

Hacia un vehículo submarino modular no tripulado

PÉREZ COLLAZO, Carlos, GONZÁLEZ PRIETO, José Antonio, EIRÍS BARCA, Antonio, LAREO CALVIÑO, Guillermo, REGUEIRO PEREIRA, Araceli, RUÍZ VEIGA, Manuel and SINGH, Yogang

Available from Sheffield Hallam University Research Archive (SHURA) at:

<https://shura.shu.ac.uk/32450/>

This document is the Pre-print

Citation:

PÉREZ COLLAZO, Carlos, GONZÁLEZ PRIETO, José Antonio, EIRÍS BARCA, Antonio, LAREO CALVIÑO, Guillermo, REGUEIRO PEREIRA, Araceli, RUÍZ VEIGA, Manuel and SINGH, Yogang (2023). Hacia un vehículo submarino modular no tripulado. In: 10th National Congress of R&D in Defense and Security (DESEi+d 2023), Cartagena, Spain, 14-16 Nov 2023. (Unpublished) [Conference or Workshop Item]

Copyright and re-use policy

See <http://shura.shu.ac.uk/information.html>

Hacia un vehículo submarino modular no tripulado

Pérez Collazo, Carlos ^{1, *}, González Prieto, José Antonio ¹, Eirís Barca, Antonio ¹, Lareo Calviño, Guillermo ¹, Regueiro Pereira, Araceli ¹, Ruíz Veiga, Manuel ¹ y Singh, Yogang ²

¹ Centro Universitario de la Defensa en la ENM, Plaza de España s/n, 36920, Marín, Pontevedra. Correo electrónico: (CPC) carlos.perez.collazo@tud.uvigo.es.

² Departments in Engineering and Mathematics, Sheffield Hallam University, Sheffield, Reino Unido.

Resumen

Los vehículos submarinos no tripulados han demostrado ser de gran utilidad para la realización de actividades de muy diversa índole, tanto en el ámbito de la seguridad y defensa como en la sociedad civil. Es precisamente esta diversidad la que ha provocado el desarrollo de tantas variantes como necesidades, cada cual más especializada en acciones concretas, suponiendo un reto logístico desde el punto de vista del operador de este tipo de sistemas. Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación del Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar denominado MoAUV, cuyo principal objetivo es el desarrollo de nuevos conceptos y técnicas de fabricación de vehículos submarinos no tripulados de carácter modular. En particular en este artículo se lleva a cabo una revisión del estado del arte de los vehículos submarinos no tripulados y sus correspondientes escenarios operativos. En base a esta revisión se desarrolla una propuesta de vehículo modular, definiendo las características de los diferentes módulos y su arquitectura de control.

1. Introducción

La guerra entre Rusia y Ucrania está demostrando la enorme ventaja táctica que presentan los sistemas submarinos no tripulados de bajo coste en escenarios de guerra híbrida y guerra multidominio [1], pues permiten la obtención de datos de enorme importancia en el entorno en el que actúan, con las consiguientes ventajas desde el punto de vista de la seguridad y el dominio marino en la zona en conflicto [2].

Ello justifica la importancia de la investigación en el desarrollo de nuevos conceptos de plataformas navales no tripuladas de bajo coste adaptables a las distintas situaciones operativas.

Asimismo, el avance hacia una autonomía total de los vehículos autónomos marinos (tanto de superficie como submarinos), constituye una de las prioridades básicas en investigación tanto de la Armada como de la sociedad civil [3]. La definición de sistemas autónomos, que sean capaces de adaptarse a un ambiente dinámico y hostil, como lo es el medio marino, tiene si cabe más relevancia en un escenario de guerra híbrida y multidominio. En este sentido, los *Unmanned Marine Vehicles* (UMVs) presentan una enorme versatilidad de uso [4], lo que los hace especialmente interesantes para la Armada, como lo demuestra el hecho de que aparezcan dentro de las áreas y

subáreas definidas en la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa EITD-2020 [5].

