

Desarrollo de Métodos de Seguimiento para un Sistema de Antena Inteligente basado en GPS

Francisco Cuesta^{1*} y René P. Játiva¹

¹*Colegio de Ciencias e Ingeniería - Universidad San Francisco de Quito
Diego de Robles y Vía Interoceánica, Quito, Ecuador.*

**Autor principal/Corresponding author, e-mail:francisco.cuesta@stud.usfq.edu.ec*

Editado por/Edited by:

Recibido/Received: 21/10/2013. Aceptado/Accepted: 08/11/2013.

Publicado en línea/Published on Web: 09/12/2013. Impreso/Printed: 09/12/2013.

Abstract

One of the key parameters in the processing system of a smart antenna system is the direction of arrival of the signal of interest (DOA). DOA's estimation traditionally performed spectral analysis on the signal received by the antenna array. Considering that the smart antenna system is designed for an autonomous mobile user, such as a UAV, the processing system takes advantage of the navigation systems to estimate the direction of arrival of the source originated in his control station. With this information, we must develop an algorithm capable of providing intelligence to an antenna system using information from a GPS. It ensures that the antenna system is able to provide advanced functionality at low cost.

Keywords. Direction of Arrival, GPS, Smart Antenna, Position, Heading

Resumen

Uno de los parámetros esenciales en el sistema de procesamiento de un sistema de antena inteligente es la dirección de arribo de la señal de interés (DOA). Para estimarla, tradicionalmente se realizan procesos de análisis espectral en la señal recibida por el arreglo de antenas. Teniendo en cuenta que se diseña un sistema de antena inteligente para un usuario móvil autónomo, como un UAV, se toma ventaja de sus sistemas de navegación para estimar la dirección de arribo de la fuente originada en su estación de control. Con esta información, se busca desarrollar un algoritmo capaz de dotar de inteligencia a un sistema de antena a partir de información procedente de un GPS. Se procura que este sistema de antena esté en capacidad de proporcionar funcionalidades avanzadas a bajo coste.

Palabras Clave. Dirección de Arribo, GPS, Antena Inteligente, Posición, Dirección

Introducción

Un sistema de antena inteligente se conforma por un arreglo de antenas cuyas características son modificadas por un sistema de procesamiento. El objetivo de un sistema de antena inteligente es mejorar el rendimiento del enlace de comunicaciones manipulando la información disponible. El procesamiento en un sistema de antena inteligente se enfoca en determinar la dirección de arribo (DOA) de una fuente de interés.

Generalmente, la DOA se obtiene a partir de la señal recibida en cada una de las antenas, las cuales funcionan como sensores, y la adecuada caracterización de la señal que se espera recibir, mediante la aplicación de métodos de análisis espectral. Para este fin se requieren sistemas capaces de procesar la señal obtenida de cada sensor y el conocimiento de la señal de referencia utilizada por

el transmisor. Esta opción se ha estudiado profusamente en la literatura [1–5] como mecanismo para maximizar la potencia recibida desde una fuente deseada, y en la supresión de interferencias y señales espurias, de forma de minimizar la tasa de errores de transmisión y maximizar la capacidad de transmisión de información a través de un canal de comunicaciones. En canales móviles, estos esquemas toman formas adaptativas de creciente sofisticación conforme crecen también los requerimientos de los sistemas móviles de comunicación [6] y de los servicios que se pretenden proveer [7], por lo cual se ha sugerido en ciertos contextos la incorporación del algoritmo de Kalman como parte integrante de la inteligencia de estos sistemas.

En el contexto de la aplicación de comunicaciones en aviones no tripulados (UAV de Unmanned Air Vehicles) también se han propuesto esquemas de antenas inteli-



gentes basados en la concepción general anterior [8].

Sin embargo, otra alternativa posible que permite obtener la DOA sin utilizar la señal de los sensores es precisamente a partir del conocimiento de la posición geográfica del sistema de antena inteligente y del sistema radiante de la fuente de interés. Considerando que el sistema de antena inteligente se aplica a un usuario móvil y que la fuente de interés es fija, es posible utilizar un receptor GPS que informe la posición actual del usuario móvil e introducir la posición de la fuente de interés como constante dentro del sistema de procesamiento. Esta información nos permitirá utilizar la DOA como parámetro de control del sistema. En [9] se presentó una posible concepción del arreglo de sensores adecuado para una antena inteligente basada en GPS. Este artículo por su parte se refiere a las consideraciones de diseño del algoritmo que proporciona la inteligencia al arreglo de sensores y que en conjunto constituyen la antena inteligente basada en GPS. Utilizar un algoritmo de detección de DOA basado en GPS permite simplificar el desarrollo del sistema de antena inteligente al incorporar equipos que requieren una menor capacidad de procesamiento, en comparación a un algoritmo de detección de DOA tradicional, así como permite cierta independencia en la elección de los equipos de radio frecuencia.

