

Sistema de control de emersión e inmersión del vehículo Sub-Chaac

Sotelo O. Arturo, García O. Manuel D.J., Coria D.R. Luis N., Vázquez L. Carlos E. y Ortega C. Jorge A.

Emersion and immersion control system for the Sub-Chaac vehicle

Abstract— In this work we propose a solution in order to control the immersion and emersion of an unmanned underwater vehicle. This vehicle has been named “Sub-Chaac” honoring to the Mayan god associated to water and rain. So as to measure environment variables Sub-Chaac has instrumentation on-board allowing it to find out its operative conditions. Sub-Chaac has been designed over several stages, just to mention some of them: a) Mechanical design, b) Ballast control, c) Speed control, d) Power control, e) Electronic Instrumentation and f) Communications and telemetry. This work is about the development of the leveling and deepness control subsystem, which is assisted by the instrumentation subsystem.

Keywords— Emersion, Immersion Underwater vehicle, Unmanned.

Resumen— En este trabajo se propone una solución para el control de emersión e inmersión de un vehículo subacuático no tripulado. El vehículo ha sido nombrado “Sub-Chaac” en honor a la deidad Maya asociada al agua y la lluvia, y se referirá a él de esta forma en el resto del documento. El Sub-Chaac cuenta con instrumentación para medir algunas variables de su entorno y poder determinar sus condiciones de operación. Existen diversas etapas en el diseño del Sub-Chaac, por mencionar algunas: a) Diseño mecánico, b) Control de lastre, c) Control de velocidad, d) Control de potencia, e) Instrumentación electrónica y f) Comunicaciones y telemetría. Este trabajo trata de parte del desarrollo del subsistema de control de lastre, consistente en el control de nivelación y profundidad, el cual es asistido por el subsistema de

instrumentación.

Palabras clave— Emersión, Inmersión Vehículo subacuático, No tripulado.

I. INTRODUCCIÓN

El diseño y construcción de vehículos subacuáticos es un tema de interés debido sus aplicaciones, principalmente: en el estudio de perfiles de columna de agua en emersiones verticales mediante sonar [1,5], en la generación de mapas para exploración arqueológica submarina [2], en tareas de monitorización colectiva para determinar la trayectoria óptima para llegar a un objeto sumergido determinado [3], en la búsqueda y rescate de objetos sumergidos [4]. La operación habitual del vehículo requiere de un sistema electromecánico que permita realizar la inmersión y emersión del vehículo, así como el control de movimiento del mismo. Dentro de este marco diversos trabajos abordan técnicas aplicadas para este fin, por ejemplo, en los trabajos [6,7] se diseñan controladores con métodos clásicos; se aplican controladores por modos deslizantes en [8]; en el trabajo de Meldrum [9] se explora la aplicación de un GPS para determinar la posición de un vehículo en el diseño del controlador.

El Instituto Tecnológico de Tijuana a través del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica ha puesto en marcha un proyecto consistente en el diseño y construcción de un vehículo subacuático no tripulado para exploración. El vehículo fue denominado Sub-Chaac (Chaac: Deidad Maya relacionada con el agua y la lluvia), y la construcción del prototipo se encuentra dentro de las metas que se persiguen en el proyecto DGEST "Vehículo Subacuático No Tripulado".

Para lograr la implementación del Sub-Chaac es necesario desarrollar diversos subsistemas: a) Casco, b) Control inmersión y emersión, c) Control de movimiento, d) Etapa de potencia, d) Instrumentación electrónica, e) Comunicaciones y telemetría y d) Administración de energía. En este documento se describen los detalles técnicos del diseño, así como la descripción de la implementación y resultados obtenidos en el desarrollo del sistema para inmersión y emersión del Sub-Chaac.

El documento está organizado como sigue: En la Sección II se presentan los preliminares en los que se basa el desarrollo del sistema de control del Sub-Chaac. En la Sección III se muestra el desarrollo del sistema de control y una descripción de cada uno de los elementos utilizados. La Sección IV muestra los resultados obtenidos. Finalmente la Sección V incluye las conclusiones del trabajo realizado.

