos causados por la propagación de retrasos de trayectoria y tiempos de tránsito en el repetidor y otras interfaces electrónicas y por lo tanto definiendo la única posición corregida de la estación repetidora (R) y el objetivo (P);

g- un dispositivo de transmisión (MT) provisto en cada una de las cuatro bases de referencia (A, B, C, D) y en los objetivos (P), reenviando a la estación central de procesamiento (E) las diferencias de tiempo entre la señal de tiempo codificada recibida desde la estación repetidora (R) y la correspondiente señal de tiempo codificada generada por los relojes en cada una de las bases de referencia (A, B, C, D) y en cada objetivo (P).

9.- El sistema de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado además por el hecho de que la estación de procesamiento central (E) está físicamente localizada junto a la base de referencia transmisora (A), esta provista de un transmisor (T).

10.- El sistema de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado además por el hecho de que la estación de procesamiento central (E) tiene un procesador que usa algoritmos conocidos de cálculo de cada una de las transferencias de tiempos de referencia:

- a- las coordenadas de posición del repetidor.
- b- la única distancia de objetivo desde el repetidor.
- c- la corrección de reloj, o sincronismo en el objetivo, o objetivos, con coordenadas geográficas conocidas.

11.- El sistema de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado por el hecho de que la estación central de procesamiento (E) tiene un procesador que usa algoritmos conocidos de cálculo de tres de las cuatro transmisiones sucesivas de referencia de tiempo de coordenadas geográficas del objetivo remoto, u objetivos, de posiciones desconocidas.

12.- El sistema de conformidad con las reivindicaciones 10 y 11, caracterizado por el hecho de que las coordenadas geográficas del objetivo remoto u objetivos, de posiciones desconocidas, pueden también determinarse por una única interacción de referencia de tiempo codificada, retransmitida desde cuatro de los transpondedores provistos simultáneamente y visibles desde las cuatro bases de referencias y objetivo(s).

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800.176.089-2

- / -

125257
23

 Industria y Comercio SUPERINTENDENCIA	RECIBO DE CAJA	No. 14 - 0069303
	Bogotá D.C., Julio 01 de 2014 - 17:49:05	

RECIBIDO DE : BRIGARD & CASTRO S.A.

NI 860.047.372

***** Soporte del Pago *****

TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PAGO	VR. PAGO
CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	650548544	01/07/2014	72.063.000.00

***** Conceptos Pagados *****

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	Vr. UNITARIO	Vr. CONCEPTO
2 50005-01-01	SOLICITUDES	1607 REIVINDICACION PATENTE UNITARIA ADICIONAL A LAS 10 INIC	31.000.00	62.000.00
				\$62.000.00

SON: **SESENTA Y DOS MIL PESOS MONEDA CORRIENTE**

Responsable: _____

Recibo de Caja Aplicado al Expediente No. _____

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 13-203088- -00005-0000

Fecha: 2014-12-23 16:46:22	Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra 11 PATENTEIYII	Eve: 378 FASENACIONALI
Act. 523 RESPUESTA	Folios: 32

Sede Centro: Carrera 13 No. 27 - 00 Pisos 3,4,5 y 10 Bogotá, D.C.- Colombia

Web: www.slc.gov.co e-mail: info@slc.gov.co Conmutador: (571) 5870000 Fax: (571) 5870284 Línea: 018000-910165 Call Center: (571) 6513240

Julio 1 de 2014 - 17:49:35

A New Independent GPS-Free System for Geo-Referencing from Space

P. Kaufmann^{1,2}, P. L. Kaufmann³, S. V. D. Pamboukian^{1,4}, R. Vilhena de Moraes⁵

¹Escola de Engenharia, CRAAM, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil

²Centro de Componentes Semicondutores, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil

³Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

⁴Escola de Engenharia, Laboratório de Geotecnologias, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil

⁵Dinâmica Orbital e Planetologia, Universidade Federal do Estado de São Paulo, São José dos Campos, Brasil

Email: pierrekau@gmail.com

Received 21 February 2014; revised 21 March 2014; accepted 20 April 2014

Copyright © 2014 by authors and Scientific Research Publishing Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

A new system's geo-referencing from space is entirely free from any GNSS (GPS or equivalent) systems. The system addresses to various strategic and economic applications such as in remote clock synchronism, aircraft and balloon navigation, missile and smart bombs tracking, satellite orbital determination and remote target geo-positioning. The new geometry concept corresponds to an "inverted GPS" configuration, utilizing four ground-based reference stations, synchronized in time, installed at well known geodesic coordinates and a repeater in space, carried by an aircraft, balloon, satellite, etc. Signal transmitted by one of the reference bases is retransmitted by the transponder, received back by the four bases, producing four ranging measurements which are corrected for the time delays undergone in every retransmission. A minimization function was derived to compare the repeater's positions referred to at least two groups of three reference bases, to correct for the signal transit time at the repeater and propagation delays, and consequently to provide the accurate repeater position for each time interaction. Once the repeater's coordinates are known, the other determinations and applications become straightforward. The system solving algorithm and process performance has been demonstrated by simulations adopting a practical example with the transponder carried by an aircraft moving over bases and a target on the ground. Effects produced by reference clock synchronism uncertainties at the four bases on the measurements are reviewed.

