

PROGRESOS EN SUB-SISTEMAS RF Y CONTROL DE LA ANTENA ADAPTATIVA MULTIHAZ GEODA

J. García-Gasco Trujillo, Miguel Salas Natera, Ignacio Montesinos Ortego, Marta Arias Campo, Ramón Martínez, Manuel Sierra Pérez.

{jtrujillo; msalasn; nacho; marias; ramon; m.sierra.perez}@gr.ssr.upm.es

Grupo de Radiación, Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. Avda. Complutense 30, 28040, Madrid, España. +34 91 549 57 00

Abstract- GEODA project started in 2006 as a complex and ambitious project in the smart antenna field. GEODA is a multiple planar array smart antenna working at 1.7 GHz designed to receive and automatically track several LEO satellite signals simultaneously [1-4]. GEODA evolved to GEODA-GRUA since transmission capabilities were given to the original idea [5-6], so that radiofrequency sub-systems had to be re-designed and digital management subsystem modified accordingly. In this paper, improvements in the reception/transmission (T/R) modules as well as in the Control Subsystem are presented, keeping the original radiating element.

I. INTRODUCCIÓN

En las estaciones base de enlaces satelitales es común encontrar grandes reflectores parabólicos [7]. A pesar de que sus prestaciones y metodología de diseño son bien conocidos, también incorporan desventajas como la necesidad de complejos sistemas mecánicos de sujeción y seguimiento, la imposibilidad de recibir dos señales simultáneamente o los altos costes de mantenimiento, entre otros. Como alternativa se proponen las agrupaciones de antenas en las que se combinan técnicas de procesado de señal con redes de conformación [8]. Como ventajas cabe señalar la modularidad y la flexibilidad, su uso eficiente del espectro y sobre las demás, la capacidad de seguimiento multiseñal. Por el contrario, la dificultad de su diseño e implementación es elevada.

La estructura de la antena GEODA-GRUA puede encontrarse en [9] y en ella pueden diferenciarse básicamente tres estratos: Sistema de Radiación, Sistema de Radiofrecuencia y Sistema de control. El último gobierna al segundo, de manera que las propiedades electromagnéticas de la antena se ajusten a las necesidades de los enlaces sobre los que se estén transmitiendo/recibiendo datos. Desde el origen del proyecto, el elemento radiante individual consiste en un parche doble apilado con dos puntos de alimentación en cuadratura, de manera que se consigue polarización circular. Éstos se agrupan en celdas de tres elementos, constituyendo así un subarray con control electrónico. Las celdas se agrupan de quince en quince generando paneles de cuarenta y cinco elementos radiantes.

Asimismo, la estructura global se divide en dos partes, cada una con treinta paneles triangulares, en total 2700 parches dobles apilados. Los primeros treinta paneles componen una estructura hemisférica soportada por un cilindro recubierto por las otras treinta agrupaciones de

quince celdas. Las dimensiones de las diferentes partes se recogen en [10].

En los apartados II y III se recogen las últimas mejoras en términos de radiación y de control, respectivamente, adecuándose a las necesidades del enlace recogidas en Tabla 1.

II. MÓDULO TRANSMISIÓN/RECEPCIÓN

Los módulos de transmisión/recepción (T/R) permiten amplificar y controlar el desfase entre señales tanto en la rama transmisora como en la receptora, proporcionando un controlador de apuntamiento electrónico de haz adaptativo en todo el rango de frecuencias de trabajo. Son varias las configuraciones de módulo transmisor/receptor que se han estudiado [5-6]. Como muestra Fig. 1, el diseño implementado está formado por un acoplador híbrido, que permite obtener doble polarización; un conmutador doble port doble throw (DPDT), que selecciona el sentido de polarización circular asociada a cada rama, transmisora y receptora; dos amplificadores de bajo ruido (LNAs), uno para transmisión y otro para recepción; un conmutador single port doble throw (SPDT), con el que se elige el sentido de trabajo de la antena; y desfases de 4 bits compartido por ambas ramas, que introducirán los desfases múltiplos de 22.5° necesarios para obtener el haz deseado. Los dispositivos de montaje superficial seleccionados se han elegido tratando tanto de simplificar los circuitos RF considerando el consumo, las pérdidas de inserción y el tamaño ocupado.

