

Control PTZ de un Sistema Electro-Óptico utilizando una Plataforma Robótica

Telenchana B.*; Villacís M.*; Rosales A.*; Chávez D.*; Ávalos E.*; Arcos H.**

*Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Automatización y Control Industrial, Quito, Ecuador

e-mail: braulyo22@hotmail.com; marcoruben59@hotmail.com;

{andres.rosales; danilo.chavez; eduardo.avalos}@epn.edu.ec

**Corporación Eléctrica del Ecuador – CELEC EP

e-mail: harcosm@gmail.com;

Resumen: En el presente trabajo se ha desarrollado el control PTZ y la adquisición de imagen desde un sensor CMOS, para un sistema electro-óptico, el cual se prueba en una plataforma robótica terrestre. El control PTZ comprende el control del giro e inclinación del sensor CMOS y zoom de la imagen. El movimiento en los ejes horizontal y vertical se efectúa mediante el uso de servomotores, gobernados por un microcontrolador ATmega8, el cual es comandado inalámbricamente desde un computador. Para la adquisición de imagen se utiliza la μ CAM-TTL que cuenta con el sensor CMOS. Por medio de un microcontrolador ATmega164PA se envían los comandos de configuración al sensor para la adquisición de la imagen en los formatos RAW y JPEG, y se transmite inalámbricamente los datos de imagen al computador. Adicionalmente, se desarrolla un sistema de adquisición de imagen para la cámara analógica C-208A, con la finalidad de realizar una diferenciación en el desempeño y funcionalidad con la μ CAM. Finalmente, se ha incorporado un sensor de orientación, el mismo que le permite al usuario conocer la orientación del sensor electro-óptico y representarlo gráficamente en el espacio tridimensional.

Palabras clave: Control PTZ, Sistema Electro-Óptico, Plataforma Robótica

Abstract: In this work, it has been developed PTZ control and image acquisition from a CMOS sensor for an electro-optical system, which is tested on a robotic platform ground. PTZ control includes the control of pan and tilt movements for CMOS sensor and zoom of the image. The movement in the horizontal and vertical axis is performed by servomotors, which are controlled by an ATmega8 microcontroller, and it is commanded wirelessly from a computer. For image acquisition, we have used a μ CAM-TTL, which has the CMOS sensor. An ATMEGA164PA microcontroller sends the commands to the sensor, in order to set the image acquisition in RAW and JPEG formats, and it transmits wirelessly the image data to the computer. Additionally, it develops an image acquisition system for C-208A analog camera, in order to make a difference in the performance and functionality with μ CAM. Finally, it has been incorporated an orientation sensor in the system, which allows the user to know the orientation of the electro-optical sensor and represent it graphically in 3D.

Keywords: PTZ Control, Electro-Optic System, Robotic Platform.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo surge como parte de un proyecto entre la Escuela Politécnica Nacional y la Fuerza Aérea Ecuatoriana, para diseñar y construir un prototipo nacional de un avión no tripulado (UAV), con un costo menor a los UAVs comerciales, partiendo de la ingeniería que utilice tecnología desarrollada en nuestro país.

Un UAV es una aeronave sin tripulación humana a bordo. Son usados mayoritariamente en aplicaciones militares. Actualmente los UAVs militares realizan tanto misiones de reconocimiento como de ataque. Adicionalmente tienen aplicaciones civiles, como en labores de lucha contra incendios y vigilancia de oleoductos.



Figura 1. UAV equipado con un Sistema Electro-óptico

Para efectuar este tipo de misiones, el UAV lleva incorporado en la parte inferior de su fuselaje un sistema electro-óptico, como se muestra en la Fig. 1.

En particular, este trabajo se encuentra enfocado al desarrollo del control PTZ y la adquisición de imágenes en tiempo real para un sistema Electro-óptico.

