



Vehículos no tripulados.

Robot Kiva



Miguel Arenas Rocamora

Borja Pérez López

Mónica Pina Navarro

Raquel Zarraoa Sardon

Índice

| | | |
|--------|--|-----------|
| 1. | Introducción | 3 |
| 2. | Clasificación | 5 |
| 2.1. | Vehículos terrestres no tripulados (UGVs) | 5 |
| 2.2. | Vehículos aéreos no tripulados (UAVs) | 6 |
| 2.3. | Vehículos marítimo no tripulados (UUVs) | 9 |
| 2.4. | Vehículos de superficie no tripulados (USVs) | 10 |
| 3. | Aplicaciones | 12 |
| 3.1. | Aplicaciones militares | 12 |
| 3.2. | Aplicaciones de investigación | 13 |
| 3.3. | Aplicaciones civiles | 13 |
| 3.4. | Aplicaciones en la industria | 14 |
| 4. | Sistemas multi robots | |
| 5. | Robot Kiva | 18 |
| 5.1. | Introducción | 18 |
| 5.2. | Descripción técnica | 19 |
| 5.2.1. | Algoritmo | 19 |
| 5.2.2. | Sistema Multi-Agente | |
| 5.2.3. | Mapa | 22 |
| 5.2.4. | Paquete | 23 |
| 5.2.5. | Prioridad | 23 |
| 5.2.6. | Velocidades | 24 |
| 5.2.7. | Mecanismo | 24 |
| 5.2.8. | Aplicación | 27 |
| 6. | Bibliografía | 30 |

1. Introducción

La rápida evolución de la robótica móvil está siendo testigo del hecho de que los vehículos no tripulados han comenzado a expandirse en muchas áreas de gran importancia y problemática. Están presentes en ámbitos que abarcan desde, por ejemplo, la seguridad nacional y el apoyo en el campo de batalla, hasta tareas como la exploración en Marte. Generalmente, este tipo de sistemas son usados tanto para misiones tácticas como para aplicaciones civiles donde es peligroso o imposible tener un operador humano presente. Pero ¿Qué es en realidad un sistema no tripulado?

Según el **Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST)** por sus siglas en inglés, National Institute of Standards and Technology) un sistema no tripulado es:

*“Un sistema electro-mecánico, sin ningún operario humano a bordo, que es capaz de ejercer su poder para desempeñar tareas prediseñadas. Puede ser móvil o fijo. Incluye las categorías de vehículos terrestres no tripulados (**UGVs** del inglés Unmanned Ground Vehicles), vehículo aéreo no tripulado (**UAV** del inglés Unmanned Aerial Vehicle), vehículos submarinos no tripulados (**UUV** del inglés Unmanned Underwater Vehicle) vehículo de superficie no tripulado, (**USV** del inglés Unmanned Surface Vehicle), sistema de munición inteligente o munición sin supervisión (**IMS** del inglés Intelligent Munitions System o del inglés **UM** Unattended Munition) y sensores de tierra sin supervisión (**UGS** del inglés Unattended Ground Sensor). Los misiles, cohetes, y artillería no son considerados sistemas no tripulados” (NIST, 2004)*

Sin embargo, en este documento solo se profundizará en vehículos no tripulados, por lo que, en definitiva, un vehículo no tripulado es aquel que está formado por dispositivos o máquinas, ya sea por tierra, aire o agua, que están equipados con unidades de procesamiento de datos y telemetría, sensores y unidades de control automático necesarias para poder realizar misiones o tareas sin intervención

humana. Esto dejaría fuera a sistemas como los UM o UGS, ya que, no entraría dentro del concepto de vehículo.

Normalmente, esta clase de sistemas son manejados por un operario que utiliza un controlador remoto para comunicarse con el vehículo en cuestión. Desde el punto de vista de la protección y seguridad del usuario, este tipo de manejo ofrece una gran ventaja ya que, en caso de realizar trabajos o tareas en ambientes inseguros o inestables, o con sustancias potencialmente peligrosas, como químicos o explosivos, no se arriesga la integridad física del usuario.

Sin embargo, también pueden ser capaces de funcionar de manera autónoma. Este tipo de vehículos requieren la integración de diversas tecnologías que le permitan poder actuar por sí mismo sin necesidad de intervención humana. Suelen moverse por entornos ya conocidos, almacenados en el propio vehículo, o bien, si el escenario no es conocido, son capaces de crear un mapa del entorno en el que se encuentran.

Actualmente estos tipos de vehículos juegan un papel crucial en el aumento de la eficiencia, el rendimiento y la seguridad, tanto en aplicaciones civiles como militares. Incidentes como los de Fukushima y Chernobyl demostraron algunas de las ventajas que este tipo de robots presentaban. Muchos vehículos no tripulados son útiles en áreas con un alto nivel de radiación o que presentan un alto peligro de explosiones. Además, tienen la capacidad de manipular el entorno y tomar muestras que para un humano pueden resultar pesadas, ya que normalmente tienen una gran carga útil. Por otro lado, dentro de este sector, también se pueden encontrar vehículos que realizan tareas para estudios de larga duración en áreas contaminadas o que poseen la capacidad de monitorear los movimientos de una amenaza con datos en tiempo real de múltiples sensores móviles.

En resumen, son robots muy versátiles, con cada vez más protagonismo en la sociedad debido a su potencial y a su amplia aplicación en diferentes ámbitos, que permite realizar misiones que al ser humano le resultaría imposible de realizar sin poner en riesgo su propia persona.

2. Clasificación

A continuación se procede a realizar una clasificación de robots no tripulados según el medio en el que desempeñan sus funciones. Así pues, siguiendo este criterio, los vehículos terrestres no tripulados se clasifican en vehículos terrestres no tripulados, vehículos aéreos no tripulados, vehículos submarinos no tripulados y vehículos de superficie no tripulados.

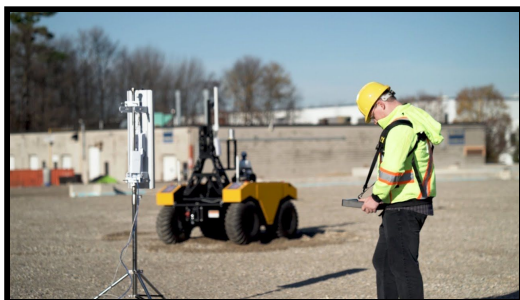
2.1. Vehículos terrestres no tripulados (UGVs)

Por definición, cuando se habla de un vehículo terrestre no tripulado generalmente se hace referencia a cualquier tipo de vehículo que está en contacto con el suelo y que puede ser conducido sin necesidad de un piloto dentro del vehículo.