Keywords

Geo-Referencing from Space, GPS-Free Time Synchronization, Navigation and Positioning, Space

Geodesy, Remote Ranging Transponder Transit Times, Propagation Path Delays

1. Introduction

A very well known principle to determine indirectly the distance of a remote object utilizes the echo of a transmitted signal, which propagation speed is known. A remote repeater with three dimensional positions can be geometrically determined in relation to at least three transmitters at known position coordinates. This principle led to the concept of a geo-referencing system [1] which may be visualized as "inverted GPS" geometry in space. However in practical applications, when applied to time reference marks transported by electromagnetic waves, the feasibility of the concept becomes critically dependent on the knowledge of temporal effects due to four principal causes: (a) the signal speed propagation the medium causing path length variations; (b) propagation time at instruments, cables and connectors at the transmission module; (c) propagation time at instruments, cables and connectors at the final reception modules; and (d) time of signal transit at the remote transponder, which distance is to be determined.

The cause (a) is generally sufficiently well predicted by models for propagation in various media (ionosphere, troposphere) as well as in space (see for example Refs. [2]-[7] and references therein). The path length variations, however, depend on the elevation angle the object (carrying a repeater) that is seen from the bases, which need to be determined.

Causes (b) and (c) can be measured directly, with sufficiently high accuracy, depending on the quality of the instruments that are utilized. The cause (d) however is undetermined since the remote object, carrying the transponder, is inaccessible for direct measurements. There are various long distance wireless transmission options using electromagnetic waves, such as the radio waves. The signals are sent to great distances using retransmission repeating links represented by a transponder or repeater. At the transponders that the signals are received, they may or may not be stored or processed, be amplified, and then retransmitted at a frequency which may be the same, or different from the incoming frequency. The signal transit time at the transponder is affected by several sources. It undergoes changes in its internal signal propagation thermal dependent physical characteristics, which can change with time, changes in internal digital processing time which may be different for distinct coded time messages, when it is the case, or for each sequence of signals used to determine its distance of the repeater.

Other known time changes need to be considered on fast moving transponders carried by satellites for example. Doppler path change caused by frequency shifts in the direction of the repeater [8] [9] and of relativistic effects relative to the reference system containing the sites to which the distances are to be determined, which become further accentuated when the satellites move over distinct gravity potentials relative to the geoid [10]. They may be neglected for velocities the speed of light, because they produce effects much smaller in comparison to propagation and delays at the repeater.

On the other hand, passive transponders, such as the signal scattered reflection by meteor trails in the upper terrestrial atmosphere in the VHF frequency band [11], may undergo significant phase delays which need to be taken into account for distance measurements.

Therefore for accurate ranging measurements, it becomes essential requirements to know the precise knowledge of the path length changes due to propagation as well as time changes for each coded time signal interaction at the transponder, for applications in time synchronization, navigation and remote positioning.

2. The System and Method

The new system consists in four reference bases on the ground at known geodesic position coordinates, synchronized among themselves, and a repeater in space. The method to determine delays compares the positions of the repeater referred to at least two distinct sets of three of the four reference bases on the ground [11] [12] (see Figure 1). A set of tentative possible delay values within a certain time interval is established in advance. For a given single time-coded transmitted signal, the calculations of the repeater's position coordinates are performed for different values assigned to the delays for each set of three reference bases on the ground (ABC, ACD and ABD). Calculations are done using a known algorithm [13] for every set of three reference bases on the ground.