Manuscrito recibido el 12 de Julio de 2012. Este trabajo fue respaldado por el departamento de Ing. Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Tijuana, por el proyecto DGEST 3416.10-P y el cuerpo académico ITT-CA-6.

Sotelo O. Arturo, hasta la fecha se ha de desempeñado como Profesor de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Tijuana, en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica; Blvd. Industrial S/N, Mesa de Otay; Tijuana, B.C., México; C.P. 22500; Tel/Fax: (664) 6244743; (e-mail asotelo@tectijuana.mx).

García O. Manuel D.J., hasta la fecha se ha de desempeñado como jefe del departamento y Profesor de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Tijuana, en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica; Blvd. Industrial S/N, Mesa de Otay; Tijuana, B.C., México; C.P. 22500; Tel/Fax: (664) 6244743; (e-mail mdejgaro@yahoo.com).

Coria D.R. Luis N. hasta la fecha se ha de desempeñado como Profesor/Investigador de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Tijuana, en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica; Blvd. Industrial S/N, Mesa de Otay; Tijuana, B.C., México; C.P. 22500; Tel/Fax: (664) 6244743; (e-mail mdejgaro@yahoo.com).

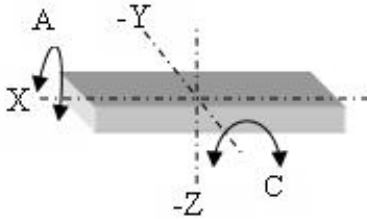


Fig. 1 Ilustración de los ejes: longitudinal X, Transversal Y, y Normal Z. Así como de los movimientos de Cabeceo C, y de Alabeo A.

A. Aspectos generales

Para la implementación del hardware del sistema se hace uso de una red maestro-esclavo de microcomputadoras interconectadas mediante una red I²C. La parte principal del sistema de control es la computadora de navegación (CN), basada en un microcontrolador ARM7 de Atmel, cuya función es controlar la profundidad, nivelación, dirección y velocidad del Sub-Chaac. Adicionalmente se utilizan microcontroladores microchip para implementar la red de sensores que permiten la adquisición y preprocesamiento de las señales presión, temperatura e inclinación, así como para controlar el sentido de giro de los propulsores y de las bombas de llenado/vaciado de las cámaras de lastre.

Para determinar la desviación del Sub-Chaac respecto de la horizontal, se hace uso de un acelerómetro de tres ejes en conjunto de un giroscopio para determinar la velocidad angular, los cuales entregan las lecturas a través de I²C. La desviación respecto de esta referencia comúnmente se les denomina de alabeo y cabeceo. El alabeo es la desviación al girar sobre el eje longitudinal del vehículo, X; el cabeceo es la desviación al girar sobre el eje transversal, Y, como se muestra en la Fig. 1. Estos movimientos presentan características similares entre ellos, así que resolviendo el alabeo se puede tomar como base para resolver el cabeceo. El ángulo de inclinación se puede medir en base a la componente de aceleración producida por la acción de la gravedad sobre el eje X y Y del vehículo.

Adicionalmente, al encontrarse el vehículo en movimiento las lecturas de los acelerómetros resultaran afectadas por los cambios de la velocidad en los tres ejes, resultando en una estimación incorrecta de la desviación respecto a la horizontal. Conociendo la magnitud y dirección de la velocidad con que cambia la desviación es posible compensar obteniendo una estimación más acertada. Para fusionar estas variables y obtener la desviación respecto de la horizontal, el filtro Kalman permite obtener una estimación inmune a los errores de la instrumentación y a los movimientos propios del vehículo [10]. Para estimar la inclinación con la menor cantidad de ruido, deberá ser posible describir el proceso mediante un sistema lineal. De acuerdo con [11] un sistema lineal esta descrito por la Ecuación de estado (1) y Ecuación de salida (2).

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + w_k \quad (1)$$

$$y_k = Cx_k + z_k \quad (2)$$

TABLA I.
DIRECCIONES DE LOS MÓDULOS ESCLAVOS EN LA RED I²C

Dirección	Descripción del dispositivo
0x02	Sensor de inclinación
0x04	Amplificadores de potencia
0x06	Sensor de Profundidad y temperatura

Donde k es el índice de tiempo, x es el denominado estado del sistema, u es la entrada conocida al sistema, y es la medida de salida; finalmente según [12, 13], w es el denominado ruido del proceso y z el ruido de la medición, respectivamente.

II. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

El protocolo de comunicación I²C permite que la CN se comunique con el resto del hardware usando las mismas líneas de comunicación que los dispositivos esclavos. Estos dispositivos tienen una dirección específica de acceso, así es como la CN puede determinar los valores de las variables y le permite enviar las consignas para los actuadores. Las direcciones propuestas para los dispositivos en el esquema de I²C se muestran en la Tabla I.

En la Fig. 2 se muestra el diagrama esquemático de la implementación del sistema de control del Sub-Chaac. El microcontrolador mostrado en la parte central es encargado de enviar las señales de control a la etapa de potencia (EP), es importante señalar que aunque solo se muestra un solo amplificador (AP) en el circuito, el sistema cuenta con un total de cuatro, uno para cada motor/bomba. Estos circuitos se encuentran configurados como esclavos en la red de comunicación I²C.

A grandes rasgos, el algoritmo para el control de inmersión/emersión se describe a continuación:

- I. La CN lee los datos procesados de profundidad y temperatura que provienen de sensor remoto de la dirección 0x06, así como los datos procedentes del sensor de inclinación con la dirección 0x02.
- II. Para controlar la posición horizontal y vertical del vehículo, los datos se procesan en la CN por medio de un algoritmo sencillo que evalúa once condiciones para determinar qué motores se deben activar y en qué orden tienen que operar.
- III. El resultado del procesamiento de la información se envía al microcontrolador encargado de la etapa de potencia de los motores de las bombas, con la dirección 0x04. En base de los valores recibidos e envía la señal a cada AP para activar o desactivar las bombas en el sentido requerido para llevar al Sub-Chaac a la profundidad y nivelación deseada.

La computadora de navegación es la encargada de tomar la decisión de la profundidad a la que se debe situar el vehículo, así como de nivelarlo. La CN cuenta con un microprocesador ARM 7 de 32 bits y un núcleo que le permite ejecutar aplicaciones en multitareas. Adicionalmente, posee un sistema de archivos que habilita el almacenar en un archivo la información recopilada para su futuro análisis.

Uno de los acelerómetros mide, respecto del vehículo, en dirección paralela al eje normal, Z; los otros dos acelerómetros miden en dirección paralela a los eje X y Y con sus respectivos giroscopios que miden la velocidad angular. El ángulo de