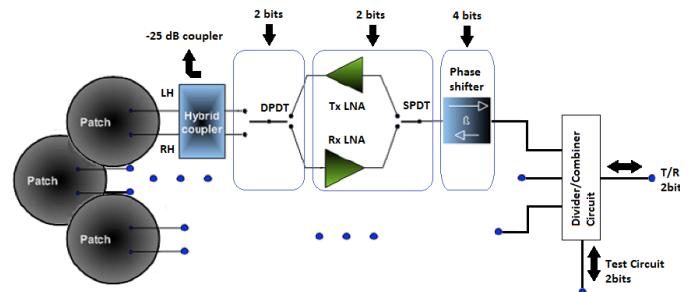


Fig. 1. Esquema circuitos de RF y celdas de subarray

Las señales recibidas/transmitidas por los 3 módulos T/R de cada celda se dividen/combinan utilizando un circuito compuesto por 3 acopladores híbridos, sustituyendo el circuito Wilkinson utilizado en diseños previos [5-6]. El circuito divisor/combinador conecta la señal con un módulo

T/R general de toda la celda que amplifica la señal. Debido a la dualidad en las ramas transmisor/receptor, se han usado dos conmutadores SPDT para seleccionar el camino de amplificación de dicha señal. Además, cada módulo T/R tiene asociado un acoplador direccional de -25 dB que permite obtener una señal de test en transmisión de la celda. Para comprobar el correcto funcionamiento del módulo en recepción se toma una medida en el circuito divisor/combinador de celda.

Cada celda tendrá asociado un circuito multicapas donde se diferencian dos partes. La parte superior contiene el circuito de radiofrecuencia, el cual ha sido implementado en tecnología microstrip. El sustrato utilizado ha sido el RO4003C con un espesor de 0.5 mm, una permitividad relativa de 3.55, y una tangente de pérdidas δ de 0.0021. La parte inferior constituye el circuito de control y continua, el cual ha sido implementado en FR4 con un espesor de 0.5 mm. Ambas partes están separadas por un plano de masa con el fin de eliminar los posibles acoplos. Las conexiones entre ambas capas se han realizado utilizando siempre y únicamente vía metalizadas desde la capa superior a la inferior. La Fig. 2, muestra el layout del circuito correspondiente a una celda. Cabe destacar que los circuitos implementados han sido miniaturizados respecto a diseños anteriores.

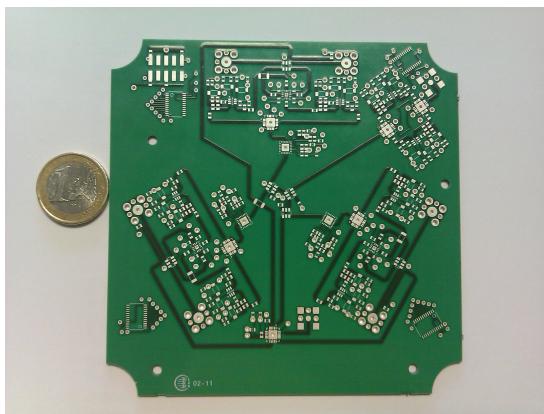


Fig. 2. Circuito de radiofrecuencia de celda

Para calcular la potencia permisible que tendrá que ser transmitida por cada 15 celdas que forman el array triangular completo, se ha realizado un estudio de la potencia máxima que puede circular por el sistema. Asimismo, se realizará una estimación de la potencia recibida por cada parche tomando los niveles de potencia medidos en el receptor de cada panel.

Se considera como límite de potencia para cada componente su punto de compresión (P1dB), para garantizar que se trabaja con la máxima ganancia posible: híbrido, máxima potencia a la entrada 41 dBm; amplificador, P1dB a la salida 11 dBm; conmutadores SPDT y DPDT, P1dB a la entrada 31 dBm; desfasador, P1dB a la entrada 22 dBm.

A. Esquema transmisor

Debe asegurarse que la potencia transmitida a cada panel no sature ningún componente. En nuestro caso, el amplificador es el elemento más propicio a limitar el nivel de potencia al presentar una P1dB menor.

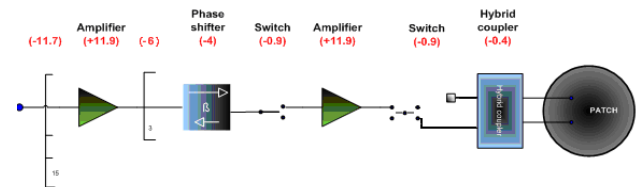


Fig. 3. Cadena transmisión

La potencia transmitida viene limitada por el segundo amplificador, de modo que considerando 11 dBm a su salida y teniendo en cuenta los elementos divisores y circuitos asociados a la cadena de transmisión, la potencia de entrada del transmisor de cada panel ha de estar por debajo de los 9.8 dBm para no superar los límites. La potencia radiada para un panel que agrupa la potencia de 15 celdas, que a su vez están compuestas de tres parches, se estima en 27.5 dBm, lo que es suficiente para hacer las pruebas de transmisión que requiere el sistema en tierra. En futuros montajes se prevé un incremento en la potencia de emisión utilizando amplificadores de mayor potencia para el sistema de satélite.