Desde el punto de vista del operador, los UGVs se clasifican en dos tipos :

- Vehículos terrestres no tripulados operados a distancia

En este tipo de vehículos terrestres no tripulados el operario es capaz de obtener información a través de los sensores del robot y es él mismo el que toma las decisiones de qué hacer en cada momento. En la figura 1 se puede observar un ejemplo de vehículo terrestre no tripulado, pero que debe ser teleoperado por el usuario (figura 1a)



a)



b)

Figura 1: Ejemplo de vehículo terrestre no tripulado teleoperado

- Vehículos terrestres no tripulados autónomos



Figura 2: Ejemplo de vehículo terrestre autónomo

Sin embargo, en los UGV autónomos (figura 2), el vehículo está equipado con una serie de dispositivos como por ejemplo sensores, cámaras, sistemas de guiado que les permite navegar por el entorno y tomar decisiones por sí mismos, sin la necesidad de que un ser humano supervise la tarea que realiza.

2.2. Vehículos aéreos no tripulados (UAVs)

En la actualidad se dispone de un amplio abanico de aeronaves que cuentan con la capacidad de realizar misiones con cierto grado de autonomía. Sin embargo, debido a la llegada de esos vehículos a aplicaciones civiles, resulta difícil llegar a un acuerdo en su definición, ya que, en determinadas situaciones, es difícil determinar si un sistema concreto responde o no al concepto UAV.

Al principio de su aparición eran conocidos como RPA (“Remotely Piloted Aircraft”) o UA (“Unmanned Aircraft” o “Uninhabited Aircraft”). A día de hoy, suele emplearse

más el término de UAV(“Unmanned Aerial Vehicle”) o UAS (“Unmanned Aircraft System “).

Este tipo de denominaciones hacen referencia a la ausencia de tripulación, lo que no es necesariamente sinónimo de autonomía. Por eso se suelen emplear varias definiciones:

Por un lado, se entiende por una aeronave no tripulada (UAV: Unmanned Aerial Vehicle o también UAS: Unmanned Aircraft System o UAVS: Unmanned Aircraft Vehicle System) a aquella que es capaz de realizar una misión sin necesidad de tener una tripulación embarcada. Esta condición no excluye la existencia de piloto, controlador de la misión u otros operarios, ya que pueden realizar los diferentes trabajos desde tierra. Cuando se habla de UAVS, en el cual se utiliza el término sistemas, no solo se necesita la aeronave adecuadamente instrumentada, sino que, este concepto también abarca una estación en tierra que complementa a esta instrumentación (figura 3).

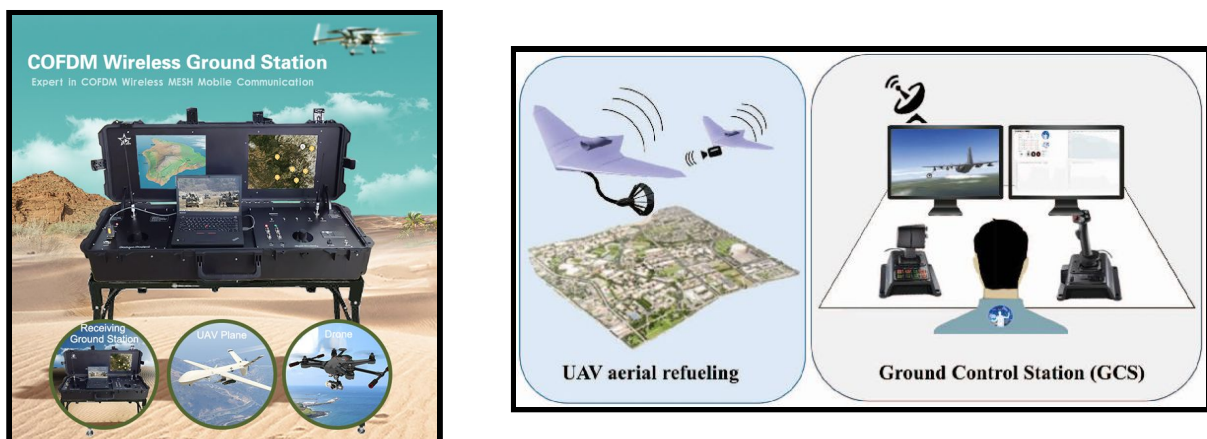


Figura 3: Estación de control en tierra para la teleoperación de UAV

La definición anterior incluiría a todos aquellos casos en los que es necesario un telecontrol de la nave. Aunque también, dentro de los UAVs, se pueden encontrar aeronaves autónomas, tal y como ocurre con los UGVs. Un sistema aéreo autónomo (AAS: Autonomous Aerial System) es aquel capaz de desarrollar la tarea sin necesidad de ninguna intervención humana (figura 4).

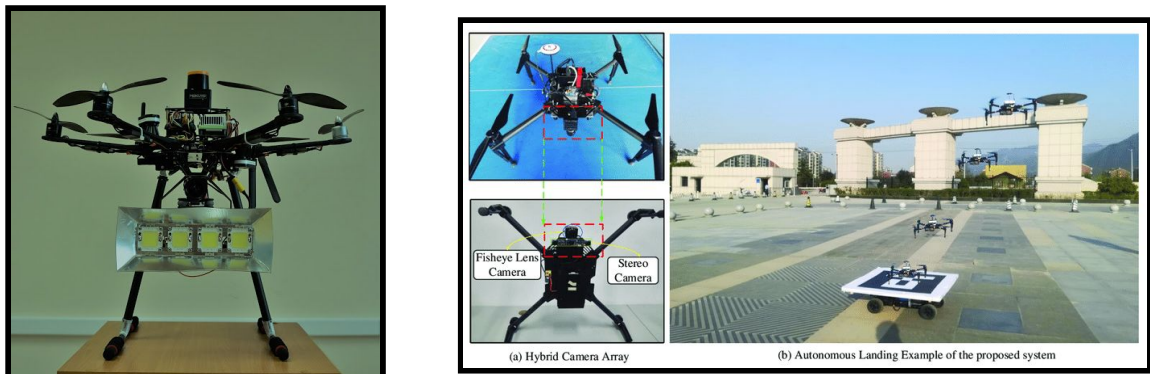


Figura 4: Ejemplo de AAS

Por lo que, teniendo en cuenta lo anterior, se podría decir que un UAV es aquel sistema físico, capaz de desplazarse de manera autónoma o semiautónomo por el aire, para realizar diferentes misiones.