Debido a la complejidad de construcción de un sistema electro-óptico, este trabajo se enfoca en un prototipo

básico pero funcional, sobre el cual se podrán desarrollar En el país no se ha desarrollado este tipo de tecnología de manera integral, por lo que éste prototipo sentará las bases necesarias para realizar muchas mejoras o modelos nuevos y más avanzados.

2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE

El prototipo consta físicamente de dos partes: la estructura Pan &Tilt y los módulos del sistema.

2.1 Estructura Pan &Tilt

Al ser este un prototipo se procedió a analizar las distintas alternativas de sistemas robóticos existentes en el mercado, con el objetivo de seleccionar aquella que permita realizar los movimientos en los grados de libertad requeridos, de tamaño y peso pequeños, pero a su vez con capacidad de carga suficiente para el montaje de los módulos del sistema. Como mejor opción se eligió la estructura SPT200 Pan &Tilt System de componentes electrónicos "SERVOCITY".

En base a la estructura adquirida, se procede a seleccionar los servomotores considerando características como: velocidad, torque, tipo de acoples, rango de movimientos y dimensiones. A continuación se presentan los dos tipos de servomotores empleados:

- HS-645MG Ultra Torque
- GWS S125 1T 2BB Sail Winch Servo

Finalmente se realiza el ensamblaje de las piezas y subpiezas de la estructura con los servomotores, como se indica en la Fig. 2.



Figura2. Estructura Pan &Tilt ensamblada

2.2 Montaje de los módulos del sistema

En la parte superior se instala la cámara analógica C-208A, la µCAM y el sensor inercial IMU, adaptando una caja plástica para su montaje, como se indica en la Fig.3. Para la realización del zoom, es necesario quitar los lentes iniciales de la cámara serial y en su lugar acoplar los lentes motorizados.

modelos mejorados a futuro.

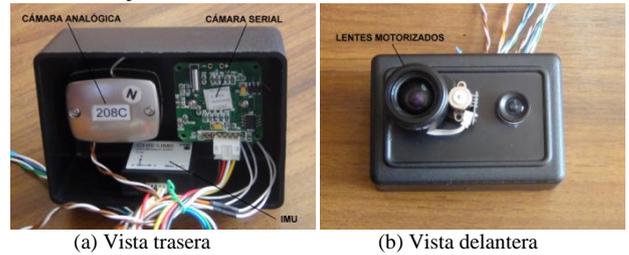


Figura3. Módulos del sistema instalado

Además, se evidenció la necesidad de una base que sirve de soporte para todo el prototipo, la misma que se la construye en madera de acuerdo a las medidas del servomotor y las dimensiones de la plataforma robótica que se utilizará en las pruebas.



Figura4. Prototipo del sistema electro – óptico

3. DESARROLLO DEL SOFTWARE

El funcionamiento de todo el prototipo se encuentra basado en dos microcontroladores. El primer microcontrolador es el ATmega 8 y es el que realiza el control PTZ del sistema. El otro microcontrolador es el ATmega 164P y es el encargado de recibir los datos de la imagen y enviarla hacia el computador para la adquisición de la imagen.

En la Fig.5 se presenta el diagrama esquemático del funcionamiento de todo el sistema.

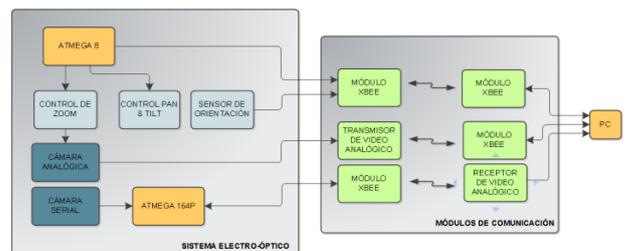


Figura5. Esquema general del sistema

3.1 Adquisición de Imagen

Existe un gran número de cámaras en el mercado, pero al tratarse este proyecto como un prototipo de un sistema electro-óptico, se comienza utilizando la μ CAM – TTL, la cual está incorporada por el sensor de imagen y su respectivo procesador. Luego se emplea la cámara analógica C-208A, con la finalidad de analizar la complejidad de los dos sistemas y diferenciar los resultados en cuanto a la calidad de imagen.

