

INVESTIGACIÓN

Diseño de un Sistema de Control Inteligente de Orientación de un PicosatéliteCabrera S. Tania¹, Mena M. Jairo¹ y Córdoba Mario³¹Facultad de Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia²Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia

Recibido: 8 de Octubre de 2007; Revisado: 10 de Noviembre de 2007; Aceptado: 02 de Mayo de 2008

Resumen— En este paper se presenta la propuesta de Diseño e Implementación de un Sistema de Control Inteligente de Orientación de un Picosatélite basado en técnicas de inteligencia artificial e implementado en dispositivos electrónicos de gama alta como los dsPIC's y dispositivos reconfigurables como las FPGA's.

Palabras Clave: Control Inteligente, dsPIC's, FPGA, Hardware in the Loop Simulation (Hardware en Lazo de Simulación).

I. INTRODUCCIÓN

EN la búsqueda de reducir los costos y el tiempo de producción, y de aumentar las investigaciones en los diferentes campos del área satelital se inició una generación de pequeños satélites capaces de desarrollar las mismas funciones que cualquier otro satélite, demandando un presupuesto y un tiempo de desarrollo mucho menor. Estas reducciones significativas hacen que muchas nuevas aplicaciones en este campo sean factibles, ya sean de carácter militar, científico, educativo, de demostración de tecnología, de comunicaciones ó de observación terrestre [1].

Los pequeños satélites se clasifican de acuerdo a su masa en: minisatélites (100-500kg), microsateélites (10-100kg), nanosatélites (1-10kg), picosatélites (0.1-1kg) y femtosatélites (<100g). Los nano y picosatélites son atractivos para muchas instituciones educativas interesadas en involucrarse en el espacio, ya que la tecnología disponible hace que estos tipos de satélites sean factibles y sobretodo viables económicamente para este tipo de instituciones [2].

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Para minimizar la masa de las dos clases de pequeños satélites de interés universitario (nano y picosatélites), el control activo de actitud y órbita es a menudo ignorado, y son empleadas antenas omni-direccionales [2].

Sin embargo, en los últimos años han surgido muchos proyectos universitarios que combinan la investigación y la tecnología existente para ir dotando a estos pequeños satélites de características y capacidades similares a las de un satélite

grande. Existe un gran interés en el desarrollo de sistemas de determinación y control de actitud activos, que provean a este tipo de satélites de una orientación más exacta y de un mayor control sobre los cambios deseados en la actitud, posibilitando así el uso de antenas más directivas con mayor ancho de banda y un consumo menor de potencia. Por ejemplo, universidades como Cal Poly y la de Illinois, en sus proyectos de construcción de satélites tipo CubeSat (picosatélites con dimensiones y parámetros estándar) han implementado nuevos métodos encaminados al desarrollo y avance de este tipo de sistemas [3] [4].

En este trabajo se plantea responder a la necesidad de mejoramiento de los sistemas de control de actitud de los pequeños satélites y al deseo de aproximarse cada vez más a los alcances de los sistemas de los satélites convencionales, mediante el diseño e implementación de un sistema que permita controlar la orientación, inicialmente de un picosatélite, contando con las ventajas de las técnicas inteligentes que le provean de la capacidad de adaptarse a su propio entorno y a los constantes cambios del espacio y de las dinámicas que le afectan, así como lo hacen los satélites grandes.

III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El Sistema de Control Inteligente de Orientación de un Picosatélite se conformará de un controlador difuso implementado en un procesador de la familia dsPIC30F, el cual abstrae las doctrinas de los algoritmos genéricos y provee al sistema en cualquier momento de un cambio suave entre los algoritmos operacionales; una red neuronal en una FPGA Cyclone II, cuya finalidad es la relación de los valores de actitud inicial con los valores de cambio de los parámetros del controlador difuso; y de un lazo de simulación hardware (HILS – Hardware in the Loop Simulation), el cual recibirá la entrada al sistema desde unos sensores simulados en el PC y enviará las salidas del controlador al mismo para ver el efecto sobre los actuadores también simulados en el PC.