El objetivo principal del presente trabajo consiste en dar a conocer los resultados de los primeros seis meses del proyecto de investigación del Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar (CUD-ENM), *Modular Autonomous Underwater Vehicle* (MoAUV). El objetivo principal de este proyecto es desarrollar nuevos conceptos y técnicas de fabricación de vehículos no tripulados submarinos modulares. En particular, este trabajo esboza el estado del arte de los vehículos submarinos no tripulados, así como los escenarios operativos más habituales tanto en aplicaciones militares como civiles. Finalmente, en base al resultado de este estudio se define una propuesta inicial de vehículo submarino no tripulado modular, así como las características de sus arquitecturas de comunicación y control.

2. Vehículos submarinos no tripulados

Esta sección pretende describir de forma básica los diferentes tipos de vehículos submarinos no tripulados.

2.1. Vehículo operado remotamente (ROV)

Los vehículos operados remotamente (*remote operated vehicle* ROV) son aquellos que están controlados por un operador, bien desde una unidad de superficie o desde un submarino. Normalmente, el control de estos vehículos se lleva a cabo de forma filo guiada, es decir, a través de un cable umbilical, que desde la unidad nodriza mantiene una conexión de datos y energía. Estos vehículos se clasifican en función de su uso en: (i) de observación, (ii) de trabajo, y (iii) para usos especiales. Más información sobre estos puede encontrarse en [6].

2.2. Vehículo submarino autónomo (AUV)

Los vehículos submarinos autónomos (*autonomous underwater vehicle* AUV) son aquellos vehículos no tripulados que operan de forma autónoma, sin conexión directa (cable umbilical) con una unidad nodriza. En comparación con los ROV, el hecho de prescindir de una conexión directa con la unidad nodriza, permite a los AUV llevar a cabo misiones a mayor distancia, a la vez que eliminan la problemática asociada a la posibilidad de enredarse del cable umbilical de los ROV. Por otro lado,

los AUV tienen una menor autonomía y mayor peso, ambos factores íntimamente ligados a los necesarios sistemas de almacenamiento de energía (baterías) que deben equipar.

2.3. Planeador submarino (Glider)

Los planeadores submarinos, conocidos también por su nombre en inglés (*gliders*), son un tipo particular de AUV que carece de un sistema de propulsión activo. Los gliders se desplazan “planeando” a través de la columna de agua, empleando la fuerza de sustentación que le proporcionan sus alas y la fuerza ascendente o descendente producida al variar su lastre de forma activa.

3. Escenarios operativos

Otro aspecto fundamental en el ámbito de este trabajo son los escenarios operativos en los que los UUV se desempeñan [7], [8].

3.1. Aplicaciones en defensa y seguridad

Inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR): extender el radio de acción de sus plataformas nodrizas en aguas no accesibles o en conflicto. Las misiones ISR pueden desempeñar tareas como: (i) recolección de inteligencia táctica y continua; (ii) detección y localización de sustancias NBQE; (iii) monitorización de las zonas próximas a la costa y a los puertos; (iv) posicionamiento de sensores de monitorización remota; y (v) cartografía de reconocimiento y detección de objetos.

Guerra contra minas (MCM): establecer de forma segura y rápida rutas y pasillos de tránsito dentro de zonas minadas. Las misiones MCM pueden desempeñar tareas como: (i) reconocimiento; (ii) desminado; (iii) limpieza directa e indirecta; y (iv) protección.

Guerra antisubmarina (ASW): actuar como armas disuasorias, realizando patrulla, detección, rastreo, seguimiento y disuasión de vehículos submarinos adversarios. Las misiones ASW pueden desarrollar tareas como: (i) monitorización de submarinos en un determinado entorno; (ii) asegurar la protección de grupos de ataque o de expedición contra amenazas submarinas; y (iii) protección de zonas de tránsito contra amenazas submarinas.

Inspección/identificación: inspeccionar cascos de buques, instalaciones portuarias e instalaciones críticas en busca de objetos extraños (como minas o explosivos). Este tipo de misiones son llevadas a cabo mayormente por buzos hoy en día, siendo tareas complejas y no exentas de riesgo (baja visibilidad, enredo de líneas de aire, acceso a zonas de alto riesgo) por lo que el reemplazo de estas operaciones por ROV o UUV presenta una clara ventaja.

Oceanografía: llevar a cabo misiones de reconocimiento en zonas someras cercanas a la costa, donde los buques oceanográficos convencionales no pueden acceder. Este tipo de misiones pueden llevar a cabo tareas tales como: (i)

cartografiado del fondo marino; (ii) batimetrías; (iii) adquisición de imágenes acústicas; (iii) adquisición de imágenes; (iv) perfilado y caracterización del lecho marino; y (v) caracterización de la columna de agua.