With a time signals transmitting site located at base A, the other reference bases B, C, D and a target in P, the segments measurements obtained are [12]:

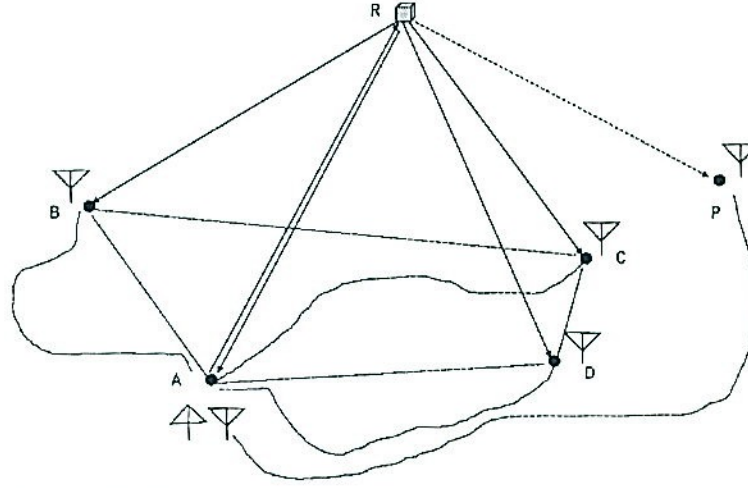


Figure 1. The four ground based geodetic reference bases, A , B , C and D , the repeater in the sky R , and a remote site P . Time signals are emitted by one reference base A , retransmitted by R and received by all ground bases and the target where time differences are measured [11][12].

$$\begin{aligned}
 AR(\delta_R, \Delta_{pdAR}) &= (\Delta t_A - \delta_{At} - \delta_{Ar} - \delta_R)(c/2) - \Delta_{pdAR} \\
 BR(\delta_R, \Delta_{pdAR}, \Delta_{pdBR}) &= (\Delta t_B - \delta_{At} - \delta_{Br} - \delta_R)c - AR(\delta_R) - \Delta_{pdBR} - \Delta_{pdAR} \\
 CR(\delta_R, \Delta_{pdAR}, \Delta_{pdCR}) &= (\Delta t_C - \delta_{At} - \delta_{Cr} - \delta_R)c - AR(\delta_R) - \Delta_{pdCR} - \Delta_{pdAR} \\
 DR(\delta_R, \Delta_{pdAR}, \Delta_{pdDR}) &= (\Delta t_D - \delta_{At} - \delta_{Dr} - \delta_R)c - AR(\delta_R) - \Delta_{pdDR} - \Delta_{pdAR} \\
 PR(\delta_R, \Delta_{pdAR}, \Delta_{pdPR}) &= (\Delta t_P - \delta_{At} - \delta_{Pr} - \delta_R)c - AR(\delta_R) - \Delta_{pdPR} - \Delta_{pdAR}
 \end{aligned} \tag{1}$$

where the parameters to be determined are the coded time signal transit time at the repeater δ_R and the propagation path delays, Δ_{pdAR} , Δ_{pdBR} , Δ_{pdCR} , Δ_{pdDR} .

AR , BR , CR , DR and PR are the distances of bases A , B , C , D and of the target P to the repeater R , respectively, expressed as a function of time variations caused by the signal transit at the repeater δ_R , to be determined, and corrected for the respective propagation path delays Δ_{pdAR} , Δ_{pdBR} , Δ_{pdCR} , Δ_{pdDR} and Δ_{pdPR} ; Δt_A , Δt_B , Δt_C , Δt_D and Δt_P are the time differences effectively measured at bases A , B , C and D , as well as at the target P , respectively, with respect to their clocks; δ_{At} is the time variation due to signal transit in circuits and cables when transmitted from base A , previously measured and known; δ_{Ar} , δ_{Br} , δ_{Cr} , δ_{Dr} and δ_{Pr} are the time variations due to the coded time signal transits on circuits and cables when received at bases A , B , C , D and P , respectively, previously measured and known; and c is the speed in free space of the electromagnetic waves that transport the coded time signal.

Since the repeater's position in the sky is not known *a priori*, the time variations δ_R at the repeater and the path delays can, in practice, be determined simultaneously. As we determine δ_R , the approximate repeater's position is determined, and consequently the elevation angles it is seen from each one of the four bases are defined. The propagation path delays for each distances AR , BR , CR and DR are found utilizing the repeater's elevation angles as seen from the bases applied to a selected propagation model to derive the fully corrected repeater's position. Therefore the values for path delays Δ_{pdAR} , Δ_{pdBR} , Δ_{pdCR} , and Δ_{pdDR} are added to the system of Equations (1), which become a function of δ_R only. The value of Δ_{pdPR} will be found similarly but afterwards, when the target position is determined.

The coordinates of the repeater platform R in relation to the x , y and z coordinate axis to be found using the known algorithm [13]. With measurements obtained at bases A , B , and C , as function of the transit time at the repeater δ_R we obtain $x_R(\delta_R)$, $y_R(\delta_R)$ and $z_R(\delta_R)$. On the other hand, adding the measurements obtained with bases A , B and D , we get $x'_R(\delta_R)$, $y'_R(\delta_R)$ and $z'_R(\delta_R)$.