A. Selección de la Técnica de Control Inteligente

Para la selección de la técnica de control inteligente entre control difuso, control mediante redes neuronales y control neuro-difuso se hizo un análisis profundo de cada uno para escoger el que tuviera más ventajas para el sistema de orientación.

El controlador difuso contribuye a soluciones nuevas en la teoría de control para el tipo de problemas de orientación satelital, a continuación se enumeran dos de ellas:

- Las doctrinas de control son expresadas cualitativa y lingüísticamente.
- Aproximación a los algoritmos de control basándose en modelos expertos.

Este tipo de controladores son centrados alrededor de reglas de control con políticas conjuntas, expresadas por medio de afirmaciones si-entonces. Como ejemplo el sistema puede ser capturado o cuantificado a través del error y su derivada de los ángulos en los tres ejes. La estructura del lazo cerrado del controlador difuso se puede apreciar en la figura 1 [5].

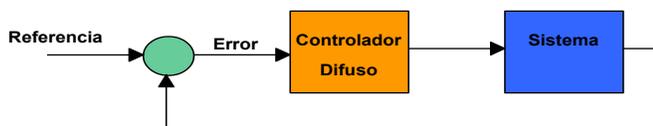


Fig. 1. Estructura del lazo de control difuso

Las reglas del controlador se pueden expresar por medio de una regla base como se ilustra en la Tabla 1. En esta regla base se captura los principales objetivos de control reflejando directamente una política de control global.

TABLA I

Reglas de un controlador difuso de actitud capturado por el Error y su derivada [6]

		Cambio o derivada del Error (DE)					
		MN	N	C	P	MP	
Error (E)	MP	MN	MN	MN	N	MP	
	P	MN	MN	N	P	MP	
	C	MN	N	C	P	MP	
	N	MN	N	P	MP	MP	
	MN	MN	MP	MP	MP	MP	

En la Tabla I se puede apreciar también una serie de conjuntos difusos que interpreta el estado de entrada del error y el Cambio o Derivada del Error; y la relación con el estado de la salida del controlador que encaja en otra serie de conjuntos difusos de salida. Estos se relacionan entre si por medio de las reglas difusas.

La asociación de las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos se puede entender por medio de la figura 2 [6].

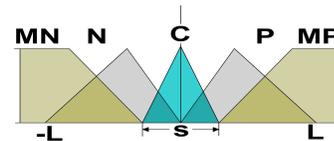


Fig. 2. Asociación de las funciones de pertenencia

En esta asociación entran a jugar un papel muy importante dos parámetros s y L , donde tienen la característica de reajustar el controlador. El reajuste del parámetro L es despreciable en comparación con el reajuste que sufre el controlador aplicando la variación en el parámetro s , portal motivo para que exista menor procesamiento en el dispositivo, solo se tiene en cuenta el parámetro s [6].

Se ha demostrado que el controlador difuso con funciones de pertenencia adecuadamente reajustadas es capaz de manejar el sistema hasta el estado final en menos tiempo que el sistema convencional bang-bang. Por esta razón la configuración necesita ser reajustada en cualquier momento cuando exista un cambio en la actitud inicial [7].

Una solución a este problema es utilizando una red neuronal, que relacione los valores de actitud inicial con los valores de cambio del parámetro s , el cual reajusta las funciones de pertenencia. Para este caso se utiliza un soporte de red neuronal. En efecto, la arquitectura de control cambia como se muestra en la figura 3 [6].

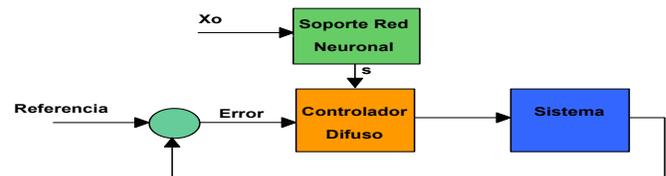


Fig. 3. Arquitectura de control neuro-difuso

En la figura 4 se puede apreciar que la entrada de la red sería la actitud inicial del satélite, con las tasas de Euler (Φ, θ, φ). La salida es el parámetro s para cada grupo de lógica difusa. El controlador está compuesto por tres de ellos, uno para cada ángulo.