1) μ CAM-TTL

Mediante esta cámara es posible adquirir la imagen en dos formatos: RGB565 (RAW) y JPEG. Previamente a la configuración de la μ CAM es necesario el estudio en detalle de los comandos y protocolos [7] utilizados por la cámara en los dos formatos.

La cámara se conecta directamente al puerto serial 1 del microcontrolador debido a su nivel de voltaje TTL, como se muestra en la Fig. 6. Se utiliza el regulador de voltaje LM1117T para obtener una alimentación de 3.3V, la cual es conectada a la cámara para su funcionamiento. Además se intercala un interruptor entre la salida del regulador y el pin Vcc, con la finalidad de reiniciar la cámara en caso de que no responda a los comandos enviados desde el computador.

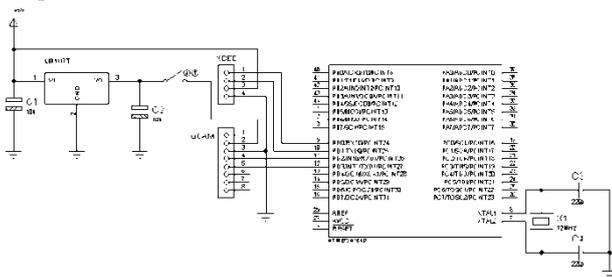


Figura6. Conexión μ CAM TTL - Microcontrolador

La μ CAM-TTL utiliza comunicación serial para la transferencia de datos de imagen. Mediante un puerto serial del microcontrolador ATmega164PA se transmite y recibe los comandos hacia y desde la cámara, los datos de imagen provenientes de la cámara son enviados al ordenador, a través de otro puerto serial del microcontrolador.

Los datos son transmitidos inalámbricamente a una velocidad de 57600 baudios, mediante módulos XBee entre el microcontrolador y el computador. El computador envía las señales de control al microcontrolador, recibe los datos de imagen y los acondiciona para reconstruir la imagen.

2) Cámara Analógica C-208A

Mediante este tipo de cámaras la adquisición de imagen es sencilla, pues trabajan con el sistema de codificación NTSC que LabVIEW reconoce fácilmente, permitiendo de esta manera adquirir video en tiempo real.

En la Fig. 7 se muestra el esquema de la adquisición de imagen con la cámara analógica, donde:

- Cámara analógica: captura la imagen/video.
- Transmisor de video analógico: inalámbricamente el video en tiempo real, a una frecuencia entre 2.4GHz – 2.483GHz.
- Receptor de video analógico: recibe la señal inalámbrica de video y la envía por puertos RCA,.
- PC: Se comunica con la cámara analógica mediante el módulo NI VisionDevelopment de Labview, el cual adquiere las señales analógicas de video y las convierte a formato digital, para su visualización.



Figura7. Esquema de la adquisición de imagen con la Cámara Analógica

3.2 Control PTZ

En primer lugar, PTZ es un acrónimo de Pan, Tilty Zoom, y se refiere al movimiento horizontal, vertical y zoom, los cuales son controlados inalámbricamente desde un computador.

El microcontrolador ATmega 8 recibe las señales de control provenientes del computador indicándole el tipo de control que debe realizar, ya sea control Pan, Tilt o Zoom.

Para poder realizar el control Pan y Tilt, el microcontrolador debe controlar la posición de los servomotores de giro e inclinación con los que cuenta la estructura Pan & Tilt. En cambio, para la realización del control de zoom se debe controlar un motor paso a paso bipolar.