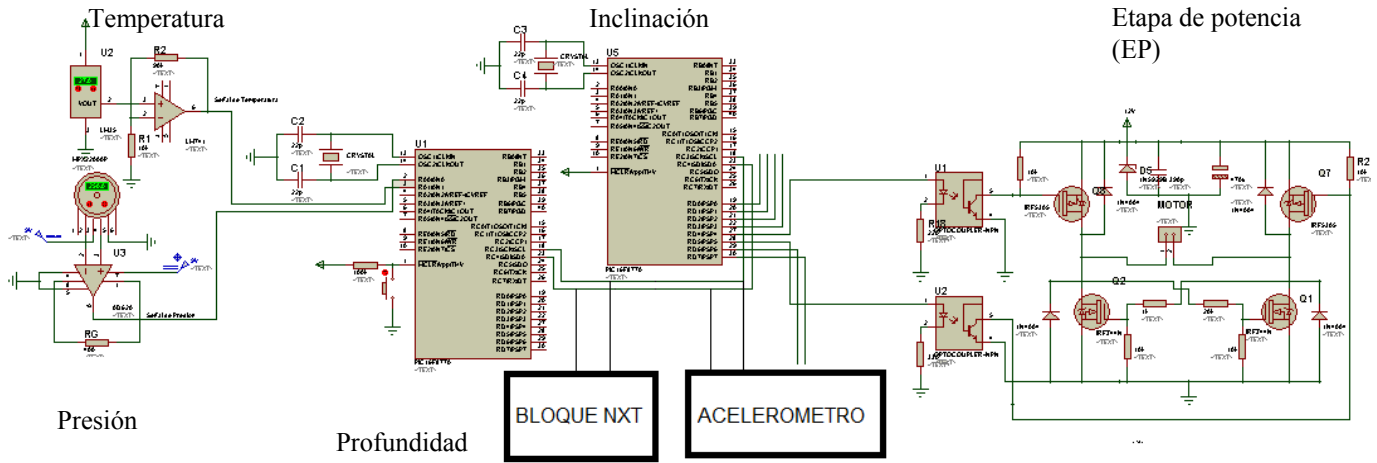


Fig. 2 Diagrama esquemático de la electrónica del sistema de control de inmersión/emersión del Sb-Chaacs.

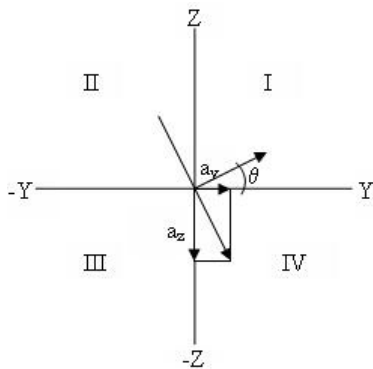


Fig. 3 Determinación del ángulo θ mediante las componentes de aceleración, visto desde la parte frontal.

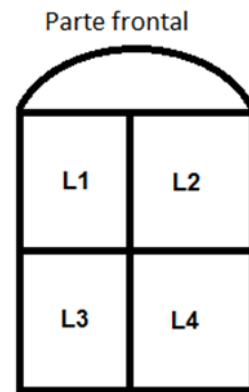


Fig. 4 Localización de las cámaras de lastre del Sub-Chaac, para lograr profundidad y nivelación.

inclinación de determina mediante la lectura de dos acelerómetros, como muestra la Fig. 3.

De acuerdo con [14] el ángulo está determinado por la Ecuación (3) y el signo del ángulo será positivo cuando la resultante de las componentes de aceleración este apuntando en los cuadrantes III a IV, y será negativo cuando apunte en los cuadrantes I a II.

$$\theta = a \tan\left(\frac{a_y}{a_z}\right) \tag{3}$$

Para lograr la inmersión/emersión y nivelación, el Sub-Chaac cuenta con cuatro cámaras de lastre, como se muestran en la Fig. 4. Los actuadores utilizados son cuatro bombas peristálticas, cuyo sentido se determina al cambiar la polaridad mediante los EP, esto con el objetivo de introducir y extraer el agua de los tanques de lastre del Sub-Chaac.

Una propuesta de solución para resolver el problema de inmersión/emersión y nivelación, consistió en analizar cada una de las combinaciones posibles entre los valores de la inclinación de los ejes principales del Sub-Chaac. La respuesta de los motores dependerá de la aceleración registrada en los ejes X, Y y

Z de los acelerómetros y compensadas mediante los giroscopios y el filtro de Kalman: La activación de los motores se realizara cuando el valor de los ejes supere la tolerancia de inclinación para ambos ejes. Las condiciones posibles se muestran en la Tabla II.

Una vez activados los motores estos se mantendrán en este estado hasta que la inclinación en los ejes X y Y sean menores que el valor de tolerancia, esto para lograr una ventana de histéresis para los motores, y evitar al activación y desactivación constante de los motores y reducir el consumo de energía de las baterías.

Para controlar la profundidad a la que se debe ubicar el Sub-Chaac, se plantean tres condiciones, las cuales se analizarán cuando el vehiculo se encuentre nivelado en su posición horizontal. Estas tres condiciones se establecen en la Tabla III.

Para determinar la profundidad se usa un batímetro, el cual mide la presión absoluta que produce el agua sobre el casco del Sub-Chaac y realiza compensación de la densidad tomando en cuenta la temperatura del agua, este trabajo fue desarrollado en otra etapa del proyecto realizado en paralelo.