The pair of systems of equations to obtain the repeaters' coordinates in relation to bases A , B , C and A , B , D

2X

(2) allow us to formulate the discrepancy between the repeater's positions caused by the transit time δ_R value given by the following expression [11] [12]:

$$\begin{aligned} f(\delta_R) &= \left[x_R(\delta_R), y_R(\delta_R), z_R(\delta_R) \right] - \left[x'_R(\delta_R), y'_R(\delta_R), z'_R(\delta_R) \right]^2 \\ &= \left[x_R(\delta_R) - x'_R(\delta_R) \right]^2 + \left[y_R(\delta_R) - y'_R(\delta_R) \right]^2 + \left[z_R(\delta_R) - z'_R(\delta_R) \right]^2 \end{aligned} \quad (2)$$

The closest value found for δ_R for every time signal interaction at the repeater corresponds to the minimum value obtained for $f(\delta_R)$ with varying values of δ_R . This can be found by a number of well known numerical calculation methods, such as by iterative procedures or by successive approximations, as it will be shown in the simulations later in this paper. The accuracy of δ_R determinations will be in the limit of the instrumental accuracies utilized for the coordinate's determination. The same procedure may be repeated simultaneously, using measurements at bases A , C , and D , improving the accuracy by averaging the two independent estimates for δ_R .

The path delays for each distance AR , BR , CR and DR , caused by propagation in the medium, Δ_{pdAR} , Δ_{pdBR} , Δ_{pdCR} , and Δ_{pdDR} , are derived at the same time calculations are performed to determine δ_R , adopting the respective elevation angles the repeater is seen from each one of the four bases, which were determined during calculations. For the path delay derivation, an adequate propagation model must be adopted, depending on the frequency band used for the coded time signals transmissions. At higher SHF and EHF radio bands, for example, the corrections are due to propagation in the lower atmosphere [7]. The path delay corrections can be approximated using a plane parallel model for the atmosphere

$$\Delta_{pd} = c\tau_{atm} / \sin H \quad (3)$$

where c is the speed of light, τ_{atm} the atmosphere zenith delay, and H the object elevation angle with respect to the horizon. At low frequency bands, at VHF and UHF and to a certain extent at L-band, the path delay corrections are mostly caused by propagation in the upper atmosphere, ionosphere and plasmasphere [5].

3. Applications

3.1. Synchronism of a Remote Clock

Every transmitted coded time signal will be also received at other targets, as the example P given in Figure 1. Assuming that the position coordinates of P is known, once the coordinates of the repeater R is determined, the segment PR becomes known in advance. Therefore the discrepancy between the local clock at P and the time received from the clock at the transmitter A can be written as:

$$\Delta t_p = AR/c + PR/c + \delta_{At} + \delta_R + \delta_{Pr} + \Delta_{pdAR} + \Delta_{pdPR} \quad (4)$$

where the segments AR and PR are measured by ranging, δ_{At} and δ_{Pr} are experimentally determined and known, and δ_R , Δ_{pdAR} and Δ_{pdPR} are determined by the method described here. The clock time correction at P , needed for synchronization will be $\Delta t_p - \Delta_p$, where Δ_p is the theoretical correct time expected for the clock at position P .

This application can be extended to synchronize clocks at various actuators simultaneously. These may be telecommunications re-transmitters which essential requirement is to operate synchronized to prevent cross-talks and mutual message garbling interferences. The precision of clock corrections can be close to the accuracy attained in the synchronization of reference bases A , B , C and D .

3.2. Repeater's Position and Navigation

The values of δ_R and of Δ_{pdAR} , Δ_{pdBR} , Δ_{pdCR} , and Δ_{pdDR} found with this method are introduced in the system of equations [13] to obtain the repeater's actual coordinates, for each coded time interaction. The navigation of the platform is straightforward. It is immediately derived from successive repeater's positions determinations.

3.3. Remote Target Location

The remote target coordinates corrected for time delays at the repeater and due to propagation are readily calculated using the known algorithm [13]. The distance from the repeater R , PR , can be determined by a single time interaction, provided that (a) the clock at P is sufficiently well synchronized with respect to the reference bases A , B , C and D and (b) the temporal change of the coded time signal at the repeater δ_R and the propagation path

delays are determined accordingly to the method demonstrated here. The coordinates of P can be determined univocally by obtaining four different measurements of its distance to the repeater R , at four distinct instants, provided that the respective repeaters' positions are not part of a straight line. The calculations are applied here referring to one set of three reference bases, including A where the time code transmitter is located (*i.e.*, A, B, C or A, B, D or A, C, D). We obtain the equations for four spheres which intersections give the coordinates of the target P . The fourth position might not be needed when the surface of the Earth is taken as the fourth sphere of reference.