1) Control de servomotores

El control de un servomotor se lo realiza mediante la técnica PWM (modulación por ancho de pulso), la cual consiste en enviar continuamente una serie de pulsos de relación de trabajo variable. La variación del ancho de pulso permite posicionar el servomotor en un determinado ángulo. El rango de variación del ancho de pulso está dado por el fabricante. El periodo de la señal de control por lo general tiene un valor de 20ms, y el ancho de pulso de la señal de control comúnmente se la debe variar entre 0.6ms y 2.4ms.

En la Fig. 8 se muestra la señal de control y la posición resultante del eje del motor para los valores de operación mínimo, central y máximo del servomotor.

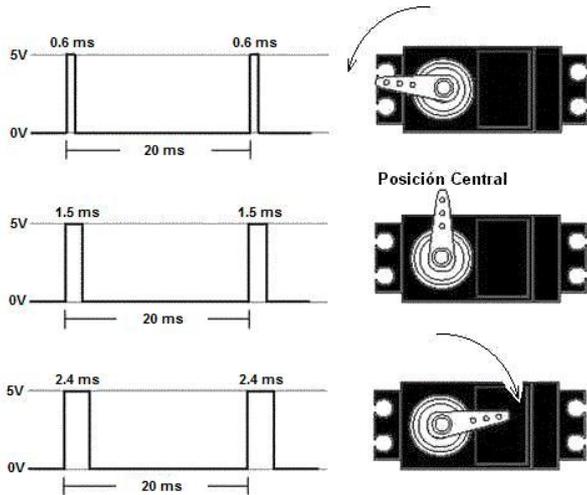


Figura8. Señales de control y posición del servomotor[8]

2) Control de motores paso a paso bipolares

Un motor paso a paso está diseñado para moverse en pequeños incrementos, por lo que es eficaz para un trabajo preciso. El ángulo de giro (también llamado paso) es muy variado pasando desde los 90° hasta los 1.8°, cada paso se efectúa aplicando un pulso a sus bobinas. La velocidad de giro del motor depende del tiempo entre cada uno de los pulsos.

Los motores paso a paso bipolares se encuentran conformados por dos bobinas y únicamente poseen cuatro cables de salida, como se muestra en la Fig. 9.

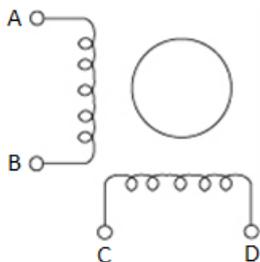


Figura9. Conexión interno de un motor paso a paso bipolar

Este tipo de motores necesitan la inversión de la corriente que circula por sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca que el eje se mueva un paso, a continuación en la Tabla 1 se muestra la secuencia necesaria.

Tabla1. Secuencia normal de un motor paso a paso bipolar

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	ON	OFF	ON	OFF
2	ON	OFF	OFF	ON
3	OFF	ON	OFF	ON
4	OFF	ON	ON	OFF

3.3 Sistema de Orientación

El sistema de orientación proporciona información acerca de la rotación con respecto a tres ejes: el eje lateral, el eje vertical y el eje longitudinal. Esta rotación produce la variación de los tres ángulos de Euler que son: la dirección (yaw), elevación (pitch) y el ángulo de alabeo (roll). Estos ángulos permiten conocer los movimientos realizados por el sensor electro-óptico en el espacio tridimensional, y de esta manera conocer su orientación en cada instante.

1) Sensor de Orientación

El sensor de orientación utilizado en este prototipo es el CHR-UM6, el cual combina sensores de medición de giro, acelerómetros, y sensores magnéticos, para entregar al usuario mediciones de orientación.[3, 4, 9, 10]



Figura.10. Sensor CHR-UM6

2) Obtención de ángulos de Euler

El sensor de orientación envía serialmente la información en forma de paquetes que se encuentran formados por 13 bytes hexadecimales. Cada paquete se encuentra estructurado como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Estructura de un paquete de datos

Secuencia de inicio	Tipo de Paquete	Dirección	Ángulos de Euler			Checksum
			Roll	Pitch	Yaw	
3 Bytes	1 Byte	1 Byte	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes

Los datos de los ángulos son enviados por el sensor como enteros de 16 bits en complemento a 2, por lo que para obtener una estimación del ángulo, se realiza el proceso inverso al cálculo del complemento a 2. Al concluir este cálculo, se tiene un rango de valores enteros con signo, que van desde -32768 a 32767.