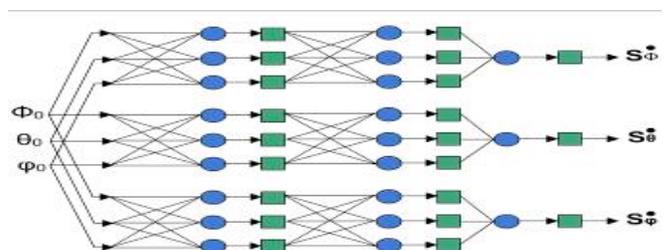


Fig. 4. Red neuronal con entrada la actitud inicial del satélite

B. Implementación Hardware del Controlador

Para la selección del procesador específico más conveniente que cumpla con los requerimientos de control del Sistema de Orientación Inteligente se ha realizado un detallado análisis de aquellos que tengan un muy bajo consumo de energía y alto rendimiento. El procesador más ocionado para la implementación del controlador difuso es el dsPIC33FJ32GP204, principalmente por tener las siguientes características:

- Hasta 40 MIPS (millones de instrucciones por segundo)
- Rango de operación de 3.0-3.6V
- Set de instrucciones del compilador C modificado
- Ancho de la palabra de información de 16 bits [8].

En la figura 5 [8] se muestra el diagrama de pines de este procesador.

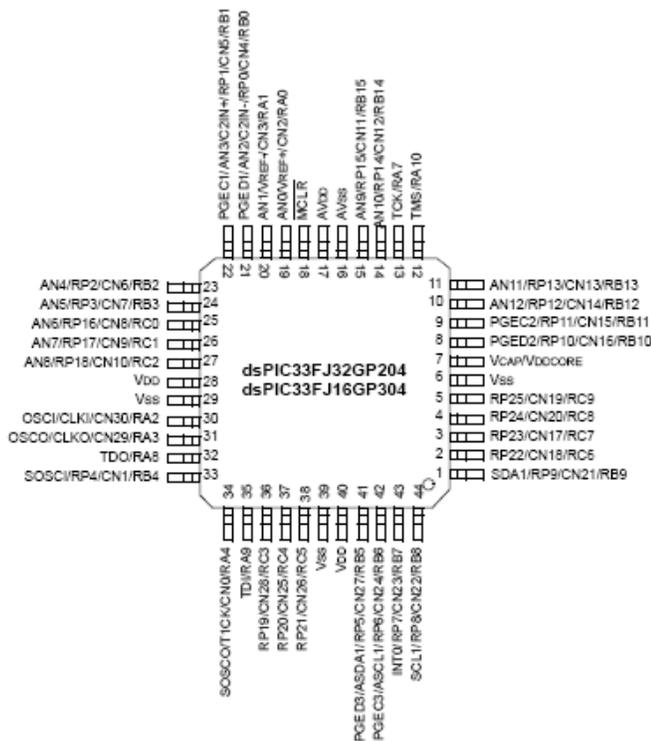


Fig. 5. Diagrama de pines del dsPIC33FJ32GP204

Es muy importante para esta selección el consumo bajo de potencia, ya que la disponibilidad de celdas solares en un picosatélite es muy limitada y de esta forma se debe hacer una óptima utilización y distribución de la potencia para los diferentes componentes electrónicos.

La red neuronal se montará en una FPGA Cyclone II, debido a su bajo costo y amplias características, entre ellas: arquitectura de alta densidad, multiplicadores embebidos de 18x18 bits con funcionamiento hasta de 250-MHz, soporte avanzado de I/O y

una circuitería flexible de administración de reloj [9].

En la Tabla II se muestran las características de las FPGA's de la familia Cyclone II.