Los UAV se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios. En el diagrama de la figura 5 queda representada esta clasificación, basada en el tipo de aeronave del UAV. En esta clasificación se abarca todas las aplicaciones de los UAV, tanto civiles como militares, aunque mayoritariamente este tipo de vehículos se usan en el ámbito militar. (Barriendos et al., 2007, p.3)

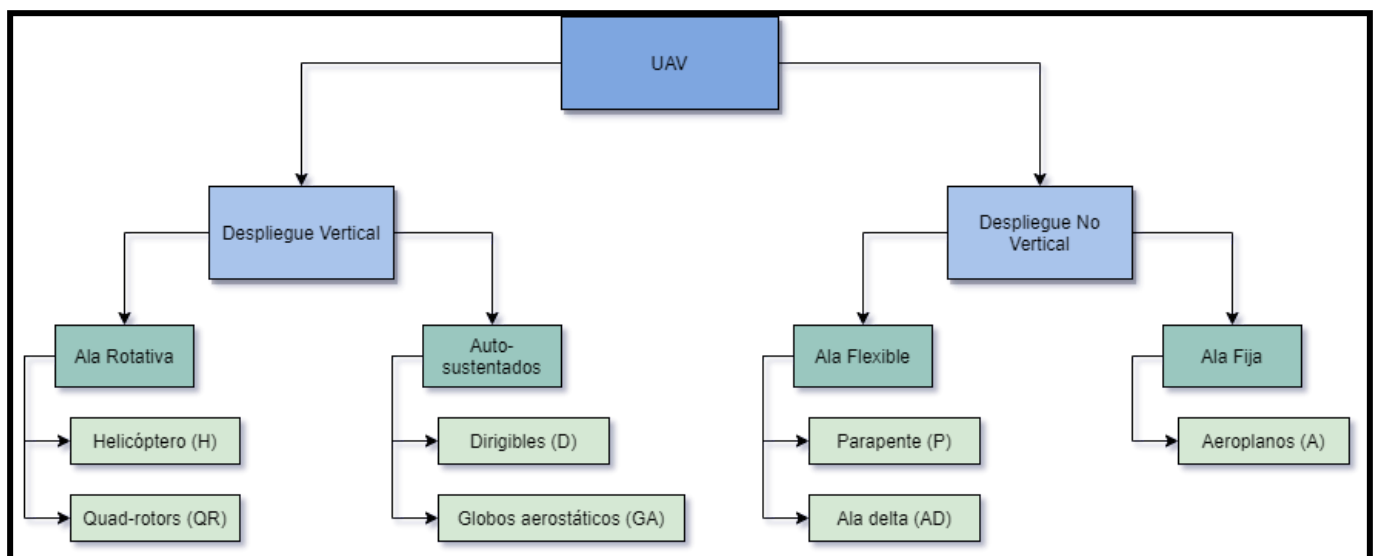


Figura 5: Clasificación basada en el tipo de aeronave del UAV

A continuación se muestran un par de ejemplos (figuras 6, 7, 8 y 9) de vehículos aéreos no tripulados:



Figura 6: Helicóptero



Figura 7: Dirigible autónomo

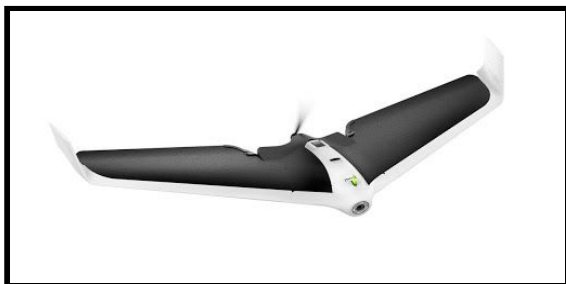


Figura 8: Ala delta



Figura 9: Aeroplano

2.3. Vehículos marítimo no tripulados (UUVs)

Los vehículos submarinos no tripulados (UUVs del inglés Unmanned Underwater Vehicle) son todos aquellos robots subacuáticos que son operados con la mínima intervención de un operario humano o sin intervención (Nautikaris, 2020). El concepto UUV sirve para describir tanto los vehículos operados remotamente (ROV Remotely Operated Vehicle), como aquellos que son autónomos (AUV Autonomous Underwater Vehicle).

Los ROV son robots teleoperados que son implementados principalmente para llevar a cabo tareas bajo el agua como por ejemplo, instalaciones, inspecciones o reparaciones acuáticas. Este tipo de vehículos se utilizan ampliamente en la industria marítima debido a las ventajas que presenta. No solo ofrece mayor seguridad a los buceadores, sino que permite realizar tareas a mayor profundidad, con una mayor resistencia, sin necesidad de un gran equipo de apoyo. Durante la realización de la misión, el ROV recibe instrucciones de un operador a bordo de un barco de superficie (o cualquier plataforma) a través de un cable amarrado o un enlace acústico, tal y como se muestra en la figura 10.

Por otro lado, los AUVs operan sin la necesidad de un operario humano que monitorice o supervise las tareas (figura 11). Esto hace que su rango de operación no esté limitado, cosa que sí pasaba con los ROVs debido al cableado necesario para la teleoperación. Esto permite que los vehículos acuáticos que funcionan de manera autónoma sean utilizados para tareas como la recopilación de datos de largo alcance.



Figura 10: Ejemplo de ROV



Figura 11: Ejemplo de AUV

2.4. Vehículos de superficie no tripulados (USVs)

Aproximadamente dos tercios del planeta tierra están cubiertos por océanos, sin embargo no se ha explorado a fondo gran parte de esta área. El cambio climático,

las anomalías ambientales y los problemas nacionales han generado una gran demanda por parte de la comunidad científica y militar de vehículos de superficie no tripulados (USVs unmanned surface vehicles) o vehículos autónomos de superficie (ASV autonomous surface vehicles). Estos sistemas se definen como vehículos marítimos no ocupados por personal, que se mantienen en contacto continuo con la superficie del agua.

Normalmente suelen utilizarse USVs semiautónomos, ya que todavía es un ámbito en desarrollo y los que son completamente autónomos presentan limitaciones en la autonomía para la falta de una navegación y un control automático que sea fiable en entornos peligrosos.

Como se ha dicho anteriormente, es un sector en desarrollo, sin embargo, a medida que los sistemas de posicionamiento global se han vuelto más eficaces, los vehículos de superficie no tripulados cada vez son más competentes y aptos para multitud de aplicaciones. Por otro lado, los sistemas de datos inalámbricos de largo alcance y el mayor ancho de banda también ha sido clave para el rápido crecimiento de los USV en muchos ámbitos y sectores.

En las figuras 12 y 13 se pueden observar dos ejemplos de vehículos de superficie no tripulados.