Métodos

Cálculo de la Dirección de Arribo

El parámetro de control de cualquier sistema de antena inteligente es la dirección de arribo de la fuente de interés, utilizando generalmente métodos que analizan la señal de la fuente o fuentes en el entorno y mecanismos para amplificarlas o destruirlas conforme el requerimiento del sistema. En el caso considerado en este artículo, es posible determinar la DOA si se asocian las fuentes radiantes a su posición geográfica. La estimación de la DOA se basa en dos parámetros fundamentales: la posición de la fuente radiante respecto al usuario móvil, y la dirección de movimiento del usuario móvil. El conocimiento de la posición de la fuente de interés es necesario para el posicionamiento espacial respecto al usuario móvil, sin embargo es necesario conocer la dirección de movimiento del usuario móvil para referenciar a la fuente de interés respecto al sistema de antena inteligente. Si se considera que la fuente de interés tiene un diagrama de radiación omnidireccional sobre la superficie terrestre, y que el usuario móvil tiene una dirección de movimiento predecible, como el caso de un avión, es suficiente conocer la posición del usuario móvil y su dirección de movimiento.

El cálculo de la DOA en las circunstancias antes mencionadas se establece como la diferencia entre el ángulo que referencia respecto al norte la posición de la fuente de interés respecto al usuario móvil, y el ángulo que se referencia respecto al norte la dirección de movimiento

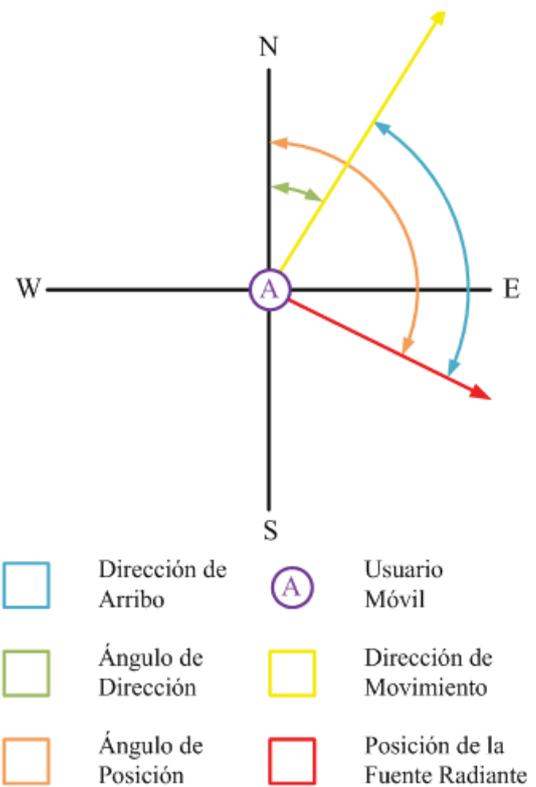


Figura 1: Cálculo de la Dirección de Arribo

del usuario móvil; ángulos que se mencionarán como el ángulo de posición y el ángulo de dirección respectivamente. Una mejor explicación se presenta en la figura 1.

La DOA es el resultado de referenciar la posición de la fuente de interés respecto al sistema de coordenadas del arreglo de antenas, sujeto a la dirección del usuario móvil. Para estimar la DOA es necesario conocer el ángulo de posición y el ángulo de dirección. El ángulo de dirección es provisto por el receptor de GPS, sin embargo el ángulo de posición es estimado basándose en la posición relativa de la fuente de interés respecto a la posición del usuario móvil. Esto se consigue a través del algoritmo que se explica a continuación.

Cálculo del Ángulo de Posición

El cálculo del ángulo de posición pasa por la construcción de un triángulo, cuyos vértices son la posición del usuario móvil, la posición de la fuente de interés y un punto auxiliar resultado de la combinación entre la latitud del usuario móvil y la longitud de la fuente de interés. Dicha construcción se representa en la figura 2.