B. Esquema receptor

En recepción conviene incluir el amplificador de bajo ruido lo más cerca posible del elemento radiante. En este caso entre los elementos radiantes y los amplificadores se incluye sólo el híbrido y el conmutador, lo que presenta unas pérdidas de 1.3 dB. Unido este factor a la figura de ruido del amplificador (1.3dB), se puede estimar una figura de ruido total del conjunto de 2.6dB. Dado que la ganancia de antena se ha medido entre 18 y 21 dB dependiendo de la dirección de apuntamiento, se puede establecer un factor G/T entre -3 y -6dB/K

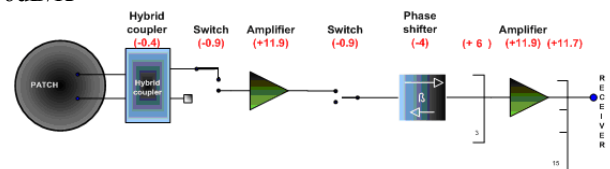


Fig. 4. Cadena recepción

El consumo se ha calculado considerando el valor corriente consumida por cada integrado que aparece en la hoja de características: amplificador 5 mA en low IP3, 0 mA en bypass y alimentación 3 V; conmutador 20 μ A y alimentación de 3 V; desfasador 5 mA y alimentación de -5 V.

El diseño contiene dos conmutadores, dos amplificadores y un desfasador. Los conmutadores suponen un consumo bajo pero constante de 120 μ W. No será necesario disponer de los dos amplificadores simultáneamente, de tal forma que únicamente necesitaremos tener en modo low IP3 sólo uno de los dos. El consumo debido a la cadena amplificadora será de 15mW. El desfasador siempre estará en funcionamiento y tendrá un consumo de 25 mW.

El consumo de los tres parches de una celda será de 40.12 mW. El consumo total de la parte de radiofrecuencia de una celda, considerando además el amplificador de entrada/salida presente en cada una de ellas es de 55.12 mW.

Una aproximación del balance de enlace para un satélite en órbita LEO, asumiendo como caso peor de propagación el correspondiente a una elevación de 6°, se resume en la Tabla 1. Para la realización del balance de enlace se asume una modulación QPSK para la señalización de TT&C del satélite en el escenario de estudio, y se necesita una $E_b/N_0 \sim 10$ dB

para cumplir con requisitos con una BER $< 10^{-5}$. La tasa de transmisión $R = 1 \text{ Kbps}$. Además, la atenuación por gases y lluvias se asume aproximadamente 2 dB para la frecuencia de trabajo y la elevación definida para el caso peor.

Tabla 1. Resultados del balance de enlace

1.7 GHz	GS <-> S/C	
	Uplink	Downlink
Transmisor:		
P_{Tx} [w]	5	0.4
Ant. Eff %	50	55
Collecting area [m ²]	5	-
Ant. Gain [dB]	29	6
Θ_{-3dB}	5.5	-
EIRP [dBW]	35.5	2.5
Receptor:		
Ant. Eff %	55	50
Collecting area [m ²]	-	5
Ant. Gain [dB]	6	29
Θ_{-3dB}	-	5.5
Antenna LNAs [dB]	20	-
G/T [dBK]	2	7
Margen [dB]	>10	>10

III. SUB-SISTEMA DE CONTROL

El objetivo del sub-sistema de control es el de gestionar los diferentes dispositivos que conforman el array de antenas. Estos dispositivos son, para el caso de la GEODA, los desfases, amplificadores de bajo ruido (LNA) y conmutadores. Mediante la configuración de estos elementos del array, se sintetiza el diagrama del array para apuntar a una dirección deseada gobernada por los pesos de conformación estimados previamente. Además, se controla el estado de los LNAs y el nivel de atenuación del control automático de ganancia ACG. Por otro lado, con el apropiado control del array y sus conmutadores, se utilizan los acopladores de -25dB para introducir la señal de test a los circuitos de RF y realizar la calibración off-line de las diferentes ramas RF del array.