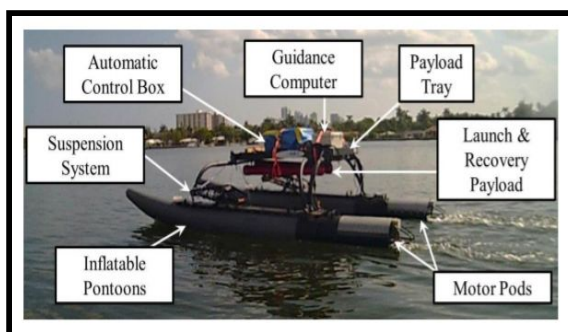


Figura 12: WAM-V USV14



Figura 13: MMSV III

3. Aplicaciones

Actualmente existen multitud de aplicaciones para los vehículos no tripulados, desde juguetes para niños hasta complejos vehículos de exploración marciana. Estas aplicaciones se pueden dividir en cuatro grupos principales: militares, investigación, civiles y de industria.

3.1. Aplicaciones militares

Los vehículos no tripulados presentan un gran número de ventajas que los hacen ideales para el uso en operaciones militares. Entre otras cosas, pueden realizar tareas peligrosas o de alta complejidad fácilmente, reduciendo costes y facilitando el éxito de las operaciones.

Dentro de este campo, los vehículos no tripulados más populares son los aéreos puesto que son los que han sufrido un mayor desarrollo. Una de sus principales aplicaciones es el reconocimiento de terreno con la ayuda de cámaras o incluso reconocimiento de bombas. Por otra parte, son muy útiles para vigilancia, puesto que son capaces de abarcar mayor terreno en poco tiempo y con un amplio ángulo de visión desde el aire. Además, estos vehículos pueden ser utilizados en operaciones de ataque aéreo o como blanco de tiro en prácticas.

Los vehículos terrestres no tripulados también son bastante comunes dentro del sector militar, en especial para la realización de tareas de alto riesgo o dificultad para las personas. Estas tareas pueden ser: reconocimiento de terreno peligroso para los soldados, transporte de mercancías y suministros, activación o desarme de explosivos de forma segura o tareas de reparación bajo fuego enemigo.

Por otra parte, están los vehículos marítimos y de superficie cuyo uso se centra más en operaciones acuáticas. Sus aplicaciones pueden ser: reconocimiento y vigilancia, nodos dentro de una red de comunicación, transporte de carga y suministros,

dispositivos para la guerra antisubmarina (encontrar y dañar o destruir submarinos) o como blancos para prácticas navales.

3.2. Aplicaciones de investigación

En el área de investigación, los vehículos no tripulados son herramientas claves puesto que permiten el acceso a zonas peligrosas o inaccesibles para los humanos, son capaces de tomar un gran número de medidas o muestras de forma eficaz y durante más tiempo.

Una de las aplicaciones más conocidas y complejas es la exploración espacial. Los vehículos no tripulados son capaces de trabajar en entornos de acceso imposible para los humanos, tomando diferentes medidas y muestras y mandando la información obtenida a la base terrestre.

De forma similar, el uso de vehículos marítimos no tripulados es muy común para el estudio del océano y el suelo oceánico, usados en aplicaciones como: toma de muestras de la concentración de diferentes elementos, estudio de la absorción o reflexión de la luz o incluso la presencia de vida microscópica.

Además, existen numerosas aplicaciones para la conservación medioambiental. Una de estas aplicaciones es la monitorización de los efectos producidos en el medioambiente por las industrias del petróleo. También es común su uso en la lucha para la conservación de especies en peligro, monitorizando el número de individuos, como medida contra cazadores furtivos e incluso tomando muestras para comprobar el estado de salud de los animales.

3.3. Aplicaciones civiles

Aunque no lo parezca, el uso de vehículos no tripulados es muy común en nuestro día a día. Una de las aplicaciones más comunes es su uso como juguetes o en competiciones. Los vehículos aéreos, o drones, son muy utilizados para la toma de vídeos o fotos tanto por profesionales como aficionados. Por otra parte, es común el uso de vehículos terrestres no tripulados como robots de limpieza o transporte.

Cada vez más, se está incluyendo el uso de estos vehículos como soporte en situaciones de emergencia: búsqueda y rescate de personas, detección y monitorización de incendios y transporte de suministros o ayuda humanitaria.

Los vehículos aéreos también se pueden utilizar en aplicaciones sanitarias, como puede ser el seguimiento de la propagación de una enfermedad o localización de aguas contaminadas para poder actuar rápidamente en esas zonas.

Estos vehículos también están siendo usados en operaciones ilegales de tráfico de drogas y otras actividades criminales, por lo que las fuerzas de la ley se han visto obligadas a incluirlos también en sus esfuerzos de lucha contra estas actividades.

3.4. Aplicaciones en la industria

Los vehículos no tripulados se están introduciendo cada vez más en las diferentes industrias. La agricultura es una de las más avanzadas utilizando estos vehículos en aplicaciones como el análisis del suelo, monitorización de los cultivos y su correcto desarrollo, cuidado de los cultivos y tareas de recolección.

Algunas de las aplicaciones en otras industrias son: transporte de materiales pesados en la industria de manufactura, mapeado de túneles en la industria minera o administración de almacenes y gestión del inventario en las cadenas de suministros.

4. Sistemas multi robots

Un sistema multi robots es una colección de dos o más robots móviles autónomos no tripulados que son capaces de trabajar juntos. En los sistemas multi robots simples se permite que los robots se coordinen entre sí para lograr algunos objetivos definidos.

En este tipo de sistemas, los robots son mucho menos capaces como unidad individual, pero el poder reside en la cooperación de múltiples robots. La simplicidad de los sistemas multi-robots ha derivado en un amplio rango de aplicaciones, como

las misiones militares (vigilancia del campo de batalla), la búsqueda de supervivientes en zonas afectadas por desastres, el transporte paralelo y simultáneo de vehículos o de cargas pesadas, etc...

Este tipo de robots cooperan simultáneamente para realizar tareas complejas que de otro modo serían imposibles de lograr para un solo robot. La teoría fundamental detrás de estos sistemas se basa en enviar subproblemas más pequeños a robots individuales que pertenecen a un grupo y estos, interactúan entre sí, para encontrar soluciones al problema más complejo.

Los sistemas multi robots presentan la ventaja de que son más rentables en comparación con otros robots en los cuales se necesita incorporar nuevas capacidades para poder llevar a cabo tareas más complejas, lo cual hace que sean más costosos.

Por otro lado, se trata de sistemas descentralizados, distribuidos e inherentemente redundantes, por lo que son tolerantes a fallos y mejoran la fiabilidad y la robustez del sistema.

Aunque la simplicidad es una de sus principales ventajas, también supone un problema adicional para la creación o el despliegue de esos sistemas, ya que pueden fallar con mayor probabilidad durante la cooperación, sobre todo en condiciones difíciles.

A continuación se presenta un caso de estudio en el cual se analiza más en detalle un tipo de vehículo no tripulado terrestre autónomo que trabaja de manera conjunta con otros robots de la misma clase, dentro de un sistema multi robot.