TABLA II
Características de la familia de FPGA's de Cyclone II [6]

Feature	EP2C5	EP2C8 (2)	EP2C15 (1)	EP2C20 (2)	EP2C35	EP2C50	EP2C70
LEs	4,608	8,256	14,448	18,752	33,216	50,528	68,416
M4K RAM blocks (4 Kbits plus 512 parity bits)	26	36	52	52	105	129	250
Total RAM bits	119,808	165,888	239,616	239,616	483,840	594,432	1,152,000
Embedded multipliers (3)	13	18	26	26	35	86	150
PLLs	2	2	4	4	4	4	4
Maximum user I/O pins	158	182	315	315	475	450	622

C. Validación Hardware in the Loop Simulation

Hardware en Lazo de Simulación (HILS) es una técnica que utiliza una combinación de hardware y software para simular y estudiar sistemas compuestos por componentes reales y virtuales que interactúan como un todo [10].

Con HIL, el controlador se pone a punto en lazo cerrado con la simulación de la planta o parte de ésta en software de tiempo real. Esto hace que el comportamiento del controlador se pueda analizar como si estuviera interactuando con la planta en tiempo real. En la figura 6 [11] se aprecia la conexión en este tipo de procedimientos donde la planta y los convertidores están integrados en software en tiempo real en el Target, administrado por el Host, que es también la interfaz de usuario y programador del controlador [10][11].

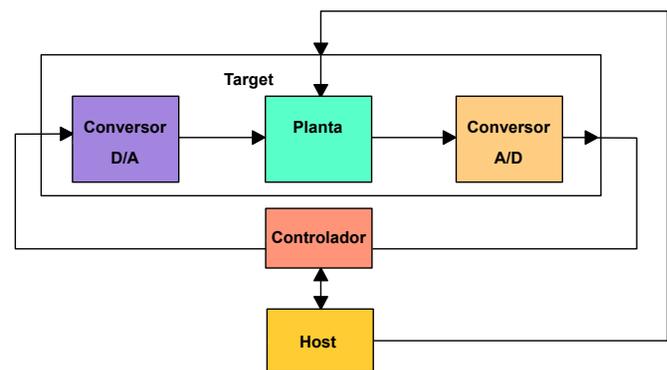


Fig. 6. Método de Hardware in the Loop Simulation

Para el Sistema de Orientación Inteligente se realizará la validación hardware mediante esta técnica, donde se simulará en el computador, mediante la herramienta MATLAB, los sensores que permiten determinar la actitud del satélite. Esta información ingresa a la plataforma hardware del controlador,

donde son reajustados los parámetros del controlador difuso si existe algún cambio en la actitud inicial, y la salida del controlador cierra el lazo de simulación ingresando nuevamente al computador para efectuar los posibles cambios sobre los actuadores.

IV. CONCLUSIONES

El diseño de un Sistema de Control Inteligente de Orientación de un Picosatélite es una excelente respuesta a la necesidad de mejorar la capacidad de este tipo de pequeños satélites de orientarse en el espacio, ya sea para el direccionamiento de antenas, celdas solares y/o cargas que requieran una orientación específica.

En la actualidad, la mayoría de satélites pequeños de las dimensiones de un picosatélite, por ejemplo los CubeSats, tienen capacidades de estabilización muy limitadas. La mayoría de éstos son actualmente satélites giratorios. Esta carencia de estabilización limita significativamente su funcionamiento al reducirle la habilidad de apuntar exactamente los paneles solares y otros instrumentos. Es por esta razón, que el diseño de un Sistema de Control Inteligente de Orientación de un Picosatélite es un aporte muy innovador en el área de las tecnologías satelitales, específicamente en el campo de pequeños satélites.

Además, el uso de técnicas inteligentes proveen al sistema de la capacidad de adaptarse a su propio entorno y a los constantes cambios del espacio y de las dinámicas que le afectan, ajustando y reconfigurando sus parámetros de funcionamiento de acuerdo a cambios que existan en la actitud inicial. Lo anterior es una gran ventaja frente a los sistemas convencionales de control activo ó pasivo que utilizan actualmente los pequeños satélites.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ingeniero Mario Andrés Córdoba por inspirar este trabajo y guiar su desarrollo, y a los ingenieros Vladimir Trujillo y Diego Aguilar por las bases teóricas entregadas en las materias cátedras.