4. Simulations

4.1. The Algorithm Demonstration and the System Performance

A new software has been specifically developed [14] to demonstrate the algorithm [13] for the geo-referencing applications and to perform simulations using the minimization function (2) for multiple three bases sets shown here. Details on the software description, using MATLAB, version R2010a [15] has been given elsewhere [12] [14].

An updated practical application is shown in Figure 2, exhibiting a realistic representation of the selected ground-based reference base locations at four cities in São Paulo State, Brazil: São Paulo, Itú, Campinas and Bragança Paulista, with known geodesic coordinates. The city of Atibaia, in the same State, has been selected to simulate the target P . It has been conceived a transponder carried by an aircraft flying at an altitude of about 6 km above the city of Jundiaí.

The minimization of the repeater position discrepancy process, *i.e.*, the iterative minimization of function (2) performed by the new software, has been done adopting an initial value for transit time and setting an upper and lower range for its variation. The correct time delay at the repeater is found at the end of the minimization process. To proceed with simulations the bases and target position coordinates were converted into the ECEF (Earth-Centered, Earth-Fixed) coordinates system, using datum WGS84 [16]-[18] for the reference ellipsoid. The location of a point in this system can be done in coordinates (x, y, z) . The origin of axes $(0, 0, 0)$ is the cen-

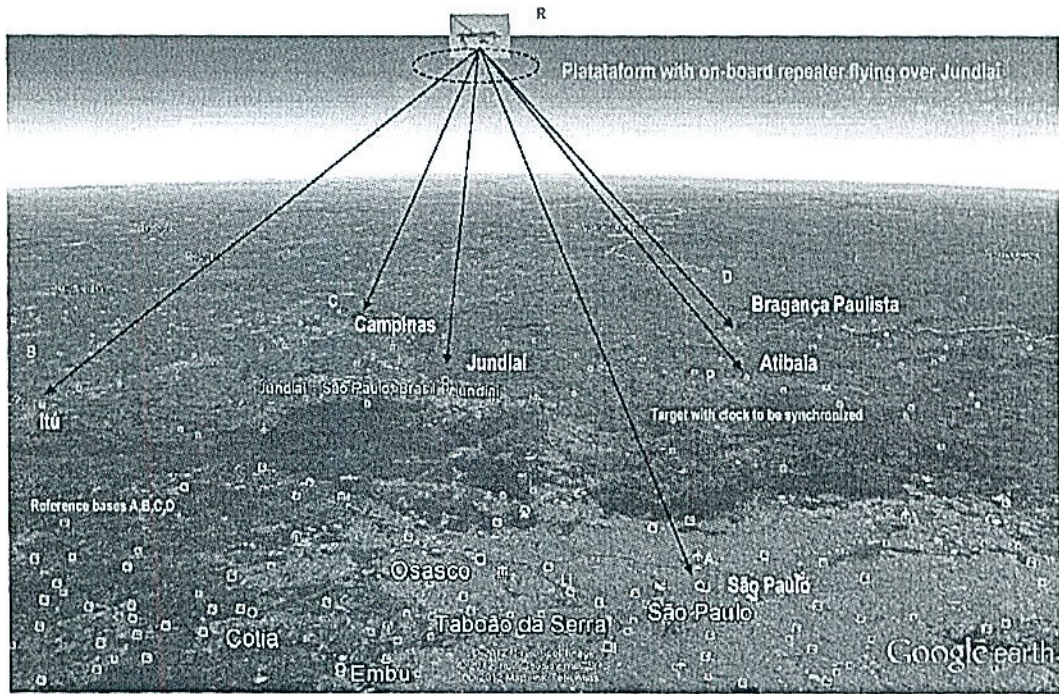


Figure 2. Realistic simulation scenario with ground-based reference bases at four cities in São Paulo state, Brazil with known geodesic coordinates. Another city in the same state has been selected to represent the target. It has been conceived that a transponder is carried by an aircraft flying at an altitude of about 6 km at above the city of Jundiaí, being seen by all four bases and the target.

ter of the Earth, the axis Z points to the North, axis X points to Greenwich meridian (where latitude = 0 degrees). The altitude is taken as the distance perpendicular and above the surface of the ellipsoid [16]-[18]. The iterative process has been repeated for three more positions of the transponder, to allow the target position determination.