5. Robot Kiva

5.1. Introducción

El vehículo autónomo seleccionado fue el robot Kiva de Amazon, el cual trabaja en sus almacenes. Como se observa en el esquema de la Figura 20, se trata de un sistema de transporte encargado de clasificar las estanterías y así llevar los productos a su destino.

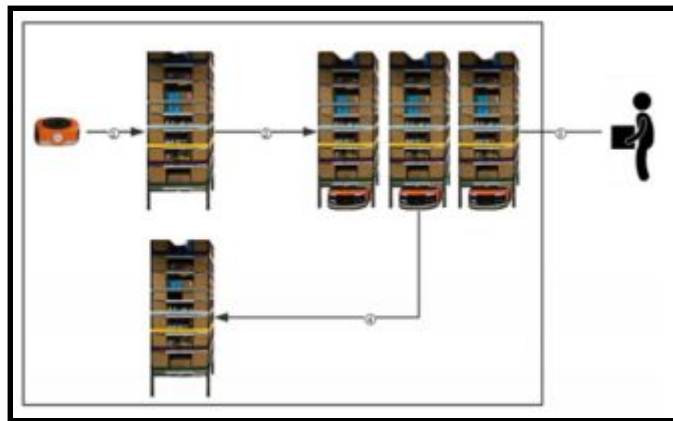


Figura 20. Esquema sistema de transporte

Como se aprecia en la Figura 21, existen diversos robots trabajando y desplazándose por el almacén al mismo tiempo, estos deben controlar en todo momento donde se encuentran los demás robots para evitar colisiones y pérdidas de mercancías, por lo que calculan la ruta óptima en tiempo real.

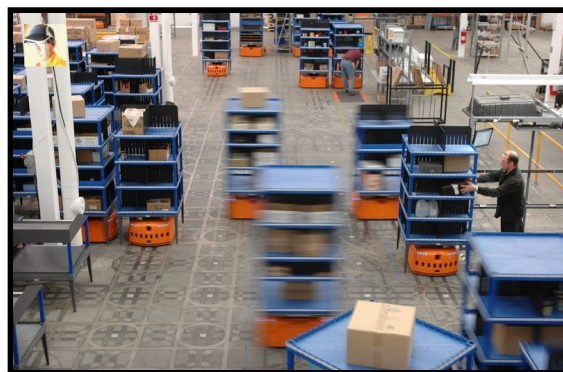


Figura 21. Ejemplo coordinación vehículos

Su diseño fue propio de la empresa Kiva Systems, posteriormente comprada y renombrada por Amazon como Amazon Robotics.

Así mismo, la empresa ha continuado rediseñando y mejorando los algoritmos y la inteligencia artificial de estos.

De esta forma, mediante el empleo de estos robots coordinados para el transporte de los productos por la infraestructura, Amazon logró aumentar la eficiencia de sus almacenes exitosamente.

5.2. Descripción técnica

Al tratarse de unos grandes almacenes es necesario que un gran número de robots trabajen simultáneamente en el mismo área de trabajo. Para solucionar el problema de coordinación a gran escala entre todos los robots se emplearon agentes encargados de controlar el software del robot y el almacén.

La información sobre la lógica del funcionamiento del robot ha sido extraída de diversos proyectos de diversas universidades y sociedades tecnológicas, poniendo en acuerdo toda la información que proporcionan. (Bahadur Poudel et al., 2013) (Li & Liu, 2016)¹ (Moschetta & Bsci, 2010)².

5.2.1. Algoritmo

Los robots son tratados como agentes, encargados de intercambiar información con el resto, pero trabajando de forma independiente intentando optimizar su tarea. También se emplean métodos heurísticos como algoritmos greedy, que pueden tomar buenas decisiones pero no siempre las óptimas. Los agentes envían y reciben diversas informaciones unos de otros. Su posición, su destino, su nivel de prioridad, su velocidad... estos datos son necesarios para que el agente sepa cómo actuar en cada momento.

¹ "Design Optimization of Amazon Robotics :: Science" Se consultó el noviembre 30, 2020.
<http://www.acisjournal.net/article/134/10.11648.j.acis.20160402.17>.

² "Autonomous Transport Agents:." Se consultó el noviembre 30, 2020.
<https://www.doc.ic.ac.uk/teaching/distinguished-projects/2010/j.moschetta.pdf>.

Para que el agente encuentre el mejor camino hasta la meta se empleó un algoritmo denominado A^* , basado en tres funciones (G, H y F). En la Figura 22 se muestra el pseudocódigo del Algoritmo.

A*: recibe como entrada la posición actual y la posición objetivo.

G: calcula la distancia desde el nodo inicial hasta el actual.

H: es la función heurística que intenta estimar la distancia total restante hasta la meta.

F: es la suma de G y H.

Cada nodo A^* mantiene dos estructuras de datos. Los denominados *Abiertos*, se tratan de una cola de prioridad que determina su orden en función de su valor de $f(n)$ y los *Cerrados*, donde se guarda la información de los nodos ya visitados.

Cada vez que se llega a un nuevo nodo el algoritmo le indica al robot moverse al primer nodo que se encuentre en los datos *Abiertos*, en caso de que no se haya llegado a la meta, se vuelve a calcular $f(n)$ de los nodos adyacentes y el nodo anterior pasa a los datos *cerrados*.

```

function A*(start,goal)
    // The set of nodes already evaluated.
    closedset := the empty set

    // The set of tentative nodes to be evaluated.
    openset := set containing the initial node

    // Distance from start along optimal path.
    g_score[start] := 0
    // Estimated total distance from start to goal through y.
    h_score[start] := heuristic_estimate_of_distance(start, goal)

    f_score[start] := h_score[start]
    while openset is not empty
        x := the node in openset having the lowest f_score[] value
        if x = goal
            return reconstruct_path(came_from[goal])
        remove x from openset
        add x to closedset
        foreach y in neighbor_nodes(x)
            if y in closedset
                continue
            tentative_g_score := g_score[x] + dist_between(x,y)

            if y not in openset
                add y to openset
                tentative_is_better := true
            elseif tentative_g_score < g_score[y]
                tentative_is_better := true
            else
                tentative_is_better := false
            if tentative_is_better = true
                came_from[y] := x
                g_score[y] := tentative_g_score
                h_score[y] := heuristic_estimate_of_distance(y, goal)
                f_score[y] := g_score[y] + h_score[y]
    return failure

function reconstruct_path(current_node)
    if came_from[current_node] is set
        p = reconstruct_path(came_from[current_node])
        return (p + current_node)
    else
        return current_node

```

Figura 22. Algoritmo A*

En el momento inicial del algoritmo $G=0$, H calcula el coste heurístico de la posición actual al objetivo y $F=H$.