Comunicación/Nodo de Red de Navegación (CN3): establecer redes de comunicación y apoyo a la navegación submarina, actuando como nodos de comunicación en redes de transmisión de datos submarinas, desplegar antenas de comunicación o actuar como estaciones de comunicación. Entre las tareas que pueden llevar a cabo este tipo de misiones encuentran: (i) desplegar transpondedores, (ii) actuar como nodos de posicionamiento GPS subacuático; (iii) actuar como marcadores/indicadores de ruta.

Apoyo logístico: emplear UUV de grandes dimensiones para dar cobertura logística a otro tipo de misiones, de forma clandestina y sin exponer plataformas de alto valor.

Operaciones de información: la función de estas misiones puede ser: (i) actuar como nodos de ataque de guerra electrónica, atacando o distorsionando equipos electrónicos, de posicionamiento y comunicación; y (ii) actuar como señuelos para vehículos submarinos enemigos.

Arma de acción rápida: disponer de sistemas de armas que tengan una capacidad de respuesta rápida (del orden de segundos en su tiempo de reacción en lugar de minutos), permitiendo además alejar el riesgo operativo de la plataforma nodriza de alto valor.

Otro tipo de escenarios: se identifican otro tipo de escenarios posibles como pueden ser: plataformas de experimentación submarinas; penetración en avance en campos de minas; búsqueda y rescate de submarinos; actuar como señuelos en la guerra antisubmarina; apoyo a operaciones especiales; y monitorizar infraestructuras submarinas.

3.2. Aplicaciones civiles

Industria petrolífera: llevar a cabo campañas de muestreo y prospección de recursos petrolíferos, así como labores de inspección y mantenimiento en aguas profundas.

Instalación e inspección de cables submarinos: asistir a a buques cableros en las tareas de instalación, inspección y reparación de cables submarinos, tanto en superficie como enterrados.

Inspección en la industria nuclear: desarrollar tareas de inspección de instalaciones nucleares críticas, así como llevar a cabo tareas de mantenimiento, intervención y desmantelamiento de instalaciones nucleares, pudiendo incluso actuar dentro del reactor nuclear.

Recuperación de pecios: llevar a cabo campañas de exploración, recuperación de carga, colocación de

explosivos o la manipulación de elementos en pecios hundidos.

Acuicultura: llevar a cabo tareas de patrulla y disuasión de intrusiones a las granjas, así como operaciones de vigilancia y mantenimiento de las instalaciones o la recuperación de ejemplares muertos.

Renovables marinas: llevar a cabo labores de mantenimiento, inspección y asistencia durante la instalación, operación y desmantelamiento de instalaciones de generación de energía marina como parques eólicos marinos o planta de energía ondumotriz o mareomotriz.

Minería submarina: llevar a cabo campañas de muestreo y prospección de recursos minerales, así como labores de explotación y acondicionamiento en zonas de minería submarina.

Vigilancia marítima: llevar a cabo tareas de vigilancia y monitorización del espacio marítimo, en particular en zonas de especial afección por actividades ilegales como el tráfico de personas, el contrabando, la piratería, la pesca ilegal o la presencia de contaminantes del medioambiente.

Sistemas de observación marina: llevar a cabo la instalación, posicionamiento, mantenimiento y recuperación de estaciones remotas de monitorización del medioambiente marino.

Arqueología submarina: apoyar a los arqueólogos en las tareas de reconocimiento y exploración de yacimientos arqueológicos situados en zonas inundadas o bajo el mar.

4. Subsistemas

Este epígrafe pretende realizar una aproximación a algunos de los sistemas más habitualmente presentes en los UUV en los UUV [7].

Control de lastre: este sistema permite al UUV operar con una flotabilidad neutra o casi neutra, de tal forma que el casco del vehículo se mantenga en posición horizontal cuando se encuentra en superficie. Los sistemas de lastre fijo emplean plomo y espuma de alta resistencia para fijar la distribución de lastre/flotabilidad a lo largo del vehículo y pueden adaptarse a las diferentes necesidades de carga útil. Los sistemas de lastre variable, por el contrario, permiten variar el volumen de lastre dentro del vehículo, de tal manera que este puede compensar de forma activa su nivel de lastre, bien sea para regular su profundidad de navegación, para modificar la velocidad de ascenso/descenso, o para adaptarse a la descarga de una carga útil.