To demonstrate initially the functionality of the algorithm and of the software application we have assumed that the exact coordinates for the bases are previously known, as well as for the target, and for the respective assumed positions for the aircraft carrying the repeater. The time delays due to the signal propagation in the medium were introduced in the following step, assuming a propagation model. The calculations of delays at the repeater, of the repeater's position, and propagation path delays relative to each base were obtained by simultaneous iterations since these variables are interdependent. To obtain a new position for the repeater the path delay lengths were then added, after the model expressed by equation (3), for the approximate calculated elevation angle the repeater as observed from the reference bases and target at every iteration. The process has been repeated until obtaining the convergence of values. The results obtained with the simulation software assuming known positions and synchronized clocks, demonstrate the full algorithm functionality, exhibiting discrepancies in the repeater's position and in the target position less than 0.001 mm. This value, of course, is just for the algorithm test demonstration. In practice the discrepancies are larger, depending primarily on reference and target clocks synchronization uncertainties, as it will be shown in the following section.

The results obtained from the above simulations demonstrate the algorithm applicability. For previously assumed known base's and target coordinates, the clocks of the system perfectly synchronized, the ideal error at the receiving location is practically zero.

4.2. The Effect of Gaussian Distributed Uncertainties

The major source of uncertainties in the determinations is related to errors between clocks and/or in delays miscalculations. The two sources can be added together within a certain approximation. To perform simulations of the clocks (and/or delays) uncertainties on the determinations of δ_t and of path delays we have introduced here a realistic Gaussian distribution of errors generating random values for clock/delay uncertainties at the four reference bases and at the target, within a plausible time interval.

We adopted here clock accuracies consistent with realistic compact simple and compact rubidium clocks available in the market, exhibiting short term stability (typically one month) of the order of 10^{-11} s, and long term stability (one year) of few nanoseconds (see for example Refs. [19]-[21]). To calculate the system errors on the remote clock synchronism, on the repeater's position and on the target location caused by propagation, we adopted a Gaussian distribution of uncertainties set in the r.m.s. range of ± 0.5 ns, which is attainable when the bases and target clocks are periodically synchronized, as for example every month.

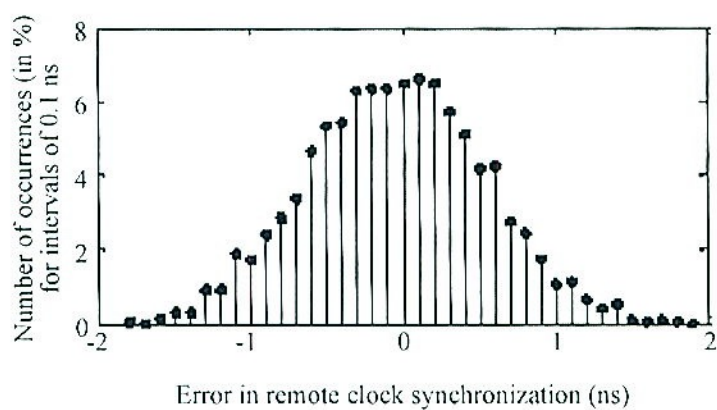
The resulting system error distributions are shown in Figure 3. The plots correspond to 1000 randomly generated delay values within the Gaussian distribution, for four repeater's positions. For each delay it was determined the scattering (or errors) in remote clock synchronization accuracy, in the repeater's position, and the target position. It can be seen that the typical errors on remote clock synchronization are comparable to the transmitted setting uncertainties. For reference bases and target clock uncertainties of ± 0.5 ns, r.m.s, the errors become smaller than few tenths of a ns; less than 0.4 meters in the repeater's position, and less than few meters for the target location.

5. Concluding Remarks

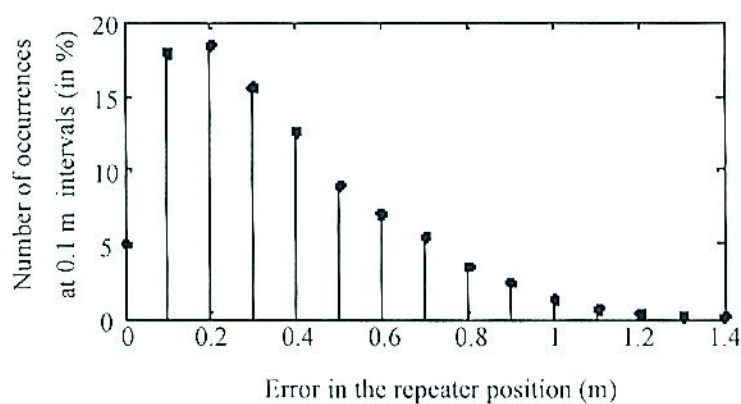
We have presented the functionality, tested the algorithm and simulated the performance of a new independent and GPS-free space's geo-referencing system. This is a powerful space's geo-referencing system and method to be used for remote clock synchronization, the navigation of various types of platforms carrying at repeater, and remote target positioning and with very high accuracy.