Una vez que tenemos estos datos inicializados, el programa entra en un bucle que finalizará cuando la lista de datos *Abiertos* esté vacía, si se llega a vaciar el programa devolverá un fallo.

Dentro del bucle, X será igual al nodo que tenga el menor valor de F , si X es el objetivo, la función devolverá la trayectoria que ha de seguir por los diferentes nodos que se han explorado a través de la función *reconstruct_path*, haciendo que el robot

llegue a su destino. En caso contrario, el nodo X se elimina de la lista Abiertos y se añade a la lista Cerrada.

Para los nodos vecinos de X, que serán recorridos por la variable Y:

Si Y esta en la lista Cerrada, no se tiene en cuenta ese nodo. Si no está, *tentative_g_score* adquiere el valor de G respecto X y se le añade la distancia entre X e Y.

Si Y no está en la lista Abierta, se añade Y a esa lista y se vuelve un booleano a true indicando que este nodo será el objetivo.

Si el coste de G(Y) es menor que el *tentative_G_score* calculado anteriormente, se tomará ese nodo como el objetivo.

En caso de que no se cumpla ninguna de las otras dos condiciones no se tendrá en cuenta.

Entonces, si el nodo Y ha sido marcado como objetivo:

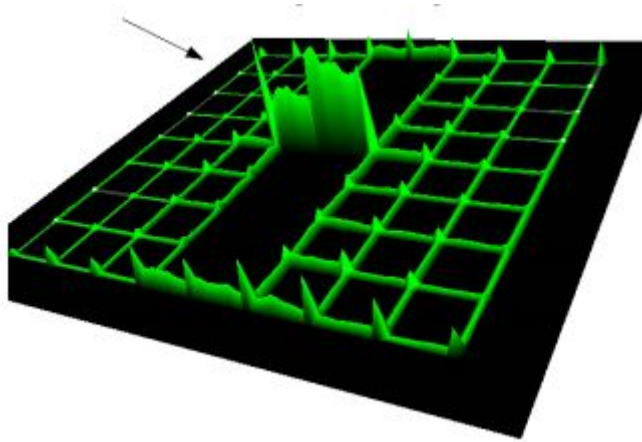
Se especifica que el nodo Y viene de X.

G será igual a *tentative_G_score*.

H al valor heurístico de la distancia que hay de Y al objetivo.

F a la suma de G y H.

Gracias a que en cada nodo de la trayectoria se calcula el mejor movimiento que tiene que realizar el agente para llegar a la meta, el robot es capaz de tomar una ruta diferente en caso de que otro agente acceda a un nodo que coincida con la trayectoria del otro. También almacenan los estados anteriores y por los que tiene un mejor resultado pasar, por lo que habrá nodos que sean más transitados que otros.



La Figura X es de un estudio (Bahadur Poudel et al., 2013), en el cual se ven los costes heurísticos de pasar de un nodo a otro. Como se puede apreciar los costes más altos se encuentran en los nodos que permiten pasar de un lado al otro del mapa. Estas zonas son las más transitadas por los agentes.

Una vez que llegue a su objetivo, el agente puede hacer tres tareas dependiendo de las circunstancias:

- En caso de que no esté cargando una estantería y si el objetivo es un paquete, el agente se posiciona en el objetivo correspondiente con la orientación correcta, carga el paquete y tomará como objetivo el nuevo destino al que debe llegar el paquete.

En caso de que lleve una estantería puede tener dos situaciones:

- Llevar la estantería a la estación de recogida donde el operario será el encargado de retirar el paquete.
- Llevar la estantería a otra posición, con el fin de que posteriormente esta estantería sea desplazada por otro robot.

Después de cumplir con su objetivo los agentes buscan un nuevo objetivo de la cola de llamadas.

Para resumir, el agente realiza los siguientes pasos para el buen funcionamiento del almacén:

- Localización del objetivo del agente.
- Encontrar el nodo más cercano.
- Encontrar la siguiente dirección de avance.
- Descubrimiento del entorno:
 - Detección de carreteras.
 - Detección de nodos.
 - Detección de colisiones.
- Cálculos de velocidad basados en paquetes transportados.
- Recogida y descarga de paquetes.

5.2.2. Sistema Multi-Agente

Como se ha explicado anteriormente los robots se comportan como agentes que se comunican entre ellos. Estos agentes se clasifican en tres grupos, Job Manager(JM), Drive Unit e Inventory Station. Estos agentes se comunican entre sí a través de mensajes .xml.

-Job Manager: Actúa como el agente principal, encargado de gestionar los recursos. Recibe los pedidos que deben cumplirse en tiempo real y asigna el resto de agentes para cumplir el objetivo. También mantiene la información del almacén.

- Drive Unit: Este agente se refiere a los robots que trabajan en el almacén. El agente es el encargado de gestionar y encargarse del movimiento del robot. Gestiona los diversos sensores de los que dispone, la planificación de la trayectoria con el algoritmo A* y la comunicación con el Job Manager. De este modo el Drive Unit conoce la posición del resto de robots y si puede acceder a los nodos contiguos para realizar el algoritmo A*.

-Inventory Station: Mantiene la clasificación de las estanterías. Es el que informa de en qué estantería se encuentra el producto solicitado por un operario y el que almacena en que estantería se encuentran los nuevos paquetes que se almacenan.

Por lo que el funcionamiento y conexión de los agentes es el siguiente. Al Job Manager se le pide que llegue un paquete a cierto puesto de trabajo. El adquiere del Inventory Station en la estantería, y por ello, en qué posición del almacén se encuentra. Finalmente se le envía la posición objetivo a un Drive Unit y este se encarga de la autogestión para que el robot llegue de la posición actual a la objetivo, mientras mantiene la comunicación con el resto de Drive Unit para llegar de la forma más óptima.

5.2.3. Mapa.

El almacén está dividido en cuadrículas en las que las casillas son un código QR que utilizan los robots para saber la posición en la que se encuentran y a la que deben ir, a estas casillas se les denomina nodos. Se puede ver su representación en el mundo real en la Figura 23. Los paquetes también tendrán asignadas una posición que estará relacionada con la estantería en la que se encuentra.



Figura 23. Código QR de los nodos

Los robots se desplazan en línea entre cada casilla en la dirección del eje de x o y, esto supone que para adelantar a otro robot que se encuentre en el mismo camino se deberá recalcular la trayectoria, al igual que si se desplaza otro robot a nuestra siguiente posición. En la Figura 24 se ha recreado cómo se distribuye el mapa.

