

Robots móviles

Robótica submarina

Ingeniería robótica

Daniel Abellán Sánchez
Alejandro Hinke Navarro
Joaquín Marín Ortuño
Néstor Morales De la Fuente

Introducción

Más de dos tercios de la tierra está cubierta por agua. A través del océano se puede realizar el transporte de personas, productos y materias entre países (alimentos, petróleo, gas etc.).

Debido a la aparición de nuevas tecnologías, la comprensión del océano profundo está creciendo.

Sin embargo, actualmente solo se conoce el 5% del total del océano.

La primera exploración submarina de carácter científico se realizó en 1960 con el Batiscafo Trieste.

Para ello se utilizaron vehículos submarinos controlados por humanos desde su interior. En los últimos años, debido a la aparición de robots submarinos ha comenzado una revolución en el campo de la exploración de los fondos marinos.

La robótica submarina enfocada a la exploración proporciona mejor información sobre el fondo marino que otros métodos superficiales. Además de la exploración, también se puede usar para intervenir en desastres ambientales como fugas de equipos petroleros, limpieza del fondo del mar etc.

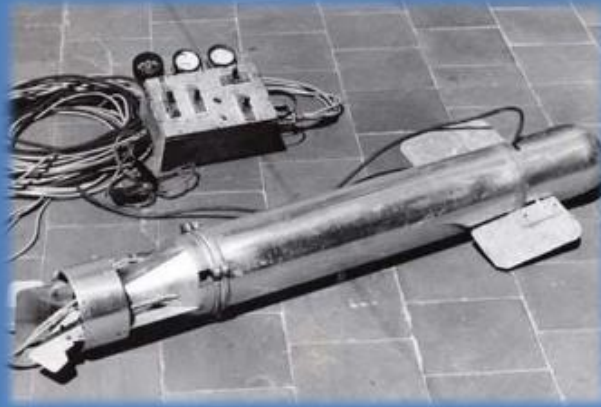
La historia de los robots submarinos empezó a principios de la década de 1950 con la construcción del robot submarino de control remoto POODLE, desarrollado por Dimitri Rebikoff. Desde aquel momento, se han desarrollado varios robots autónomos y de control remoto.

History

Dimitri Rebikoff –
inventor / oceanographer



Poodle - First ROV 1953



[1]

FIGURA 1: REBIKOFF Y EL POODLE

Clasificación

Los robots submarinos se pueden clasificar por su nivel de autonomía, el tipo de misión a realizar y su sistema de propulsión.