El sub-sistema de control consta de dos partes principales [11], que son la arquitectura hardware y el software de control. Como se mencionó anteriormente, la GEODA ha sido diseñada con sub-arrays planos triangulares de 45 elementos radiantes (panel). Cada uno de estos paneles está compuesto de 15 sub-arrays de tres elementos radiantes (celda).

A. Arquitectura hardware

Partiendo de este diseño modular de la antena, el sistema de control tiene dos niveles fundamentales de control y direccionamiento de datos. Esto hace que el diseño de las capas de control se pueda simplificar y reducir el uso de dispositivos inteligentes y costosos como lo son los micro-controladores que se utilizaron para cada celda en diseños anteriores [4] y [13]. Así, en el diseño actual del sub-sistema de control gracias a la posibilidad de simplificar la arquitectura utilizando expansores I2C - I/O (PCA8575PW) como se presenta en la Fig. 5, se puede controlar los módulos T/R, LNAs y señal de test de cada celda.

Los expansores I2C seleccionados para la implementación son capaces de transmitir la información que reciben por el puerto I2C a los puertos I/O binarios,

transmitiendo así la información que corresponde a cada celda asociada a una dirección física. La conexión de la estación de trabajo (PC) a los micro-controladores de cada panel se realiza con puerto serial del estándar RS-485.

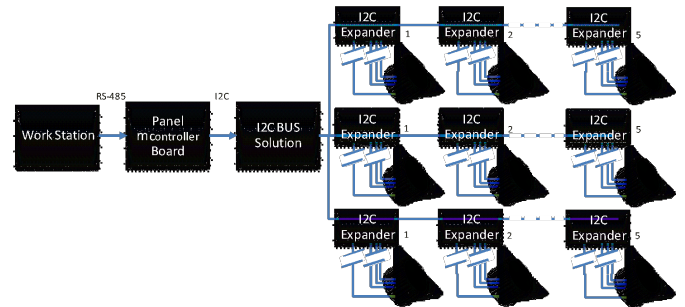


Fig. 5. Esquema de la arquitectura de control

B. Software de Control

El software del sub-sistema de control, es capaz de realizar las operaciones de medidas, caracterización y calibración de la antena, además de las operaciones de seguimiento de satélites basado en algoritmos de conformación con referencia espacial. Así, el componente software del sub-sistema de control realiza cuatro tareas: seguimiento de Satélites, medidas automatizadas en cámara anecoica, medidas automatizadas de los parámetros S21 de los circuitos RF para su caracterización y obtención de los pesos de compensación en los procesos de calibración, y por último, la ejecución del protocolo de estimación de los pesos de calibración con la señal de test.

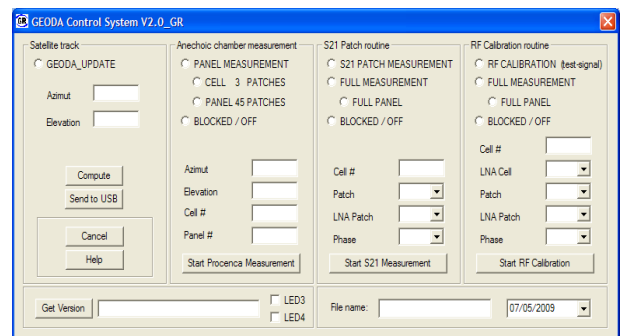


Fig. 6. Interfaz usuario del software de control

C. Palabras de control

Partiendo del circuito de RF presentado en el esquema de la Fig.1 y de la arquitectura del sub-sistema de control, se definen las palabras de control para enviar los bits necesarios con los comandos a los componentes de cada una de las celdas de un panel. Para ello, se ha decidido utilizar dos bytes como palabras de control, palabra de actualización y palabra de control.

La palabra de actualización se utiliza para cargar el estado de los desfases, conmutadores y amplificadores de cada rama perteneciente a un elemento radiante de la celda, y de su actualización. En la rama del circuito RF de un elemento radiante se debe controlar el estado del conmutador DPDT para la seleccionar la polarización, y los estados de los amplificadores y el conmutador SPDT para establecerla dirección de comunicación del módulo T/R. Solo cuatro bits son necesarios para controlar estos cuatro componentes

gracias al diseño del modulo T/R. Además, los desfasadores necesitan otros cuatro bits completando el byte de la palabra de actualización.