Finalmente para obtener el ángulo real en grados se debe multiplicar el dato de la estimación del ángulo por un factor de escala cuyo valor es dado por el fabricante del sensor[10], como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Ángulo real } (^\circ) = 0.0109863 * \text{estimación del ángulo}$$

Una vez realizado el procedimiento para la obtención del ángulo en grados, se tendrán variaciones de ángulos desde -180° hasta 180° para yaw, y de -90° a 90° para pitch y roll.

4.INTERFAZ GRÁFICA

El HMI (Interfaz Hombre-Máquina) del prototipo fue desarrollado mediante el software LabVIEW. Este software es una herramienta de programación gráfica. El HMI desarrollado permite que el usuario se pueda comunicar con el prototipo, de tal modo que mediante una interfaz gráfica el usuario puede realizar el control PTZ, conocer la orientación y realizar la adquisición de la imagen del prototipo.



Figura 11. Interfaz gráfica desarrollada

5.PRUEBAS Y RESULTADOS

El prototipo final fue sometido a varias pruebas, y en base a los resultados obtenidos, se comprobó el cumplimiento de los objetivos planteados para este proyecto. Para la realización de pruebas en varios ambientes, el prototipo fue montado en un robot móvil todo terreno. En la Fig. 12 se indica las imágenes de los distintos ambientes en los que fue probado el sistema.



Figura 12. Pruebas en distintos escenarios

5.1 Pruebas de Adquisición de Imagen

Las pruebas de imagen están enfocadas a comprobar el funcionamiento de la cámara serial y el trabajo de los componentes que conforman el sistema, ya que éste sistema fue desarrollado en su totalidad tanto para el formato RAW como para el formato JPEG. El formato RAW contiene la información de cada pixel del sensor de

imagen al momento de la captura, mientras que el formato JPEG comprime los datos para tener imágenes de menor tamaño. Además se muestran los resultados y diferenciaciones entre la imagen reconstruida con la cámara serial y la imagen de la cámara analógica.

1) Formato RAW

Las primeras pruebas con la cámara serial son realizadas con los lentes propios con los que cuenta la cámara. Una vez verificado el correcto envío de los comandos hacia la cámara, se continúa con la adquisición de los datos de imagen. Luego se comprueba el adecuado funcionamiento del SubVI de pixelado de la imagen, para finalmente obtener como resultado la imagen formada con una resolución de 256x256 píxeles, la misma que se indica en la parte superior derecha de la Fig. 13. La resolución de la imagen obtenida por el sensor es de 128x128 píxeles, mediante la realización de zoom digital de 2x es posible obtener una resolución dos veces mayor a la original, es decir, 256x256 píxeles[7].



Figura 13. Imagen RAW

En la Fig. 13 se puede apreciar la diferencia entre las imágenes obtenidas. Se tiene como resultado una imagen digital de baja calidad debido al zoom digital realizado y a la transformación de RGB565 a RGB888. El formato de color RGB565 representa cada pixel de la imagen mediante 2 bytes (16 bits), donde los 5 bits más significativos son para el rojo, los 6 bits siguientes para el verde y los 5 bits menos significativos para el azul, entonces para el color rojo y azul se tiene una resolución de 0 a 31 y para el color verde se tiene una resolución de 0 a 63. Labview emplea el formato RGB888 para procesar el color de los píxeles, es decir, se debe tener 3 bytes de 8bits con una resolución de 0 a 255, por lo tanto es preciso realizar la transformación.

El tiempo de transmisión de una imagen en este formato es de 5.69 segundos.