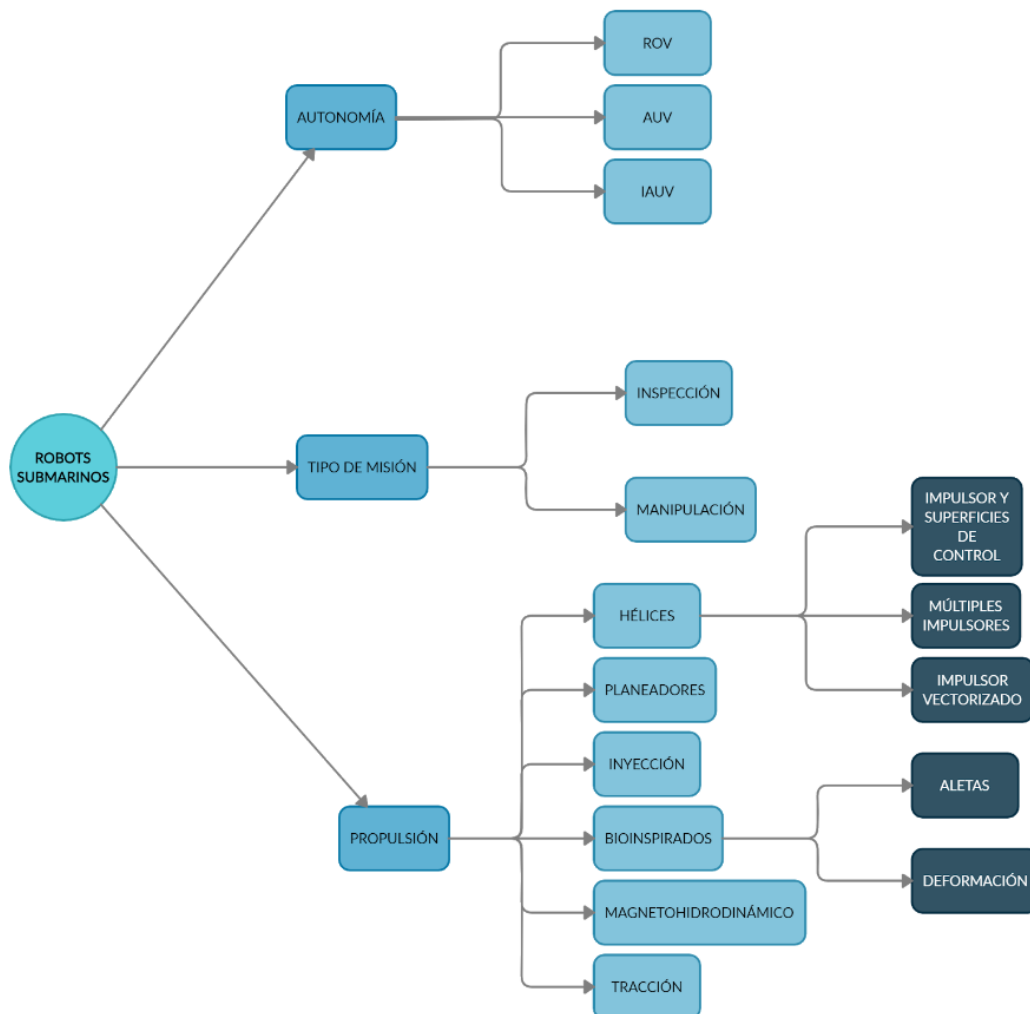


FIGURA 2: CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS SUBMARINOS

El principal método de clasificación de robots submarinos se basa en su grado de autonomía. Hay robots de tipo AUV (Autonomous Underwater Vehicle) totalmente autónomos y otros robots que deben ser controlados. Este último tipo de robots son los ROV (Remote Operated Vehicle). Por otro lado, está IAUV (Intervention AUV), que se puede considerar en un nivel intermedio de autonomía. El objetivo final de estos robots es ser completamente autónomos y que los operadores solo tengan que definir tareas al principio a través de comandos de alto nivel.

También se puede clasificar a los robots submarinos según el tipo de tareas que deben realizar. Pueden ser de manipulación (o intervención) o de inspección (u observación). La principal diferencia entre estos tipos de robots es que los que pertenecen al primer grupo deben tener herramientas de

algún tipo (como, por ejemplo, brazos robóticos). Las tareas que se tengan que realizar definirán los tipos de sensores, actuadores y estructuras que tiene que tener el robot.

El sistema de propulsión de un robot de tipo submarino determina el tipo de movimiento y manipulaciones que puede realizar el robot. El tipo de sistema de propulsión también afecta el consumo de energía, que es un apartado crítico en las tareas submarinas. El tipo de propulsión también afecta al hardware del robot y el impacto que tiene este en el entorno marino. Los principales sistemas de propulsión son:

- Hélices de hélice.
- Planeadores basados en sistemas de lastre y aletas.
- Hélices de inspiración biológica.

Hay algunas tecnologías en etapa experimental, pero no están lo suficientemente maduras, como por ejemplo la inyección de agua y la magnetohidrodinámica. Otro sistema de propulsión es el remolque con el fondo marino o con otras superficies como el casco.

Clasificación según el tipo de misión

Los robots submarinos están diseñados para realizar tareas bajo el agua. Estas tareas se pueden realizar durante la navegación o al llegar a una posición previamente fija a través de algún tipo de manipulador. Desde esta perspectiva, los robots pueden realizar dos tipos de tareas distintas (que a veces van relacionadas):

Misiones de inspección

Son tareas que se realizan durante la navegación de robots submarinos. En estas tareas, no es necesario un brazo manipulador ni ningún mecanismo para interactuar con el entorno. Una tarea de inspección puede incluir lo siguiente:

- Usar una o más cámaras para adquirir imágenes mientras el robot navega por el agua.
- Observar el lecho marino.
- Adquirir datos del mapeo acústico.
- Conseguir información sobre la calidad del agua.
- Inspeccionar instalaciones ya sean fijas (como por ejemplo estructuras metálicas, tuberías, cables etc.) o móviles, como por ejemplo naves submarinas.