Esta construcción geométrica permite el cálculo del ángulo interno del triángulo, que a su vez permite calcular el ángulo de posición utilizando criterios de posición relativa. Con el conocimiento de las coordenadas del usuario móvil, la fuente de interés y el punto auxiliar; es posible calcular la distancia entre estos puntos mediante la ecuación (1).

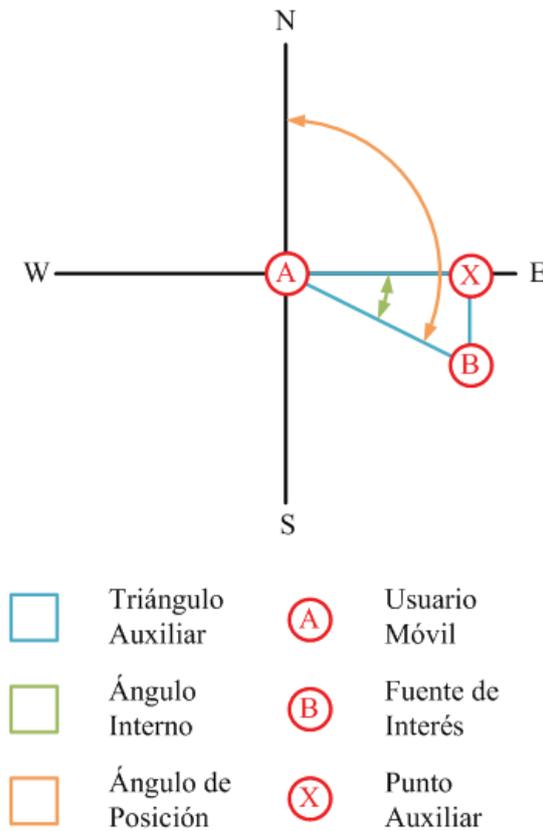


Figura 2: Cálculo del Ángulo de Posición

$$d = R_T \arccos[\cos(Lat_1) \cos(Lat_2) \cos(Long_1 - Long_2) + \sin(Lat_1) \sin(Lat_2)] \quad (1)$$

Donde d es la distancia en kilómetros entre los puntos $P1(Lat_1, Long_1)$ y $P2(Lat_2, Long_2)$, siendo R_T el radio terrestre en kilómetros [10]. Con la información de distancias, es posible el cálculo del ángulo interno; sin embargo, es posible simplificar los cálculos si se considera al triángulo como plano y rectángulo. Estas asunciones son válidas para distancias menores a 60 kilómetros en el rango de operación del sistema, como se muestra en la figura 3, la cual visualiza el error introducido en el modelo de tierra plana en relación con el modelo de tierra esférica. En efecto, a 60 km el error es menor a una milésima de grado, cuyo error en distancia se traduce aproximadamente a dos metros.

Con un error aceptable, se considera al triángulo como plano y rectángulo; por lo que el cálculo del ángulo interno “gamma” se reduce a la operación trigonométrica de la ecuación (2):

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{AX}{AB}\right) \quad (2)$$

Donde γ es el ángulo interno expresado en grados, AX es la distancia entre el usuario móvil y el punto auxiliar,

Posición Relativa	Signo Diferencia Latitud	Signo Diferencia Longitud	Ángulo α (grados)
Noreste	Positivo	Positivo	$90^\circ - \gamma$
Sureste	Negativo	Positivo	$90^\circ + \gamma$
Suroeste	Negativo	Negativo	$270^\circ - \gamma$
Noroeste	Positivo	Negativo	$270^\circ + \gamma$

Tabla 1: Criterios para el cálculo del ángulo de posición

y AB es la distancia entre el usuario móvil y la fuente de interés; ambas distancias se calculan con la ecuación (1). Dado que se busca una proporción entre las distancias AX y AB es irrelevante el valor del radio terrestre, sin embargo las consideraciones de ángulo recto y triángulo plano se extienden hasta distancias de hasta 60 kilómetros. Para la conversión del ángulo interno “gamma” al ángulo de posición α , es necesario utilizar los criterios de posición relativa de la fuente de interés respecto del usuario móvil de la tabla 1:

Como se mencionó anteriormente, el ángulo de dirección se obtiene como parte de la información otorgada por el receptor GPS empleado; sin embargo es posible también estimar el ángulo de dirección a partir de la posición actual y anterior del usuario móvil. Para ello se reemplaza en el modelo de cálculo del ángulo de posición la posición de la fuente de interés por la posición actual del usuario móvil, y la posición del usuario móvil por su posición anterior. Con estos reemplazos es posible estimar el ángulo de dirección, sin embargo se prefiere utilizar la información otorgada por el receptor GPS antes que la información estimada por el algoritmo. Esta selección es evidente cuando el usuario móvil sufre cambios bruscos de dirección que el algoritmo es incapaz de predecir.