TABLA II. CONDICIONES PARA ACTIVAR/DESACTIVAR EL BOMBEO PARA CONTROLAR LA POSICIÓN HORIZONTAL DEL SUB-CHAAC

Condición 1	Estado de bombeo	Condición 5	Estado de bombeo
L1	-1	L1	-1
L2	0	L2	-1
L3	0	L3	1
L4	1	L4	1

Condición 2	Estado de bombeo	Condición 6	Estado de bombeo
L1	1	L1	1
L2	0	L2	1
L3	0	L3	-1
L4	-1	L4	-1

Condición 3	Estado de bombeo	Condición 7	Estado de bombeo
L1	0	L1	-1
L2	-1	L2	1
L3	1	L3	-1
L4	0	L4	1

Condición 4	Estado de bombeo	Condición 8	Estado de bombeo
L1	0	L1	1
L2	1	L2	-1
L3	-1	L3	1
L4	0	L4	-1

-1: Sacar Agua; 0: Parar; 1: Meter Agua;

TABLA III. CONDICIONES PARA ACTIVAR/DESACTIVAR EL BOMBEO PARA CONTROLAR LA PROFUNDIDAD DEL SUB-CHAAC

Condición 10	Estado de bombeo	Condición 9	Estado de bombeo
L1	-1	L1	1
L2	-1	L2	1
L3	-1	L3	1
L4	-1	L4	1

Condición 11	Estado de bombeo
L1	0
L2	0
L3	0
L4	0

-1: Sacar Agua; 0: Parar; 1: Meter Agua;

Para el llenado y vaciado de las cámaras de lastre se usaron 4 bombas peristálticas, en la Fig. 5 se puede apreciar la colocación de las bombas de las cámaras de lastre frontales y los ductos para el llenado y vaciado. Sobre la cámara seca es posible ver la implementación provisional de la electrónica para la medición de profundidad y de la EP que activan las bombas.

En la Fig. 6 se puede apreciar la colocación de las bombas peristálticas de las cámaras posteriores, y sobre la cámara seca se puede apreciar la computadora de navegación.

Mientras el Sub-Chaac se encuentre operando, la computadora de navegación genera una bitácora de las variables que se involucran en el proceso: profundidad, cabeceo, alabeo y



Fig. 5 Localización del sistema de control y bombeo instalado dentro del casco del Sub-Chaac.



Fig. 6 Computadora de navegación y equipo de bombeo instalado dentro del casco del Sub-Chaac.

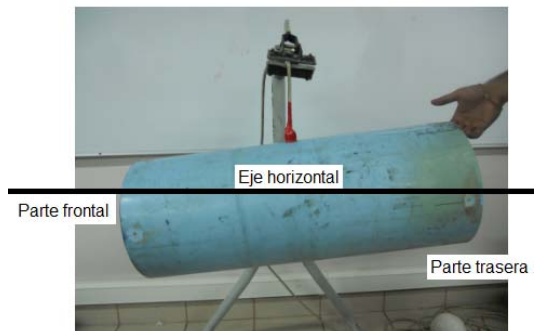


Fig. 7 Representación del movimiento de cabeceo positivo.

estado de activación de las motobombas. El intervalo de tiempo entre muestras se propuso en 0.1s. De este registro se analizarán los datos para posteriormente evaluar el tiempo de respuesta y determinar las características del sistema de control, lo que se estudiara en trabajos futuros.

III. RESULTADOS

Una vez instalado el sistema de control dentro del vehículo se estableció una profundidad de 0 cm para probar primero las condiciones de nivelación horizontal, se estableció una tolerancia de $>10^\circ$ y $<-10^\circ$ para la inclinación en el eje X de $>12^\circ$ y $<-12^\circ$ para la inclinación en el eje Y, y un nivel de histéresis para cuando la inclinación sea menor a 5° en ambos ejes. Se introduce un movimiento de cabeceo hacia abajo, como se puede observar en la Fig. 7, lo que se registra como un ángulo positivo de