ALCANCES FUTUROS DEL PROYECTO

- Los objetivos a corto plazo del proyecto son la adecuada selección de la plataforma hardware para el Sistema de Control Inteligente de Orientación de un Picosatélite, su posterior implementación y validación hardware mediante la técnica HILS.
- Integración de este sistema con la Unidad Inercial de Medida (IMU) desarrollado por otro grupo de estudiantes de la Universidad del Cauca, para la conformación total

de un Sistema de Determinación y Control de Actitud de un Picosatélite.

- Extender el sistema para los diferentes tipos de satélites pequeños.

REFERENCIAS

- [1] DABROWSKI, Michael J. "The Design of a Software System for a Small Space Satellite". M. S. tesis. Dept. Ing. Eléctrica, Universidad de Illinois, Urbana, Illinois, USA, 2005.
- [2] SMALL SATELLITES HOME PAGE, <http://centaur.sstl.co.uk/SSHP/index.html>. Última Fecha de Consulta: Octubre 1 de 2007.
- [3] SCHAFNER, Jake A. "The Electronic System Design, Analysis, Integration, and Construction of the Cal Poly State University CP1 CubeSat," en *16th AIAA/USU Conference on Small Satellites*, Logan, USA, 2002.
- [4] RYSANEK, Filip, HARTMANN, John, SCHEIN, Jochen, y BINDER, Robert. "MicroVacuum Arc Thruster Design for a CubeSat Class Satellite," en *16th AIAA/USU Conference on Small Satellites*, Logan, USA, 2002.
- [5] PEDRRYZ, W. PETERS, J.F. y RAMANNA, S. "Hierarchical Fuzzy Neural Attitude Control for Satellites," en *IEEE, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2*, Canadá, 1997.
- [6] THONGCHET, Suriya. Y. y KUNTANAPEDRA, Suwat. "A Fuzzy-Neural Bang-Bang Controller for Satellite Attitude Control," en *The Journal of KMITNB*, vol. 11, No 4, North Bangkok, 2001.
- [7] THONGCHET, Suriya. Y. y KUNTANAPEDRA, Suwat. "Minimum-time Control of Satellite Attitude using a Fuzzy Logic Controller," en *WSES International Conference on Fuzzy Sets & Fuzzy Systems (FSFS'01)*, Puerto De La Cruz, España, 2001.
- [8] MICROCHIP Technology Inc., dsPIC33FJ32GP202/204 and dsPIC33FJ16GP304 Data Sheet, 2007
- [9] ALTERA Corporation, Section I. Cyclone II Device Family Data Sheet, 2007
- [10] SANVIDO Marco. "Hardware in the loop simulation framework," Ph.D. dissertation, Dept. Informatik-Ing., Swiss Federal Institute the Technology (ETH), Lugano, Switzerland, 2002.
- [11] WOJCIECH, Grega: "Hardware in the loop simulation and its application in control education," en *29th ASEE/IEEE Frontiers in education conference*, San Juan de Puerto Rico, 1999.

Tania Lorena Cabrera: Estudiante del Programa de Ingeniería Electrónica en fase de elaboración de Trabajo de Grado, perteneció al Grupo de Investigación y Aplicación de Tecnologías Inteligentes (ATI) de la Universidad del Cauca y actualmente pertenece al Grupo de Investigación en Ingeniería Aeroespacial de la misma Universidad.

Jairo Alonso Mena: Estudiante del Programa de Ingeniería Electrónica en fase de elaboración de Trabajo de Grado, perteneció al Grupo de Investigación y Aplicación de Tecnologías Inteligentes (ATI) de la Universidad del Cauca y actualmente pertenece al Grupo de Investigación Aeroespacial de la misma Universidad.

Mario Andrés Córdoba: Es egresado de la **Universidad del Cauca** con altos honores como Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Posterior a su graduación, realizó estudios en el área de Diseño de Aeronaves (*Airplane Design*) en la Facultad de Ingeniería Aeroespacial de la **University of Kansas**. De igual forma, ha sido *Visiting Scholar Student* en el Departamento de Ingeniería Aeronáutica del **Massachusetts Institute of Technology MIT**, y *Short Term Visiting Scientist* en **NASA Langley Research Center**.