Misiones de manipulación

Son aquellas tareas de robots submarinos en las que intervienen herramientas o brazos robóticos. Para desarrollar estas tareas, en el caso de utilizar robots de tipo ROV, tiene que existir un sistema de visión en tiempo real que proporcione a los operadores imágenes en tiempo real del entorno por

el cual se está moviendo el robot. Las tareas típicas que suelen realizar los robots submarinos en el área de manipulación son:

- El mantenimiento de estructuras submarinas.
- La apertura y cierre de válvulas en instalaciones submarinas.
- Desactivación de minas.
- Montaje y desmontaje de componentes y estructuras.
- Recogida de muestras para investigación arqueológica, geológica o ecológica.
- Intervención en desastres para controlar la fuga de agentes contaminantes.
- Brindar apoyo para el rescate de personal.

Clasificación según el tipo de propulsión

El sistema de propulsión permite a los robots submarinos avanzar en un entorno acuático. Los elementos que generan fuerzas y los que controlan la dirección de éstas se consideran parte del sistema de propulsión. Aunque la mayoría de sistemas de propulsión de robots submarinos están formados por propulsores de hélice, también se pueden impulsar mediante aletas móviles, sistemas de lastre etc.

En este trabajo se procede a describir los propulsores de hélices porque son los más comunes.

Propulsores de hélices

Los sistemas de propulsión por hélice y motores son los utilizados en la mayoría de robots submarinos. En general, tiene un motor eléctrico unido a una hélice. A causa de la diferencia de presión resultante, la hélice giratoria produce un efecto de empuje al mover el fluido de delante hacia atrás.

El modelo matemático del propulsor es solo un método aproximado para describir su desempeño, porque muchos factores afectan a su funcionamiento, como por ejemplo la forma, diámetro y área de la pala, área de la tubería, velocidad de rotación de la hélice, corriente en el ambiente, densidad del agua, viscosidad etc.

En muchas ocasiones se utiliza un modelo matemático simple del impulsor en el que la fuerza de este es proporcional al cuadrado de la velocidad angular de la hélice, que a su vez, es proporcional al voltaje del motor. La suposición anterior es que la dinámica del impulsor tiene una constante de tiempo mucho menor que la dinámica del vehículo.

Los beneficios que tiene este sistema de propulsión hace que sea el más usado en los robots submarinos. La problemática que tienen este tipo de propulsores es que generan mucho ruido en el medio marino, lo que altera la vida acuática.

Enfoque técnico

La plataforma SWARMS trata de integrar y coordinar las funcionalidades de diferentes AUVs/ROVs, e intercambiar información entre ellos a modo de red, durante la operación submarina configurada individualmente entorno a su complejidad. La plataforma SWARMS se distribuye en los diferentes métodos que forman parte de la misión:

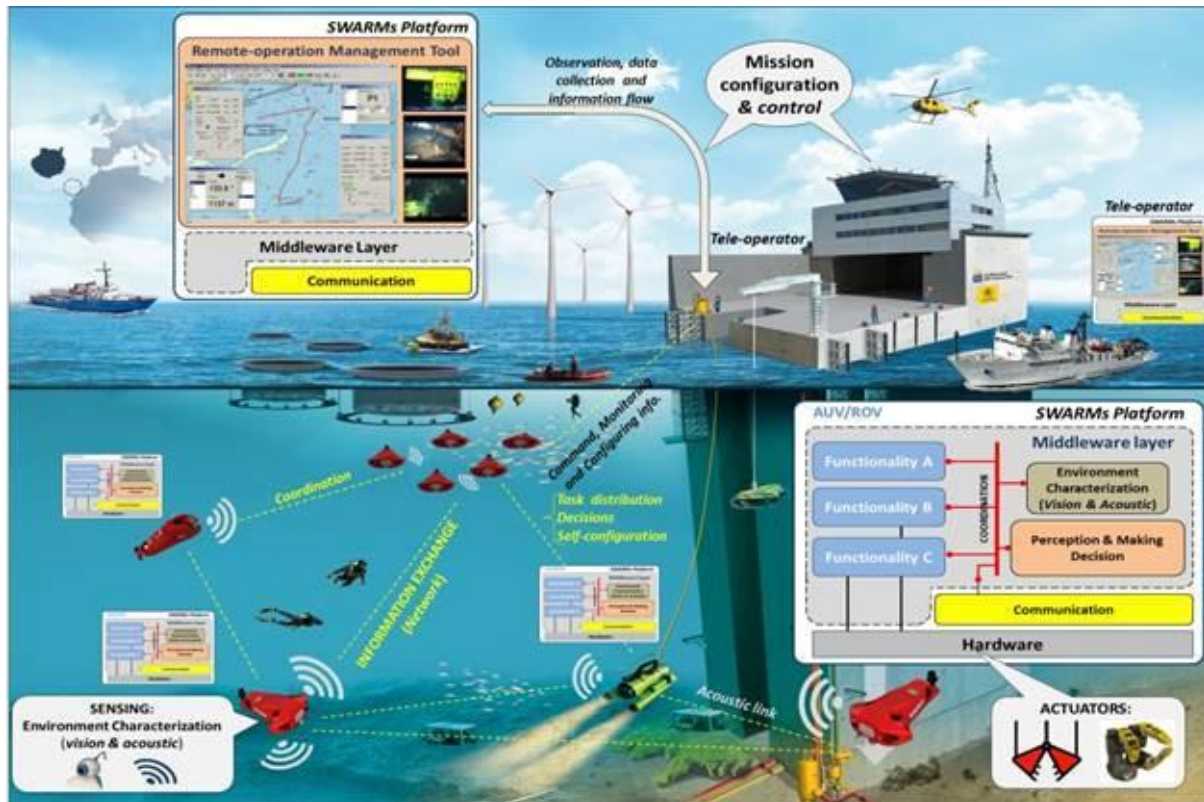


FIGURA 3: ESQUEMA TÉCNICO

La imagen anterior muestra una (en la esquina superior izquierda, y ubicado en la centralita en la parte superior derecha), junto a los componentes de operación submarina (vista en la parte inferior) así como los links de la red, donde las líneas de color amarillas representan la transmisión de información.

Una nueva generación de integración con la plataforma se está diseñando en SWARMS, la cual se implementará, para facilitar la cooperación de los AUVs/ROVs/USVs implementados, con el fin de aumentar su autonomía llevando a cabo tareas sofisticadas en altamar. Particularmente en tareas de mantenimiento de construcciones submarinas, cómo se especificará más adelante en los ejemplos prácticos.

Para ello, es necesario desarrollar una arquitectura semántica cognitiva y abierta, así como su plataforma para desarrollar la red de los AUVs/ROVs/USVs. Dicha plataforma permitirá la exportación de funcionalidades de diferentes vehículos como servicios, que se pueden orquestrar para diferentes misiones, adaptándose a las necesidades de dicha misión. Esta red permite a

vehículos de diferentes empresas compartir funcionalidades de una manera transparente, así como independiente. Se trata de proporcionar las herramientas necesarias para que se consiga la tarea.

SWARMS confía la plataforma a la creación, monitorización y control de la misión; para (re)distribuir, (re)configurar, (re)sincronizar y (re)planificar las actividades de manera automática y a tiempo real.