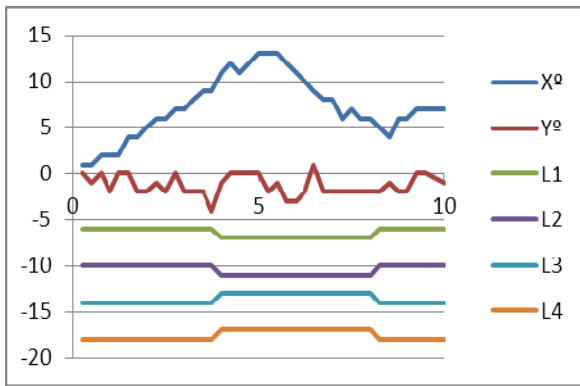


Fig. 8 Gráfica del ángulo de inclinación durante cabeceo (X°) positivo y ciclos de activación/desactivación de bombas peristálticas, para lograr la nivelación del Sub-Chaac.

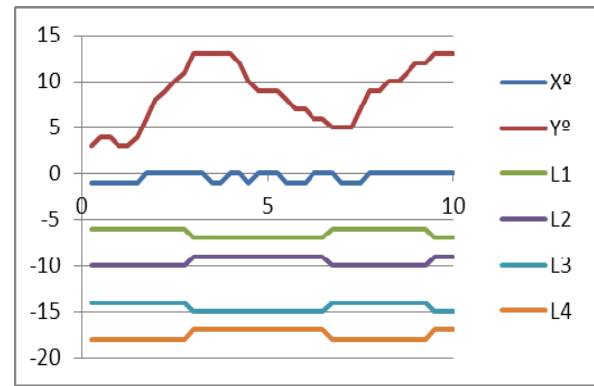


Fig. 10 Gráfica del ángulo de inclinación durante alabeo (Y°) positivo y ciclos de activación/desactivación de bombas peristálticas, para lograr la nivelación del Sub-Chaac.

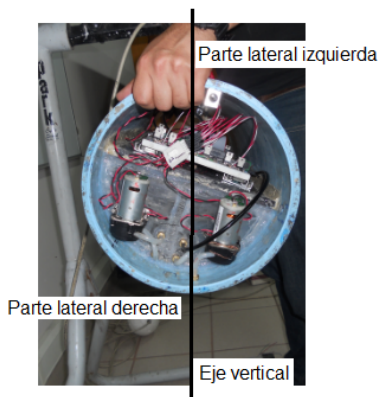


Fig. 9 Representación del movimiento de alabeo a la izquierda.

inclinación. El sistema responde activando las bombas para compensar la inclinación y nivelar el vehículo, en la gráfica de la Fig. 8 se puede observar cuando cambia la inclinación por encima de 10° en el eje X , se activan las bombas ($L1$, $L2$) para vaciar y ($L3$, $L4$) para llenar las cámaras de lastre y la desactivación cuando el ángulo es menor a 5° , logrando nivelar el vehículo dentro de la tolerancia establecida.

A continuación se introduce un movimiento de alabeo a la izquierda, como se muestra en la Fig. 9, lo que se registra como un ángulo negativo de inclinación. A lo que el sistema responde activando las bombas para compensar la inclinación y nivelar el vehículo, en la gráfica de la Figura 10 se puede observar cuando cambia la inclinación por encima de 13° en el eje Y , se activan las bombas ($L1$, $L3$) para vaciar y ($L2$, $L4$) para llenar las cámaras de lastre y la desactivación cuando el ángulo es menor a 5° , logrando nivelar el vehículo dentro de la tolerancia establecida.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento del algoritmo de nivelación, se procede a verificar el control de profundidad, para lo cual se fijara una profundidad de 25 cm, al encontrarse el vehículo en la superficie, las bombas ($L1$ a $L4$) se activaran iniciando el llenado las cuatro cámaras de lastre. En la gráfica de la Fig. 11 se puede apreciar la desactivación de las bombas cuando la profundidad alcanza 21 cm, se mantienen desactivadas mientras le Sub-Chaac sigue descendiendo hasta