Energía y potencia: el sistema encargado de proveer al UUV de energía y potencia es el que limita dos parámetros fundamentales en la operación de este tipo de vehículos. La energía será la que limite el alcance o duración máxima de la misión con la que el vehículo puede operar dentro de unos márgenes de seguridad. Típicamente, este tipo de sistemas suelen estar constituidos por baterías de litio y los

sistemas electrónicos de control de carga y regulación del consumo energético. Aunque, también pueden emplearse combustibles líquidos y pilas de combustible, o baterías alcalinas. En el caso particular de los *Gliders*, el sistema de energía y potencia es también el sistema de maniobra, ya que estos vehículos suelen modificar la posición interna de su bloque de baterías para cambiar la posición del centro de gravedad del vehículo y así poder maniobrar en balanceo y cabeceo.

Propulsión: los sistemas de propulsión de los AUV tipo torpedo y los ROV se basan, principalmente, en hélices accionadas por motores eléctricos. La tendencia actual es a emplear motores eléctricos sin escobillas, ya que aumenta considerablemente la eficiencia del sistema de propulsión, a la vez que permiten un mayor control, además de ser más robustos y resistentes. Los rangos de velocidad habituales para un AUV de 21 pulgadas (0,533 m) rondan los 6 nudos. Como excepción están los *Gliders*, que como se han mencionado anteriormente, emplean un sistema de propulsión sin hélices o elementos móviles externos.

Navegación y posicionamiento: el uso de sistemas de navegación y posicionamiento mediante GPS no es posible en vehículos submarinos más allá del entorno muy próximo a la superficie, pues la señal GPS se ve atenuada por el agua de mar. Alternativamente los UUV emplean sistemas de posicionamiento inercial y mediante la estima de su deriva. Para esto emplean el efecto Doppler de la velocidad del sonido en el agua, bien con respecto a posiciones conocidas en el fondo marino, bien empleando posiciones relativas a sonidos identificados previamente.

Maniobra: la maniobra de los UUV se lleva a cabo, generalmente, mediante el empleo de superficies deflectoras móviles, empleando el sistema de propulsión principal o mediante pequeños propulsores vectoriales. Como excepción están los *Gliders*, que consiguen maniobrar cambiando la posición de su centro de gravedad, modificando la posición de algún elemento pesado en su interior (generalmente las baterías).

Otros sistemas: otros sistemas que pueden incorporar los UUV son: el casco de presión, el casco hidrodinámico, los sistemas de detección y evasión de obstáculos, los sistemas de comunicaciones y los mástiles.

5. Concepto de vehículo modular

En base al análisis del estado del arte llevado a cabo en el proyecto MoAUV y resumido brevemente en los apartados anteriores, se replantea el concepto clásico de UUV, dónde tradicionalmente los vehículos se diseñan de una forma integral y orientada a misiones concretas.

El concepto de vehículo modular propuesto por MoAUV plantea el uso de una serie de elementos comunes e intercambiables (módulos), de tal forma que estos puedan emplearse en una serie de configuraciones *standard* orientadas a diferentes tipos de escenarios operativos.

5.1. Módulos tipo

Estudiados los subsistemas más habituales de un UUV y el uso que de estos se hace en los diferentes escenarios operativos, se propone una plataforma modular la cual se estructura en torno a los siguientes módulos (Figura 1):



Figura 1. Módulos propuestos por MoAUV.

Módulo de control de lastre: este módulo es el encargado de controlar de forma activa la flotabilidad del vehículo. Emplea un sistema hidráulico con una vejiga flexible ubicada entre el casco de presión y el casco hidrodinámico. Permite la regulación de la presión del aceite hidráulico en el interior de la vejiga para ajustarse a la profundidad que se quiera alcanzar.