El enfoque técnico de SWARMS considera los siguientes objetivos:

1. Set de componentes Software/Hardware distribuidos, integrados y coordinados de manera que permitan a diferentes AUVs/ROVs de diferentes fabricantes integrar funcionalidades de una manera transparente.
2. Un set de componentes inteligentes para la percepción, toma de decisiones y reconocimiento del entorno capaces de asistir a los vehículos (robots autónomos) de caracterizar el entorno, incluyendo también artefactos.
3. Mejora de la tecnología de comunicación como base para la cooperación e intercambio de información entre vehículos, así como la sensorización (de visión y acústica).
4. Mejora de los servicios de control, y hardware, para asistir en la ejecución de las tareas de las misiones, dando permiso a la plataforma SWARMS para controlar, crear, monitorizar y manejar aquellas actividades de manera automática en tiempo real.

Para lograr los objetivos propuestos en SWARMS, el trabajo necesario a desarrollar dentro del proyecto se organiza en nueve Paquetes de Trabajo diferentes, que se enumeran a continuación.

- WP1 – Gestión
- WP2 - Diseño de operaciones autónomas: Requisitos, metodología de diseño, verificación y validación, se enfoca en identificar requerimientos y casos de uso, y desarrollar una metodología para el diseño, verificación y validación eficiente de operaciones submarinas autónomas.
- WP3 - Arquitectura y especificación de coordinación, incluye el diseño de una plataforma para implementar funciones autónomas utilizando componentes generales de hardware y software para construir AUV / ROV submarinos cooperativos, es decir, a través de un middleware semántico que facilita la gestión, monitoreo y control de SWARMS AUV / ROV en red.
- WP4 - Reconocimiento y detección del entorno, incluye el diseño y desarrollo de un sistema de detección del entorno donde la información de los sensores visuales, acústicos y de posición se combinan con la información recibida de otros AUV / ROV, para realizar el reconocimiento de contexto y objetos, y también el mapeo y la localización.
- WP5 - Comunicación y redes , tiene como objetivo diseñar y desarrollar un enlace de datos submarino de alta velocidad basado en transmisores / receptores acústicos para el acoplamiento inalámbrico de un AUV / ROV con un nodo de superficie / fondo de puerta de enlace, y diseñar y desarrollar una red superpuesta, por Seleccionar y adaptar protocolos robustos de comunicación de red, MAC y enlace de datos adecuados, para el intercambio de información entre vehículos cooperantes y otros elementos involucrados en una misión.
- WP6: arquitectura integrada en el vehículo y planificación de tareas, objetivos que trasladan la arquitectura del software para integrarla en AUV / ROV. Mediante la planificación concebida en WP3 para los vehículos desplegados, se supervisarán las tareas; adicionalmente también se abordará la (re) planificación y reconfiguración del

comportamiento de los vehículos por imprevistos

- WP7 - Navegación autónoma y manipulación semiautónoma, tiene como objetivo ofrecer un conjunto de funcionalidades que faciliten la teleoperación de los vehículos desplegados y, en caso necesario, simplificar las funciones de asistencia al conductor
- WP8 - Demostrador: Definición, Integración, Verificación y Validación, aborda el desarrollo y configuración de la infraestructura para llevar a cabo la demostración y validación integrada de los desarrollos de SWARMs
- WP9 - Difusión, explotación y estandarización