Como parte del algoritmo de cálculo de la dirección de arriba se han considerado dos etapas cuyo objetivo es estabilizar el control del sistema. La primera busca estabilizar la DOA que ingresa al sistema de control y prevenir caídas espurias del enlace de comunicación. El al-

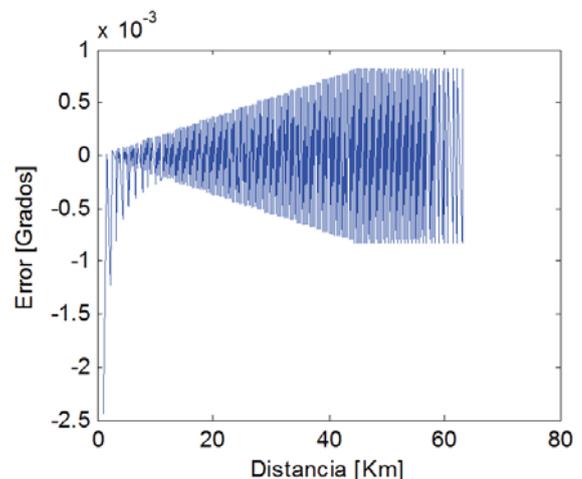


Figura 3: Desviación del error en la asunción de Ángulo Recto versus distancia en la Construcción.

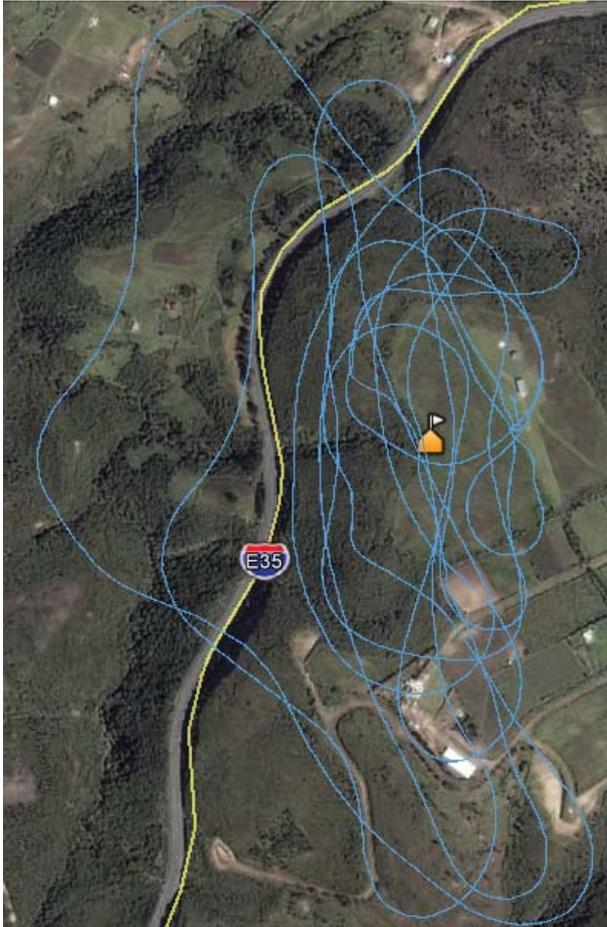


Figura 4: En cian la trayectoria de la aeronave, la casa anaranjada indica la estación base. Los datos de posición se capturaron aproximadamente cada 250 milisegundos en un periodo de 12 minutos.

El algoritmo calcula la diferencia entre las dos últimas direcciones de arribo calculadas y las compara con un rango de aceptación. Si la diferencia se encuentra en el rango de aceptación, la DOA se utiliza para verificar el funcionamiento del arreglo de sensores; caso contrario no se ejecuta la cadena de control. Al final se almacena la última DOA calculada para la próxima verificación. El segundo mecanismo implementado se utiliza para evitar que el sistema realice conmutaciones indeseadas en el arreglo cuando la DOA se encuentra en la frontera de decisión. Reducir los cambios, y aumentar la expectativa de vida de los equipos, se consigue mediante la aplicación de límites de decisión dinámicos por histéresis. La histéresis permite que el sistema cambie de estado en límites diferentes, lo que significa que el sistema no conmuta súbitamente si la DOA estimada oscila alrededor del límite de decisión, porque al cambiar el estado del sistema, el límite de decisión también se modifica.