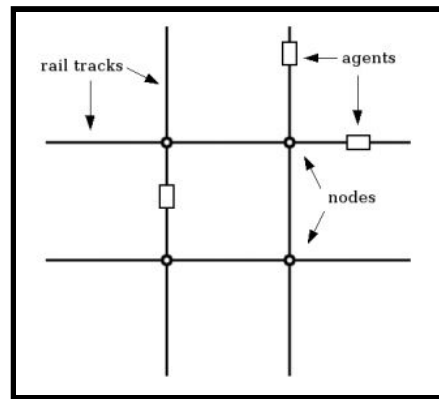


Figura 24. Representación del mapa

En la Figura 25 se muestra un mapa de color sobre el movimiento de los robots por el almacén, donde las zonas mas calidas son en las que mas actividad hay. Esto se debe a que las zonas rojas del perímetro de la imagen, es donde se encuentran los operarios encargados de recoger o depositar los objetos de las estanterías. Las zonas calidas más próximas a estas es donde se depositan las estanterías que estan siendo mas solicitadas, las zonas amarillas y verdes son donde se dejan las estanterías que tienen una fecha de envio mas cercana y las azules y violetas una fecha más alejada, de este modo las estanterías que son utilizadas más frecuentemente están más cerca de los operarios para que el trayecto sea más rápido.

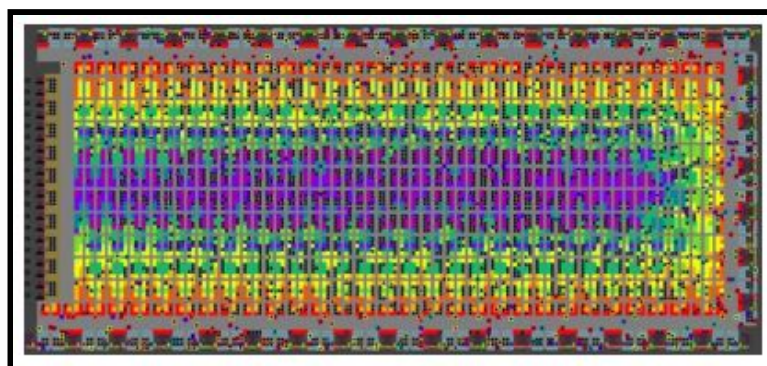


Figura 25. Distribución del almacén

5.2.4. Paquetes.

Cada paquete está asignado a una estantería, la cual actualiza su posición según avanza por el almacén. Hay que tener en cuenta que para organizar el almacén los paquetes son clasificados por tamaño, tipo, por fecha de llegada al almacén y la fecha a la que deben salir y al puesto de trabajo al que están asignados. Con este método los paquetes que tienen características similares serán cargados en las mismas estanterías y no se moverán grandes distancias por el almacén. También se asignan a una zona de operarios por ello, para que no se mueva de un extremo a otro del almacén si la solicitan puestos distintos de operarios.

5.2.5. Prioridad.

Los paquetes mantienen un nivel de prioridad entre ellos para solucionar diversos problemas. Cuanto mayor sea el nivel más preferencias tendrá, como puede ser cuando dos robots intentan acceder a la misma celda, al igual que la velocidad del robot se regula dependiendo de este valor. Para evitar que los paquetes con un bajo nivel de prioridad se queden en la estantería debido a que se recargue con nuevos paquetes con mayor prioridad, cuando un paquete es recogido de la estantería para salir del almacén el resto de los paquetes suben su nivel de prioridad.

5.2.6. Velocidades.

La velocidad a la que avanza el robot va definida principalmente por el peso que carga, ya que debe mantener la estabilidad de la estantería. Y si se encuentra vacío se podrá mover a mayor velocidad para llegar antes a su objetivo.

5.2.7. Mecanismo

En sus inicios, el proceso de transporte de los productos en el almacén se realizaban en bicicleta hasta que, posteriormente, este método fue sustituido por el empleo de los robots Kiva.

Debido a que el funcionamiento de estos sistemas no fue expuesto de manera comercial, no se conocen los detalles del hardware y software de los mismos.

No obstante, Ben Einstein poseía una versión antigua de los Kiva, antes de que Amazon comprase la compañía, por lo que lo desmontó y lo publicó en internet.

Principalmente, existen una gran cantidad de códigos QR situados en el suelo del almacén cada 1 metro de modo que los Kiva cada vez que se desplazan a un punto y detectan el código, son capaces de identificar en qué localización del almacén se encuentra. Además, posee una serie de sensores (infrarrojos) y un pistón para detectar y evitar los obstáculos.

En cuanto a su desplazamiento, Kiva posee dos ruedas para desplazarse en línea recta. Estas están unidas a una estructura, sujeta a una rueda adicional. La cual rota en el plano perpendicular a las otras dos, rotando, cambiando la orientación de las otras dos ruedas y logrando así que el robot gire.

Para el transporte de los productos, se emplea un montacargas. De este modo, el propio robot recoge la estantería indicada y la transporta hacia su destino. Los robots Kiva tienen una gran capacidad de carga orientada a conseguir desplazar cualquier tipo de mercancía sin problemas, tal y como se demuestra en la Figura 26.



Figura 26. Robot Kiva soportando el peso de 3 adultos

En cuanto al mecanismo empleado, se trata de una base que se eleva ligeramente cuando el robot se encuentra debajo de la estantería, elevándola, de modo que sus patas no toquen el suelo. Así logra transportarla hasta el punto de recogida. Se puede comprobar en la Figura 27 que la superficie no se eleva demasiado, lo justo para transportar la estantería sin que sus patas toquen el suelo.

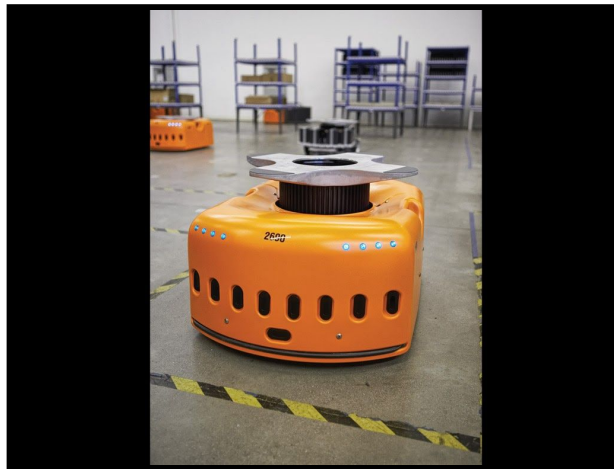


Figura 27. Sistema de recogida de estanterías

Es evidente suponer que la velocidad de estos robots no es muy elevada para evitar que, en un frenado brusco por algún fallo en la coordinación o cálculo/detección de los obstáculos, la estantería caiga debido a la inercia de la misma.

Por otro lado, el sensor de colisiones que se observa en la Figura 28 está formado por un tubo de etileno junto a un sensor de presión. De ese modo, cuando el robot colisiona y se modifica la presión en el tubo, el vehículo se detiene de forma inmediata.