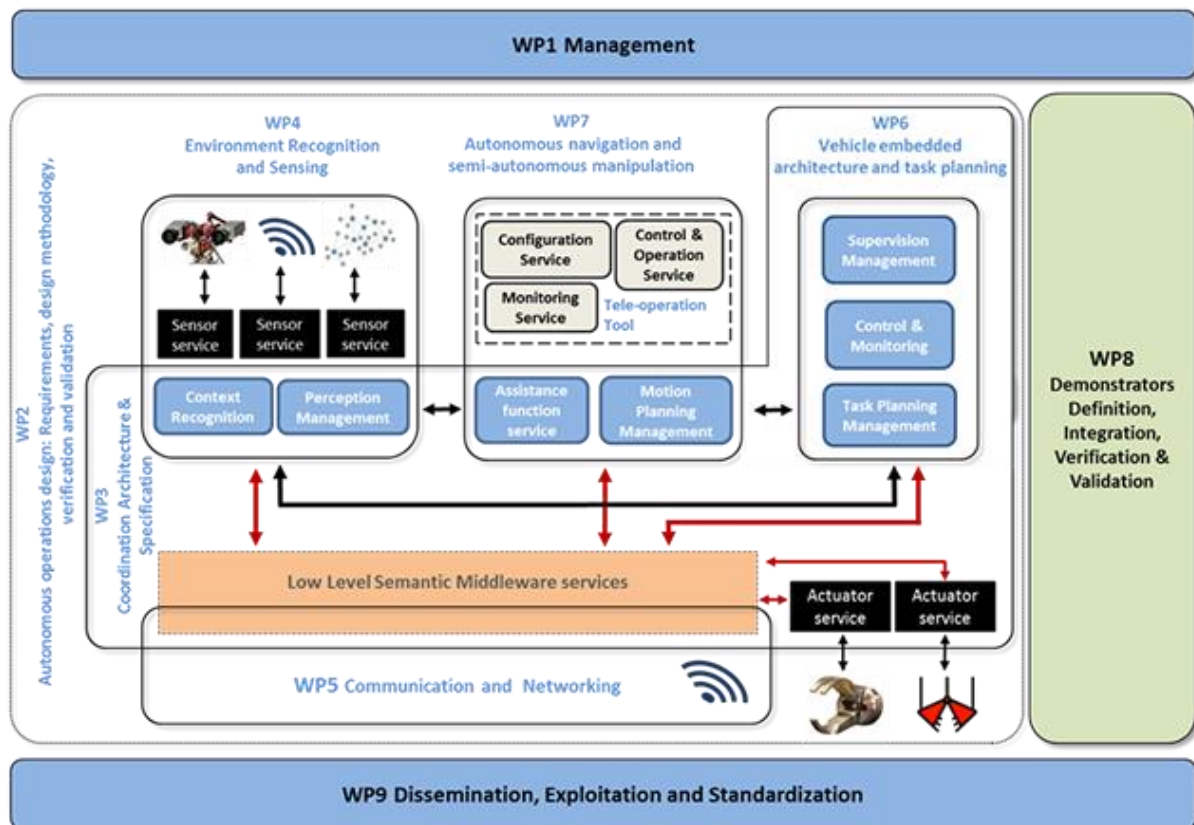


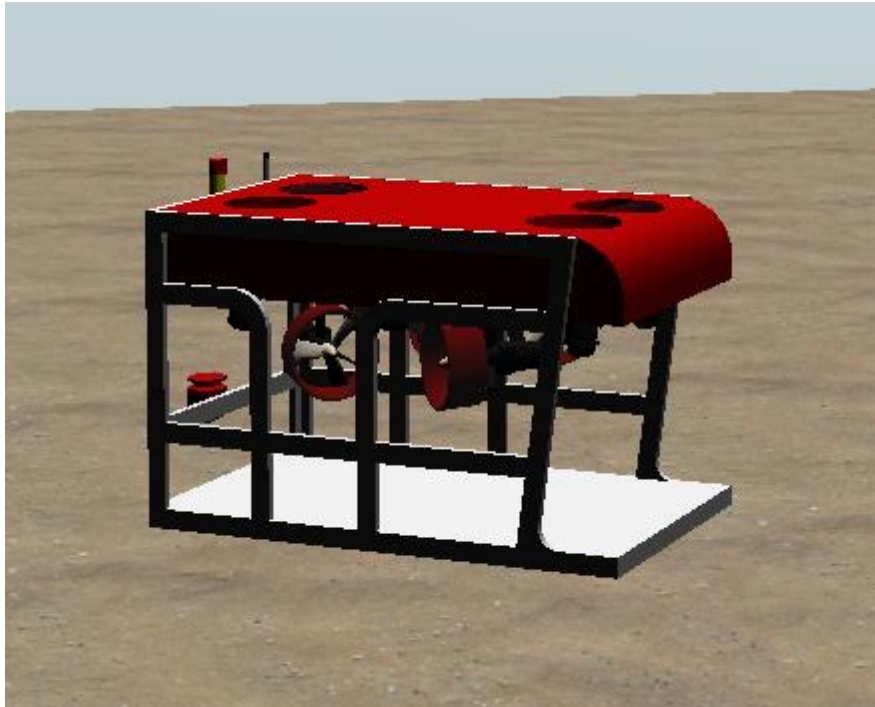
FIGURA 4: PAQUETES DE TRABAJO

Casos Prácticos

Debido a las dificultades para el ser humano al tener que realizar ciertas actividades bajo el agua, los ROVs son la herramienta empleada para que el operador pueda teletrabajar en condiciones no aptas para el bienestar del ser humano. En esta sección se resumen las principales aplicaciones de los robots submarinos:

- **Mapeo del fondo marino.** El primer avance en el mapeo de los fondos marinos se dio con el uso de proyectores de sonido submarinos "sonar". Fueron utilizados durante la Primera Guerra Mundial para detectar submarinos y torpedos enemigos. Hoy en día, los sistemas sonar mejorados ayudan a construir mapas de características importantes de los fondos marinos, como trincheras y cordilleras oceánicas. Robots submarinos autónomos también se usan para generar datasets sobre la batimetría (el estudio de las profundidades marinas) de alta resolución, datos sobre la retrodispersión magnética, óptica y de temperatura en las zonas tectónicas y volcánicas activas. Además, la industria petrolera utiliza el mapeo hecho por los robots submarinos para planear y construir sus instalaciones.
- **Monitorización sísmica de campos petrolíferos.** La monitorización sísmica frecuente es importante para la extracción del petróleo ya que este proceso puede provocar actividad sísmica indeseable y terremotos. La monitorización sísmica subterránea se puede realizar con la ayuda de robots equipados con hidrófonos que también pueden realizar análisis visual de las estructuras submarinas.
- **Inspección de represas.** Los robots submarinos se pueden usar para buscar grietas u otros daños en el hormigón.
- **Investigación y aplicaciones medioambientales.** Los robots submarinos se pueden usar para estudiar la vida marina e interactuar directamente con ella. El robot llamado COTBot (Crown-Of-Thorns Starfish Robot) busca y elimina coronas de espinas, una especie que daña la Gran Barrera de Coral. Usa una red neuronal para identificar la corona de espinas e inyecta ácido biliar para matarla.
- **Investigación de accidentes aéreos.** Los robots submarinos se han usado para investigar las áreas marinas después de accidentes aéreos para buscar restos de aviones desaparecidos. Los robots usados durante la investigación de vuelo 370 de Malaysia Airlines (2013) y vuelo 447 de Air France (2009) bajaban a la profundidad de 4500 metros y recorrían el área con una velocidad de 5.6 km/h.
- **Aplicaciones militares.** Los robots submarinos pueden usarse para varios tipos de tareas militares: colección de señales; detección y localización química, biológica, nuclear, radiológica y explosiva; monitorización de puertos; medidas contraminas y muchas más aplicaciones militares.

UUV Simulator es un paquete que contiene la implementación de complementos Gazebo y nodos ROS necesarios para la simulación de vehículos submarinos no tripulados, como ROV (vehículos operados a distancia) y AUV (vehículos submarinos autónomos). Esto quiere decir que proporciona una base “genérica” para poder añadir actuadores y sensorización hasta acercar el modelo básico al modelo real del que se dispone. En nuestro caso al ser una aproximación a la simulación y control del robot submarino no añadiremos ningún elemento más a la arquitectura base. Y tiene este aspecto:



Aunque nos hayamos referido al modelo como arquitectura básica dispone de gran cantidad de sensores con los que poder trabajar. Contiene tanto sensores para conocer el medio que lo rodea, como sensores sonar, GPS, escáneres láser y cámaras RGB, como sensores para conocer el estado interno del robot con sensores IMU, presión a la que está siendo sometido y nivel de batería.

Video

<https://drive.google.com/file/d/1xVryi8OsHiBScDy9tpoShawNKyKUvJ9y/view?usp=sharing>

Bibliografía

https://uuvsimulator.github.io/packages/uuv_simulator/intro/

<http://swarms.eu/index.html>

https://es.wikipedia.org/wiki/Batiscafo_Trieste

https://es.wikipedia.org/wiki/ROV_Sumergible