The system concept may roughly be seen as an "inverted GPS geometry", using at least four reference bases at known locations on the ground and a remote transponder in space. With this configuration, it is possible to eliminate the most critical errors caused by time delays of signals transiting by the repeater, and others caused by the signal propagation in the medium. Special software has been developed to demonstrate the new system's functionality and performance. It has demonstrated the accuracy of the analytical algorithm solutions for practical application.

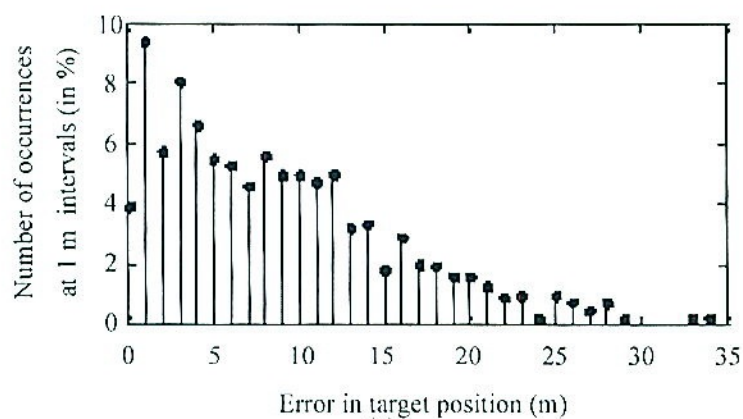
Although the new system is not intended to be regarded as a replacement of the well settled and commercially



(a)



(b)



(c)

Figure 3. Example of errors caused by clock synchronism uncertainties at reference bases and at target, which may include the path delays errors. The scatter plots assume a Gaussian distribution of errors in a range of ± 0.5 ns, r.m.s, for 1000 randomly generated delay values. In (a) the error in a remote clock synchronization; (b) the error in the repeater's position; and (c) the error on the target location.

successful space geo-referencing based on GNSS, specially GPS (and equivalent systems such as GLONASS, COMPASS, Galileo), it may bring profound impact on a number of commercial and strategic applications, for its competitive simpler implementation; for its independence from complex and expensive permanent geo-reference's satellite orbital ephemeris updating needed because of irregular earth rotation, such as the regular support from geodetic very long baseline interferometry (VLBI) monitoring. It can also be used as a back-up replacement of existing systems on critical disturbance situations (environmental or operational). It is able to be used independently from any other space-based positioning systems for certain strategic uses such as aircraft and balloon navigation, missile and smart bombs tracking.

In sum, the new system provides means, with certain advantages over existing space based systems, to synchronize accurately remote clock at locations where the coordinates are known. The accuracies might be better than those obtained by the new generation of GPS timing receivers (of tens of ns) [22]. This is a known requirement for remote actuators which must operate in synchronism, such as in a number of telecommunication repeaters' networks in extended areas, assuring their regular operation without depending on GPS-dependent clocks. The system can be readily used to obtain the transponder platform's actual coordinates, for each coded time interaction. Thus the platform navigation is readily derived from successive repeater's positions determinations. Immediate foreseen applications are for the navigation of aircrafts, balloons and drones. For a repeater placed in an artificial satellite, its position can be determined for every-time mark interaction with the same errors or uncertainties found for repeaters at lower altitudes, shown here. A study is currently being developed on a new method to determine satellite orbital parameters using the new system.

This system can also be used to determine the coordinates of an unknown remote target. This requires measurements of its distance to the repeater at four distinct instants, provided that the respective repeater's positions are not part of a straight line. Or alternatively, at the same instant, if four repeaters are simultaneously available on the target's field of view. This possibility might be particularly relevant as a back-up to other space-based GNSS geo-referencing or for independent applications of strategic interest.

Acknowledgements

This research was partially supported by Brazil agencies CNPq, CAPES and FAPESP (grant No. 2012/21023-6).