Módulo de energía, potencia y control de orientación: es el encargado de proveer de energía al resto de sistemas del vehículo y en él se encuentran tanto las baterías de litio como el sistema de regulación y control de carga de las mismas, así como de regulación y control de la calidad de la energía suministrada al resto de módulos. Además, este módulo se ha diseñado de tal forma que el bloque de baterías pueda desplazarse y rotar sobre su eje longitudinal, variando así el centro de gravedad del módulo. Esta característica permite a este módulo controlar los ángulos de cabeceo y guiñada del vehículo, para lo que integra un sensor de posicionamiento inercial.

Módulo de propulsión: integra un sistema de propulsión mediante una hélice trasera, así como propulsores vectoriales para aumentar la maniobrabilidad del vehículo. Este módulo se ubica a popa del vehículo, pudiendo contar con un submódulo de maniobra que se podría posicionar a proa, el cual sólo emplearía propulsores vectoriales.

Módulo navegación y comunicaciones: este módulo integra el cerebro, propiamente dicho, del vehículo y se encargaría de: la navegación y posicionamiento del vehículo, el control de la carga útil y de los sensores y elementos externos a los módulos principales. Además, se encarga de la gestión, coordinación y control a un nivel superior de cada uno de los módulos individuales.

5.2. Arquitectura de comunicación y control

Para controlar el vehículo se propone una arquitectura de comunicación y control basada en protocolos de ethernet (empleando wifi, bluetooth y/o conexiones cableadas), así como un protocolo tipo maestro-esclavo. De esta forma, un módulo de un mismo tipo podría emplearse de forma

aislada o colectiva. Cuando una configuración de vehículo emplea más de un módulo del mismo tipo, uno de estos actuará como maestro siendo los demás esclavos de este. El módulo que actúa como maestro es a su vez el que mantiene las comunicaciones con el módulo de navegación y posicionamiento.

6. Conclusiones

Este trabajo presenta los resultados de los primeros seis meses del proyecto MoAUV, donde se define un nuevo concepto de vehículo submarino no tripulado modular. Se aborda un estudio del estado del arte relativo al ámbito de actuación planteado en el proyecto, cubriendo: los vehículos submarinos no tripulados, los tipos de escenarios operativos más habituales en aplicaciones tanto militares como civiles y los diferentes tipos de subsistemas.

Agradecimientos

Este trabajo se llevado a cabo con el apoyo financiero del proyecto de investigación del Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval militar (CUD-ENM) con referencia (PICUD-2022-06).

Referencias

- [1] T. Zieliński, «Drones in Military Conflicts. Are Unmanned Aircraft Systems the Future of Wars?», presentado en Challenges to National Defence in Contemporary Geopolitical Situation (CNDCGS'2022), Vilnius, Lithuania, 16/11 2022, pp. 33-35.
- [2] L. Bazzarello *et al.*, «Remote Passive Acoustic Barrier with Maritime Unmanned Systems: Preliminary Tests During REPMUS-21», en *Technology and Science for the Ships of the Future*, Genoa-La Spezia, Italy: 01/09/2022. doi: 10.3233/PMST220036.
- [3] D. T. Terracciano, V. Manzari, M. Stifani, B. Allotta, A. Caiti, y G. Casalino, «SEALab current research trends: Maritime Unmanned Systems for dual-use applications», presentado en TC19 International Workshop on Metrology for the Sea (IMEKO TC-19), Genova, Italy, 5/10 2019, pp. 303-308.
- [4] J.-Y. Wang y W. Ke, «Development Plan of Unmanned System and Development Status of UUV Technology in Foreign Countries», *Journal of Robotics and Control (JRC): Vol 3, No 2 (2022): March, 2022*, doi: 10.18196/jrc.v3i2.10201.
- [5] SDG PLATIN, «Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa 2020». Ministerio de Defensa, 28 de enero de 2021.
- [6] Y. He, D. B. Wang, y Z. A. Ali, «A review of different designs and control models of remotely operated underwater vehicles», *Measurement and Control*, vol. 53, n.º 9-10, pp. 1561-1570, 2020.
- [7] R. W. Button, J. Kamp, T. B. Curtin, y J. Dryden, *A Survey of Missions for Unmanned Undersea Vehicles*. Santa Monica, USA: RAND Corporation, 2009.
- [8] A. Maguer *et al.*, «Ocean gliders payloads for persistent maritime surveillance and monitoring», en *2013 OCEANS - San Diego*, sep. 2013, pp. 1-8. doi: 10.23919/OCEANS.2013.6740952.