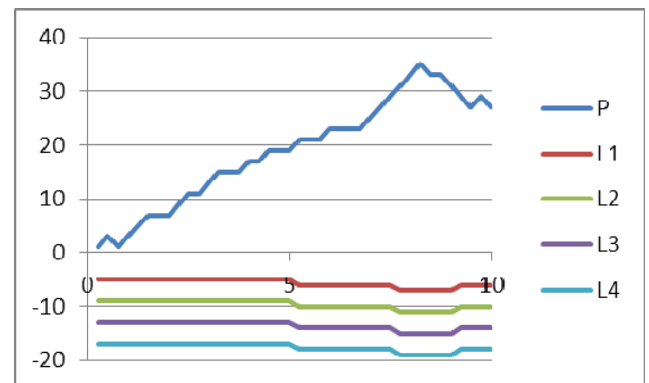


Fig. 11 Gráfica profundidad y ciclos de activación/desactivación de bombas peristálticas, para lograr la profundidad consignada del Sub-Chaac.



Fig. 12 Gráfica del ángulo de inclinación durante cabeceo (X°) positivo y ciclos de activación/desactivación de bombas peristálticas, para lograr la nivelación del Sub-Chaac.

alcanzar 29 cm, entonces las bombas se activan nuevamente para extraer agua de las cámaras hasta lograr la profundidad de 25 cm.

Mientras el Sub-Chaac se encuentra bajo prueba, la computadora de navegación genera una bitácora de las variables que se involucran en el proceso: profundidad, cabeceo, alabeo y estado de activación de las motobombas,

En la Fig. 12 se muestra al Sub-Chaac durante de la prueba de nivelación en flotación positiva.

IV. CONCLUSIÓN

El sistema de control funciono dentro de los parámetros esperados, nivelando satisfactoriamente el vehículo a

compensando las perturbaciones de cabeceo y alabeo producidos por el medio en el que se encuentra inmerso, así también se estabilizó la profundidad consignada. Demostrando con esto que la solución planteada para controlar la nivelación y profundidad es adecuada para un vehículo subacuático no tripulado, donde no es requerido posicionamiento riguroso del vehículo. Así mismo la arquitectura de en red I²C, permite la escalabilidad del sistema para incorporar sensores adicionales, según sean requeridos por la aplicación.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos los profesores/investigadores del departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica que participan en el desarrollo del proyecto del vehículo subacuático no tripulado, así como a los estudiantes, becarios y residentes que se encuentran involucrados en el desarrollo de los diferentes módulos que componen el Sub-Chaac.

Este proyecto fue financiado parcialmente por la DGEST 3416.10-P.

REFERENCIAS

- [1] Gomáriz, S., Prat, J., Ruiz, A.G., Sole, J., Gayá, P., Del Rio, J. Development of a low-cost autonomous oceanographic observation vehicle (2009) OCEANS '09 IEEE Bremen: Balancing Technology with Future Needs.
- [2] Conte, G., Gambella, L., Scaradozzi, D., Zanolli, S., Caiti, A., Calabrò, V., Alcocer, A., Alves, J., Cardeira, B., Cunha, R., Curado, F., Oliveira, P., Oliveira, A., Pascoal, A., Rufino, M., Sebastião, L., Silvestre, C. Underwater vehicle technology in the European research project VENUS 1 (2009) Underwater Technology, 28 (4), pp. 175-185.
- [3] Kulkarni, I.S., Pompili, D. Coordination of autonomous underwater vehicles for acoustic image acquisition (2008) Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM, pp. 27-34.
- [4] Murphy, A.J., Landamore, M.J., Birmingham, R.W. The role of autonomous underwater vehicles for marine search and rescue operations (2008) Underwater Technology, 27 (4), pp. 195-205.
- [5] Masmitja, I., Masmitja, G., González, J., Shariat-Panahi, S., Gomariz, S. Development of a control system for an autonomous underwater vehicle (2010) 2010 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicles, AUV 2010.
- [6] Nègre, A., Zhang, H., Marceau, O., De Saporta, B., Laneuville, D., Dufour, F. Stochastic control for underwater optimal trajectories (2012) IEEE Aerospace Conference Proceedings.
- [7] Khan, I., Bhatti, A.I., Khan, Q., Ahmad, Q. Sliding mode control of lateral dynamics of an AUV (2012) Proceedings of 2012 9th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology, IBCAST 2012, pp. 27-31.
- [8] Meldrum, D.T., Haddrell, T. GPS in autonomous underwater vehicles (1994) IEE Conference Publication, (394), pp. 11-17.
- [9] Sun, Y., Li, W., Qin, Z., Chen, H., Li, J. Application of modified self-adaptive Kalman filter in integrated navigation system of autonomous underwater vehicle (2011) Applied Mechanics and Materials, 79, pp. 298-303.
- [10] K. Ogata, Sistemas de Control en Tiempo Discreto, 2nd ed. México, México: Prentice Hall, 2009.
- [11] D. Simon, "Kalman Filtering," Embedded Systems Programming, vol. 14, no. 11, pp. 72-79, June 2001.
- [12] M. Darby and M. Nikolau, "A Parametric Programming Approach to Moving-Horizon State Estimation," Automatica, vol. 43, no. 5, pp. 885-891, May 2007.
- [13] A. Sotelo Orozco, L.N. Coria de los Ríos, M.J. Garcia Ortega, C.E. Vazquez Lopez, and S. A. Puga Guzman, "Estimación de Posición Angular con el Filtro de Kalman Utilizando Sensores de Bajo Costo.," in VII Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico, Cuenavaca, Morelos, 2009.