References

- [1] Kaufmann, P. (1997) Sistema e processo de posicionamento geográfico e navegação. Patent of Invention No. PI-9101270-8.
- [2] Marini, J.W. (1974) Correction of Satellite Tracking Data for an Arbitrary Tropospheric Profile. *Radio Science*, 7, 223-231. <http://dx.doi.org/10.1029/RS007i002p00223>
- [3] Anderson, A. J. (1979) Path Length Variations Due to Changes in Tropospheric Refraction. In: Tengstrom, E., Teleki, G., Ohlsson, I. and Reidel, D., Eds., *Proceedings of IAU Symposium nr. 89—Refraction Influences in Astrometry and Geodesy*, Dordrecht, 157-162.
- [4] Klobuchar, J.A. (1986) Design and Characteristics of the GPS Ionospheric Time Delay Algorithm for Single Frequency Users, in PLANS'86. *Position Location and Navigation Symposium*, Las Vegas, 4-7 November 1986, 280-286.
- [5] Hunt, S.M., Close, S., Coster, A.J., Stevens, E., Schuett, L.M. and Vardaro, A. (2000) Equatorial Atmospheric and Ionospheric Modeling at Kwajalein Missile Range. *Lincoln Laboratory Journal*, 12, 45-64.
- [6] Radovanovic, T.S. (2002) Adjustment of Satellite-Based Ranging Observations and Deformation Monitoring. Ph.D., Dissertation, University of Calgary, Calgary.
- [7] Honma, M., Tamura, Y. and Reid, M.J. (2008) Tropospheric Delay Calibrations for VERA. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 60, 951-960. <http://dx.doi.org/10.1093/pasj/60.5.951>
- [8] Skolnick, M.I. (1962) Introduction to Radar Systems. McGraw-Hill, New York.
- [9] Larson, K.M. (2007) An Assessment of Relativistic Effects for Low Earth Orbiters: The GRACE Satellites. *Metrologia*, 44, 484-490. <http://dx.doi.org/10.1088/0026-1394/44/6/007>
- [10] Wislez, J.-M. (1996) Forward Scattering of Radio Waves in Meteor Trails. *Proceedings of the International Meteor Conference*, Brandenburg, 1995, 99-117.
- [11] Kaufmann, P. and Levit Kaufmann, P. (2012) Process and System to Determine Temporal Changes in Retransmission and Propagation of Signals Used to Measure Distances, Synchronize Actuators and Georeference Applications. Patent of Invention PI03003968-4, Filed in Brazil on 19 March 2012, International PCT, Application Filed on 17 April 2012.

32

[12] Kaufmann, P., Kaufmann, P.L., Pamboukian, S.V.D. and Vilhena de Moraes, R. (2012) Signal Transceiver Transit Times and Propagation Delay Corrections for Ranging and Geo-Referencing Applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012, 1-15. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/595823>

[13] Kaufmann, P.L., Vilhena de Moraes, R., Kuga, H.K., Beraldo, L.A., Motta Marins, C.N. and Kaufmann, P. (2006) Nonrecursive Algorithm for Remote Geolocation Using Ranging Measurements. *Mathematical Problems in Engineering*, 2006, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1155/MPE/2006/79389>

[14] Pamboukian, S.V.D. (2012) Novo processo de georeferenciamento: determinação de posição de transponder remoto e aplicações no posicionamento de alvos e disseminação de tempos. Software Registered in Brazil, Protocol 02012-0032225.

[15] Matlab, M. (2012) The Language of Technical Computing. <http://www.mathworks.com/products/matlab/>.

[16] Dana, P.H. (1995) Geodetic Datum Overview. <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datum/datum.html>.

[17] NIMA (National Imagery and Mapping Agency) (1997) Third Edition of "Department of Defense World Geodetic System 1984: Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems". NIMA TR8350.2, National Imagery and Mapping Agency, Bethesda. <http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/wgs84fin.pdf>

[18] EUROCONTROL (European Organization for the Safety of Air Navigation) and IIGEN (Institute of Geodesy and Navigation) (1998) WGS 84 Implementation Manual-Version 2.4. Brussels-Belgium, Munich. <http://www2.icao.int/en/pbn/ICAO%20Documentation/GNSS%20and%20WGS%2084/Eurocontrol%20WGS%2084.pdf>

[19] Knappe, S., Gerginov, V., Schwindt, P.D.D., Shah, V., Robinson, H.G., Hollberg, L. and Kitching, J. (2005) Atomic Vapor Cells for Chip-Scale Atomic Clocks with Improved Long-Term Frequency Stability. *Optics Letters*, 30, 2351-2353. <http://dx.doi.org/10.1364/OL.30.002351>

[20] Affolderbach, C., Breschi, E., Schori, C. and Milet, G. (2006) Gas-Cell Atomic Clocks for Space: New Results and Alternative Schemes. In: Wilson, A., Ed., *6th International Conference on Space Optics, Proceedings of ESA/CNES ICSSO*, Noordwijk, 27-30 June 2006.

[21] (2008) Ultra Low Cost Rubidium (LCR-900). http://www.spectratime.com/documents/ler_spec1.pdf

[22] Clark, T.A. and Hambly, R.H. (2006) Improving the Performance of Low Cost GPS Timing Receivers. *Proceedings of 38th Annual PTTI Meeting*, Reston, 7-9 December 2006, 37.