Con el objetivo de comprobar la realización de el zoom óptico, se utilizaron lentes motorizados que fueron adaptados al sensor de imagen de la cámara serial, en la Fig. 14 se muestran las pruebas realizadas.



Figura 14. Pruebas de zoom óptico

Uno de los puntos importantes a considerar es el desenfoque de la imagen al acoplar los nuevos lentes. La cámara con los lentes originales tiene una distancia focal predeterminada, mientras que con el cambio de lentes se produce la alteración de la distancia focal, es decir, todos los rayos de luz no coinciden en un solo punto y los lentes al no tener control de enfoque se presentan los resultados de la Fig. 14.

2) Formato JPEG

En primer lugar se adquiere una sola imagen para comprobar el correcto funcionamiento de los algoritmos de programación tanto para el microcontrolador y el HMI, para luego realizar la adquisición sucesiva de imágenes. En la Fig. 15 se indica la imagen obtenida en este formato. La adquisición fue realizada con los lentes originales de la μ CAM, para la obtención de mejores resultados.



Figura 15. Imagen JPEG

Al ser un formato de imagen comprimida, el número de datos transmitidos se reduce considerablemente. El tiempo de transmisión aproximado por cada imagen es de 0,58 segundos.

Es de considerar que al ser un formato de compresión, el tamaño de los datos de imagen está en función del color y brillo de la escena a captar, es decir, el tamaño de los datos de cada imagen es variable. Los tiempos de transmisión de cada imagen son relativamente bajos, por lo cual en este formato es posible presentar las imágenes en modo video.

3) Cámara analógica

Para la adquisición de imagen se detecta la dirección de la cámara en el computador y se comienza a adquirir la imagen en modo video mediante las herramientas virtuales de Labview. La imagen obtenida se presenta en la Fig. 16.



Figura 16. Imagen de la cámara analógica

Como se observa en la Fig. 16, la imagen obtenida por esta cámara tiene mejores características como: color, definición y tiempo de transmisión de la imagen. La cámara analógica funciona adecuadamente gracias a una fina sintonización del receptor analógico. Además en la Fig. 17 se muestran las pruebas de zoom digital, las cuales también presentan el desempeño deseado.



Figura 17. Pruebas de zoom digital

4) Diferenciación entre cámaras y formatos

Uno de los puntos predominantes de diferenciación entre las dos cámaras es el tiempo de transmisión. La cámara analógica transmite video en tiempo real a una resolución de 682x452, mientras que la μ CAM transmite una imagen de 128x128 en un tiempo de 5.72s en formato RAW, y en el mejor de los casos se tiene el formato JPEG con imágenes de 160x128 y un tiempo de 0.9s.

La cámara analógica adquiere una imagen de mejor calidad, por lo cual, se la utilizará para realizar las pruebas sobre la plataforma móvil. Además se utilizará el formato JPEG de la μ CAM para observar su desempeño.

5.2 Pruebas Control PTZ

Estas pruebas consisten en comprobar el correcto funcionamiento de los movimientos horizontal, vertical y realización de zoom óptico. Estos movimientos pueden ser controlados mediante los botones situados en el panel frontal del HMI, o directamente desde los botones del joystick que se encuentra conectado al computador. Para tener una clara apreciación del control PTZ, en estas pruebas no se realizará el movimiento del móvil todo terreno.

Cabe mencionar que debido a la alta precisión en cuanto al posicionamiento de los servomotores, el control PTZ fue realizado en lazo abierto.

1) Control de giro

Estas pruebas se realizaron moviendo el sistema 90° desde el origen hacia el lado derecho, y 90° hacia el lado izquierdo. Los resultados de las pruebas de movimiento de giro se pueden apreciar en la Fig.18.