Resultados y Discusión

A partir de los datos obtenidos por el receptor GPS instalado en un aeromodelo, se realizó una simulación del sistema, que permite comparar el impacto en la utilización del ángulo de dirección estimado versus el ángulo

de dirección provisto por el receptor GPS, así como el funcionamiento de los mecanismos de estabilización.

La figura 4 muestra la trayectoria de la aeronave y la posición de la estación base a través de Google Earth y el software de conversión Matlab – Google Earth desarrollado por [11]. Estos resultados consideran la aplicación de la detección de la DOA y la utilización de la información de dirección provista por el receptor GPS. Los objetivos de introducir estas mejoras en el algoritmo son: optimizar las decisiones de adaptación del sistema de antena inteligente, y mejorar el criterio de control. La figura 5 muestra el resultado de aplicarse el mecanismo de detección de DOA en la decisión de conmutación del sistema; por otro lado, la figura 6 muestra la variación dinámica de la intensidad de radiación en los casos en que se estima la dirección con los datos de posición, o la utilización de la información de dirección provista por el receptor GPS:

La detección de DOA trata de reducir los cambios de configuración del sistema, producto de un comportamiento no deseado del mismo, para prolongar la expectativa de vida de sus componentes. La figura 5 muestra

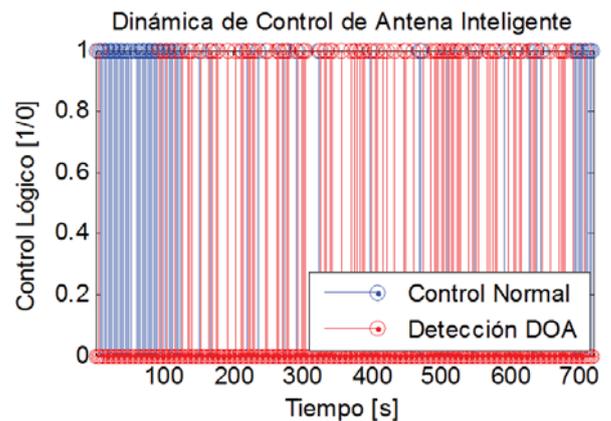


Figura 5: Comparativa del control sin detección de DOA contra la aplicación de detección de DOA.

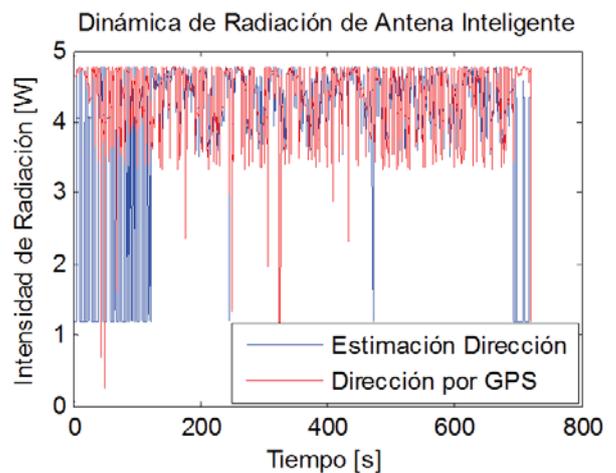


Figura 6: Comparativa de la intensidad de radiación de la DOA en caso de estimar la dirección contra utilizar la información de dirección provista por el receptor GPS.

que la activación de la detección de DOA bloquea las conmutaciones aleatorias del sistema, especialmente en las maniobras de despegue y aterrizaje donde el algoritmo falla en la estimación de la DOA; sin embargo no mejora la calidad del enlace al impedir una continua adaptación del sistema. Inicialmente se contemplaba la posibilidad de estimar la dirección del usuario móvil a partir de su posición, con el propósito de reducir la información necesaria en el procesamiento. Sin embargo, y aprovechando las capacidades del receptor GPS utilizado, se procedió a utilizar la información de dirección estimada por este dispositivo. Esta información demostró ser más estable que la estimación realizada, lo que permite desarrollar un control de mayor robustez; por el cual el sistema de antena inteligente realiza un mejor seguimiento que se traduce como una mejor intensidad de señal de enlace en una porción más grande de la señal, como se muestra en la figura 6. Como efecto de la estabilidad en dirección, el algoritmo de detección de DOA no bloquea el arreglo durante las maniobras de despegue y de aterrizaje.