La palabra de control está compuesta por dos bits que controlan el conmutador del acoplador de -25dB para la señal de test, y dos bits para controlar el amplificador general de celda. Cada celda necesita la estimación de estado de 28 bits, que gracias al diseño del circuito de RF con su módulo T/R se reduce a enviar 12 bits de comandos con las palabras de control.

IV. CONCLUSIONES

La actualización de los sub-sistemas de RF y control de la GEODA ha sido explicado junto con sus componentes mas importantes y novedosos del sistema.

El complejo Sistema de Control de la antena GEODA que ha sido testado y verificado con éxito en su versión anterior debe pasar ahora, por las pruebas de validación e integración de sub-sistemas, además de la verificación de cumplimiento de todos los requisitos planteados en esta etapa del proyecto.

Al igual que sus sistema anterior, el sistema de control automatiza las medidas necesarias para la caracterización y verificación de componentes y sub-sistemas reduciendo en más de treinta veces el tiempo necesario para tal procedimiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo quieren agradecer al Ministerio de Ciencia e Innovación y al CICYT (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología) bajo el proyecto CROCANTE (ref: TEC2008-06736/TEC), y a INSA (Ingeniería y Servicios Aeroespaciales S.A.) por el soporte brindado a este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] I. Montesinos, J. L. Masa, J. L. Fernández and M. Sierra, "Geoda: Conformal Adaptive Antenna of Multiple Planar Arrays for Satellite Communications", en *APS URSI*, Julio 2008.
- [2] I. Montesinos, J. L. Masa, J. L. Fernández and M. Sierra, "Geoda: unitary cell distribution, composition and working properties", en *Proceedings of The XXIX General Assembly of the International Union of Radio Science*, Agosto 2008.
- [3] I. Montesinos, M. Sierra, J. L. Fernández, J. López, J.L. Masa, "Geoda: distribución de la celda unitaria, composición de los arrays y funcionamiento", en *Simposium Nacional URSI*, Madrid, Septiembre 2008.
- [4] M.A. Salas, I. Montesinos, J.L. Fernández-Jambrina, M. Sierra-Pérez. "Desarrollo de sistemas de medidas y caracterización automatizado para la antena GEODA", en *Simposium Nacional URSI*, Santander, Septiembre 2009.
- [5] M. Arias, I. Montesinos, J. L. Fernández, M. Sierra. "Geoda-Grua: Diseño del módulo T/R", en *Simposium Nacional URSI*, Santander, Septiembre 2009.
- [6] M. Arias, I. Montesinos, J. L. Fernández, M. Sierra. "T/R module design for GEODA antenna", en *EUROP*, Abril 2010.
- [7] M. Sierra Pérez, A. Torre, J. L. Masa Campos, D. Ktorza, and I. Montesinos, "GEODA: Adaptive Antenna Array for Metop Satellite Signal Reception," in Proc. *4th ESA International Workshop on Tracking, Telemetry and Command System for Space Application*, Darmstadt, September 2007, pp. 1-4.
- [8] M. A. Salas Natera, R. Martínez Rodríguez-Osorio, A. Antón Sánchez, I. García-Rojo, and L. Cuellar, "A3TB: Adaptive Antenna Array tested for tracking LEO satellites based on software-defined radio," in Proc. *59th International Astronautical Congress*, Glasgow, October 2008, p. 313-317.
- [9] I. Montesinos, M. Sierra-Pérez, J. L. Fernández, R. Martínez, J. L. Masa, "Geoda: Adaptive Antenna of Multiple Planar Arrays for Satellite Communications", en Proc. *3th European Conference on Antenna and Propagation*, Berlin, 2009.
- [10] J. L. Masa-Campos, I. Montesinos-Ortego, and M. Sierra-Pérez, "Triangular planar array of a pyramidal adaptive antenna for satellite communications at 1.7 GHz", en *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 51, No. 11, November 2009, pp. 2633-2639.
- [11] I. Montesinos, D. Ktorza, J. L. Masa, M. Sierra, J. L. Fernández, "Antena piramidal adaptativa de arrays planos para comunicaciones por satélite", en *Simposium Nacional URSI*, Tenerife, Septiembre 2007.
- [12] M. Salas, R. Martínez, and L. De Haro, "Automated Measurement Procedure for the Calibration of Planar Active Arrays," in Proc. *4th European Conference on Antenna and Propagation*, Barcelona, 2010.
- [13] I. Montesinos-Ortego, J. L. Masa, M. Sierra Pérez, and J.L. Fernández-Jambrina, "Pyramidal adaptive antenna of planar arrays for satellite communications," in Proc. *APS URSI*, Boston, 2008.