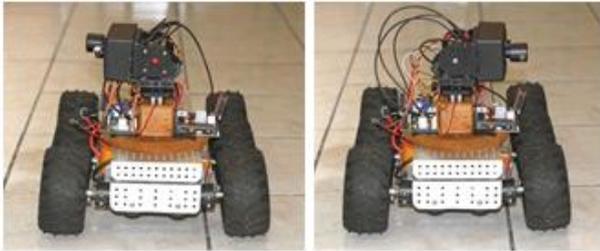


Figura 18.Movimientos hacia derecha e izquierda

El prototipo tiene la capacidad de girar una vuelta completa, es decir, desde la posición inicial puede realizar un movimiento de 180° en sentido horario, y 180° en sentido contrario. Este movimiento de 360° le permite al prototipo visualizar objetos que se encuentren en la parte posterior del sistema, sin la necesidad de mover el móvil todo terreno.

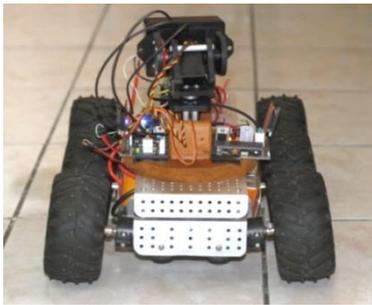


Figura19.Movimiento hacia la parte posterior del sistema

2) *Control de inclinación*

Las pruebas del movimiento vertical se muestran en la Fig.20, en la cual se puede ver el resultado del movimiento de la estructura hacia una posición de 90°.



Figura 20.Movimiento vertical hacia la posición de 90°

Los límites del movimiento vertical están dados por los topes mecánicos que posee la estructura, haciendo que el rango del control de inclinación se encuentre entre 0° y 135°, como se muestra en la Fig. 21.



Figura. 21.Límites del movimiento vertical

3) *Control de zoom*

El control del zoom se realiza mediante lentes motorizados que fueron adaptados al sensor de imagen, estos lentes permiten realizar zoom óptico de una manera remota desde el computador.

En la parte izquierda de laFig.22 se puede observar la posición del lente motorizado para poder visualizar imágenes en tamaño normal.



Figura. 22.Lentes motorizados

Los lentes motorizados permiten la variación continua del zoom en pequeños pasos, gracias a que tiene incorporado un motor paso a paso. En la parte derecha de laFig. 22 se muestra el máximo desplazamiento posible del lente para el cual realiza el máximo cantidad de zoom permitida.

5.3 Pruebas de Orientación

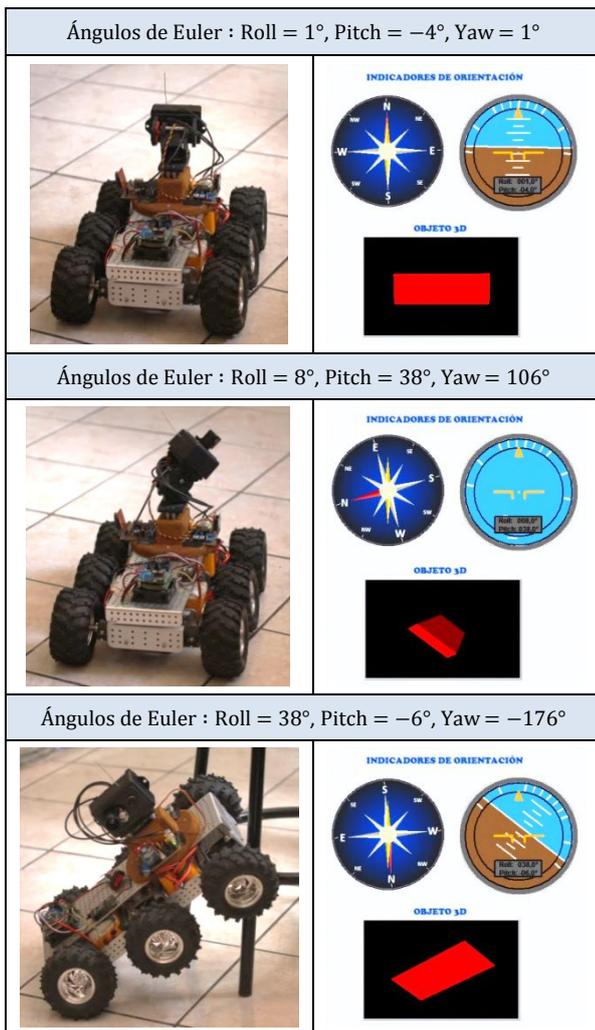


Figura 23. Pruebas del Sensor de Orientación

Las pruebas del sensor de orientación se realizaron colocando el prototipo en varias posiciones, como se muestra en la Fig. 23.