Arturo Sotelo Orozco nació en el Distrito Federal, México en 1966. Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en 1990. Obtuvo el grado de Maestría en Sistemas Digitales por el Centro de Investigación en Desarrollo de Tecnología Digital del Instituto Politécnico Nacional en 1997 y Candidato a Doctor en la Universidad Politécnica de Valencia, España.

Él ha trabajado en el desarrollo de sistemas de telemetría y automatización de procesos de manufactura en la industria privada, en paralelo ha sido profesor de tiempo parcial: Desde 2010 es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Tijuana, en el departamento de ingeniería eléctrica y electrónica, en la carrera de electrónica. Sus principales áreas de interés son en el área biomédica con aplicaciones en el área de epilepsia experimental, y en los vehículos de guía autónoma.

El M.C. cuenta con la distinción de perfil deseable PROMEP.

Manuel de Jesús García Ortega nació en Rio grande, Zacatecas en 1964, Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en 1990. Obtuvo el grado de Maestría en Sistemas Digitales por el Centro de Investigación en Desarrollo de Tecnología Digital del Instituto Politécnico Nacional en 2003.



Él ha trabajado en la industria de telecomunicaciones en el área de redes mundiales y metropolitanas. Desde 2008 es profesor-investigador en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Tijuana. Sus áreas de interés se enfocan en los sistemas de comunicaciones con aplicaciones a los vehículos de guía autónoma.

El M.C. cuenta con la distinción de perfil deseable PROMEP.

Luis Néstor Coria de los Ríos, nació en el Salto, Durango en 1978, obtiene el grado de Ingeniero en Electrónica en el Instituto Tecnológico de Durango en el 2000, obtiene el grado de M.C. con Especialidad en Sistemas Digitales en el CITEDIPN en 2005. Obtuvo el grado de Doctor en Comunicaciones y Electrónica en Instituto Politécnico Nacional en el 2010.



Él ha tenido experiencia profesional en la industria de servicios relacionados con los sistemas computacionales. Actualmente es Profesor Investigador en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Tijuana desde 2010. Su principal área de interés es el control y los sistemas caóticos, en estas áreas cuenta con diversas publicaciones en revistas indexadas.

El Dr. obtuvo el grado de ingeniero con medalla al mérito académico y el grado de doctor con mención honorífica, también cuenta con la distinción de perfil deseable PROMEP.

Carlos Edgar Vázquez López nació en el D.F., México, recibió el título de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica de la ESIME-IPN en 1991. Obtiene el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en sistemas Digitales del CITEDIPN en 1997.



Desde hace 20 años se desempeña como docente y ha ocupado diferentes cargos administrativos en el Instituto Tecnológico de Tijuana. Actualmente es titular de las materias: Sistemas Digitales, Optoelectrónica y Física de Semiconductores.

Jorge Alberto Ortega Camacho nació en la ciudad de Tijuana en 1989 actualmente es alumno de 9º semestre de la carrera de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tijuana, en fase de residencia profesional.