Conclusiones

El sistema de control de un sistema de antena inteligente es precisamente el componente que otorga la "inteligencia" al mismo. Sin un sistema de control adecuado, los componentes de alta frecuencia son incapaces de operar heurísticamente. La utilización de un receptor GPS provisto en el equipamiento del usuario móvil permite reducir la complejidad del esquema de control, permitiendo el desarrollo de una alternativa de bajo costo que evita el uso de técnicas avanzadas de procesamiento estadístico de señales y posibilita su implementación con equipos comerciales de comunicación de bajo costo. Sin embargo, el funcionamiento del sistema se condiciona por el funcionamiento del receptor GPS y su interoperabilidad con el resto del sistema. Si bien el algoritmo de control reduce los errores de procesamiento de un sistema de antena inteligente, no deja de ser un algoritmo impreciso por la naturaleza de su arquitectura. Las aproximaciones realizadas en el modelo de triángulo plano utilizado para la estimación del ángulo de dirección genera un mínimo error en cortas distancias; sin embargo este error se acumula en largas distancias, donde sería necesario reconsiderar adicionalmente el modelo terrestre utilizado. Adicionalmente existe el error generado por el receptor GPS en el cálculo de la posición del usuario móvil [12], que adquiere importancia a corta distancia. Los errores producto del modelo y de las características del sistema GPS deben ser abordados adecuadamente en el sistema de control.

Un sistema de antena inteligente basada en GPS requiere también un sistema de control robusto, y podría constituirse en una alternativa viable de bajo costo a antenas inteligentes convencionales.

Referencias

- [1] Bellofiore, S.; Balanis, C.; Foutz, J.; Spanias, A. 2002. "Smart-Antenna Systems for Mobile Communication Networks Part 1: Overview and Antenna Design". *IEEE Antenna's and Propagation Magazine*, 44(3):145-154.
- [2] Bellofiore, S.; Foutz, J.; Balanis, C.; Spanias, A. 2002. "Smart-Antenna Systems for Mobile Communication Networks Part 2: Beamforming and Network Throughput". *IEEE Antenna's and Propagation Magazine*, 44(4):106-114.
- [3] Chryssomallis, M. 2000. "Smart Antennas". *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 42(3):129-136.
- [4] Chang, D.-H.; Hu, C.-N. 2012. "Smart Antennas for Advanced Communication Systems". *Proceedings of the IEEE*, 100(7):2233-2249.
- [5] Jin, L.; Li, L.; Wang, H. 2008. "Investigation of Different Types of Array Structures for Smart Antennas". *International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology, (ICMMT)*, 3:1160-1163.
- [6] Prasad, A.; Vasudevan, S.; Selvalakshmi, R.; Ram, K.; Subhashini, G.; Sujitha, S.; Narayanan, B. 2011. "Analysis of Adaptive Algorithms for Digital Beamforming in Smart Antennas". *International Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT)*: 64-68.
- [7] Proaño, S.; R., J. 2009. "Seguimiento de Dispositivos móviles en un sistema de comunicaciones móviles celulares". *Revista AVANCES EN CIENCIAS E INGENIERÍAS*, 1.
- [8] Porcello, J. 2013. "Designing and Implementing Multibeam Smart Antennas for High Bandwidth UAV Communications using FPGAs".
- [9] Cuesta, F.; R., J. 2013. "Diseño y Simulación de Antena Inteligente asistida por GPS para un vehículo aéreo no tripulado". *Revista AVANCES EN CIENCIAS E INGENIERÍAS*, 5(1):C14-C21.
- [10] Urrutia, J. "Cartografía, orientación y GPS". *Basauri: Etor-Ostoa*.
- [11] Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics. Computational Biogeography and Physical Geography. University of Amsterdam. 2007. MATLAB to Google Earth Toolbox. <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/12954-google-earth-toolbox>.
- [12] Kaplan, E. D.; Hegarty, C. 2005. "Understanding GPS: Principles and Applications, Second Edition". 685 Canton Street Norwood, MA 02062: Artech House.