En la parte izquierda de la Fig. 23 se puede observar la posición real del sensor electro-óptico para cada caso, en la parte derecha se muestra el indicador de tipo brújula, el indicador de actitud y la representación gráfica en el espacio tridimensional. Adicionalmente se tienen los ángulos de Euler para cada posición del sensor electro-óptico.

6. CONCLUSIONES

Al tratarse este proyecto de un prototipo básico pero funcional, el control PTZ fue realizado en lazo abierto, beneficiándonos de esta manera del controlador de posición interno que poseen los servomotores.

La estructura mecánica cumple con los requisitos de movimiento que demanda el sistema, ya que cuenta con dos grados de libertad, permitiendo así controlar la inclinación y giro del sensor electro-óptico.

La selección de los servomotores es de gran importancia, ya que se debe considerar el peso total que va ser montado en la estructura mecánica y los rangos de movimientos que ésta tendrá.

La comunicación inalámbrica es muy confiable en distancias menores a 30m cuando existe línea de vista entre los módulos. A medida que aumenta la distancia o en ambientes cerrados, existe pérdida de información provocando errores en el sistema.

El formato RAW representa el color de cada pixel mediante 2 bytes, esto implica tener una gran cantidad de datos por cada imagen, produciendo un mayor tiempo en la transmisión.

El formato JPEG comprime los datos de la imagen sin perder la calidad de la misma, obteniendo de esta manera un menor tamaño por cada imagen. Esto provoca una reducción del tiempo de transmisión, haciéndola más eficiente.

Si se toma en cuenta los resultados obtenidos en la adquisición de imagen mediante los dos tipos de cámaras, es evidente que la utilización de una cámara analógica presenta muchas ventajas en la transmisión y adquisición de la imagen.

Para el desarrollo de un sistema electro-óptico capaz de cumplir con las funciones básicas que poseen equipos existentes en el mercado, es necesario contar con los recursos tecnológicos y financieros, y líneas de investigación enfocadas a las distintas áreas del sistema.

REFERENCIAS

- [1] Delgado García J. PhD, Fotogrametría Digital, Depto. Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén, 2010.
- [2] Documentación del Master de Integración de Sistemas de Aeronaves. EADS-CASyUniversidad Carlos III de Madrid, 2009.
- [3] Escalante Ramírez B. PhD, Procesamiento Digital de Imágenes, Agosto 2006.
- [4] Escobar M. I., Control de sensores electro-ópticos en aviones no tripulados y tratamiento de imágenes utilizando máquinas de vectores soporte, Junio 2010.
- [5] Fernández I. A., Las localizaciones geográficas y la proyección utm (universal transverse mercator), Universidad de Valladolid, 2001.
- [6] Hecht E., Óptica, Addison Wesley Iberoamericana, Madrid, 2000.
- [7] MicroCAM Serial JPEG Camera Module, Data Sheet, Junio 2010.
- [8] Servomotores, Características básicas. [En línea]. Disponible: http://robots-argentina.com.ar/MotorServo_basico.htm
- [9] Siouris George M., Aerospace Avionics Systems, EEUU, 1993.
- [10] UM6 Ultra-Miniature Orientation Sensor, Datasheet, Agosto 2012.
- [11] Woodman, Oliver, An introduction to inertial navigation, University of Cambridge, Agosto 2007. http://robots-argentina.com.ar/MotorServo_basico.htm