Figura 28. Sistema de detección de colisiones

Por último, los robots Kiva disponen de 2 cámaras integradas en el chasis. Una se encarga de leer los código 2D distribuidos por el suelo del almacén como se

representa en la Figura 29 para su localización, mientras que la otra apunta hacia la base de la estantería para detectar cuando está transportando un pedido y si existe algún problema por el que se haya caído la estantería.

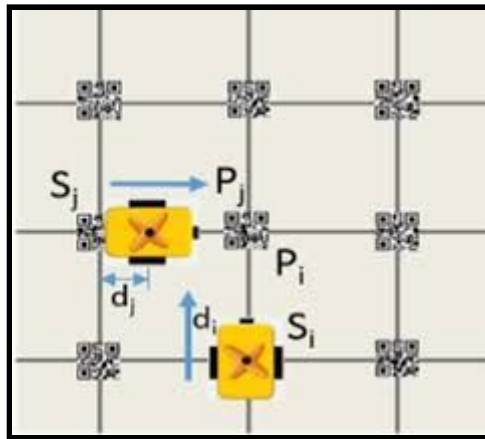


Figura 29. Esquema localización por códigos QR

5.2.8. Aplicación

El empleo de estos robots en el sistema de transporte de mercancías dentro de los almacenes ha mejorado en gran medida la eficiencia de los mismos.

Anteriormente, los productos debían ser buscados, recogidos y transportados hasta su destino en el almacén por los propios trabajadores, una tarea repetitiva y lenta, debido a las grandes dimensiones de estas infraestructuras y la cantidad de productos almacenados.

Es por ello que, con la finalidad de incrementar la velocidad de este proceso, y por ende mejorar el trabajo en los almacenes, se introdujo esta red de robots automatizados. De este modo, se logró que la preparación del producto fuese más rápida para así transportarlo al cliente lo antes posible.

Así Amazon ha comentado que, desde la implementación de este sistema de automatización, ha duplicado su eficiencia, ya que estos robots han elevado la cantidad máxima de gestión y clasificación de mercancías.

El funcionamiento general es sencillo. Los robots reciben el pedido y se mueven hasta la estantería correspondiente para transportarla, siguiendo la ruta óptima calculada en tiempo real, hasta el punto de destino, donde un operador humano recoge el producto en específico. Seguidamente, el robot se desplaza por el almacén hasta encontrar un hueco libre donde depositar la estantería, prosiguiendo seguidamente con un nuevo pedido. Todo esto lo realiza respetando la marcha de otros robots y sin llegar a colisionar con ningún obstáculo, tanto móvil (otros robots Kiva) como fijos (las estanterías).

La simplificación que se demuestra en la Figura 30 es sencilla, para que el operario obtenga el producto en específico para su distribución, tan solo tiene que estirar el brazo y recoger el producto en sí, sin tener que desplazarse ni buscar el producto, ya que todo esto lo realizan los robots por él. De este modo, se consigue que el personal humano pueda manejar una mayor cantidad de paquetes para su envío.



Figura 30. Simplificación trabajo del operario

Es común pensar que la implementación de estos robots han quitado el trabajo a gran cantidad de trabajadores. No obstante, Amazon desmiente este bulo afirmando que, desde la implementación de estos sistemas automatizados en sus almacenes, no ha eliminado ningún trabajo, de hecho, ha contratado más personas.

Finalmente, la inclusión de los robots Kiva en los almacenes ha supuesto una mejora más que notable en su producción, junto al hecho de que han aplicado correctamente los conceptos de inteligencia distribuida, mejorando la velocidad,

precisión y flexibilidad del trabajo en almacenes. Además, todo el proceso lo realizan por sí mismos, sin necesidad de que un operario controle el robot y se desplace con él como en las carretillas elevadoras comúnmente vistas en los almacenes, permitiendo así que los humanos realicen otras tareas mientras ellos distribuyen los productos por el almacén.

6. Bibliography

Agras T16. (n.d.). DJI. <https://www.dji.com/es/t16>

Anónimo. (2020). *Robotics/Unmanned Vehicles*.

<https://www.mobilicom.com/roboticsunmanned-vehicles>

Wikipedia, La enciclopedia libre. (2020). *Unmanned ground vehicle*. Unmanned ground vehicle. https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_ground_vehicle

Nautikaris. (2020). *Unmanned Vehicles*.

<https://www.nautikaris.com/products/hydrography/unmanned-vehicles/#:~:text=An%20unmanned%20vehicle%20is%20a,ROV%27s%20and%20AUV%27s%20and%20USV%27s>

Applications of Unmanned Surface Vehicles (USV). (n.d.).

http://192.248.8.76/bitstream/handle/123/762/93025_1.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Bahadur Poudel, D., Jacobs University Bremen GmbH, School of Engineering and Science, & Campus Ring 1, D-28759 Bremen, Germany. (2013, January 27). *Coordinating Hundreds of Cooperative, Autonomous Robots in a Warehouse*. academia.edu.

<http://www.academia.edu/download/30491528/seminarpaper.pdf>

Barriandos, A., del Cerro, J., Gutiérrez, P., San Martín, R., Martínez, A., & Rossi, C.

(2007). *Vehículos aéreos no tripulados para el uso civil. Tecnología y aplicaciones*. <http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/ABarriandos-CEDI2007.pdf>

Budiyono, A. (2009, Julio 26). *Advances in unmanned underwater vehicles technologies: Modeling, control and guidance perspectives*.

https://www.researchgate.net/publication/228350056_Advances_in_unmann

ed_underwater_vehicles_technologies_Modeling_control_and_guidance_persp
ectives

Huang, H.-M., Pavek, K., Novak, B., Albus, J., & Messina, E. (2005). *A Framework For
Autonomy Levels For Unmanned Systems (ALFUS)*.

https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=822679

Li, J.-T., & Liu, H. (2016, May 4). *Design Optimization of Amazon Robotics*. SciencePG.
file:///C:/Users/Migueliko/Downloads/10.11648.j.acis.20160402.17.pdf

Manley, J. E. (2008, Octubre). *Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development*.

https://www.researchgate.net/publication/224556921_Unmanned_surface_vehicles_15_years_of_development

Mavic Air 2. (n.d.). DJI.

<https://www.dji.com/es/mavic-air-2?site=brandsite&from=homepage>

Meiser, V., Henke, R., Šeatović, D., Rotach, T., & Hesselbarth, H. (n.d.). *Autonomous
Unmanned Ground Vehicle as Sensor Carrier for Agricultural Survey Tasks*.

<http://www.geyseco.es/geystiona/adjs/comunicaciones/304/C02660001.pdf>

Moschetta, J., & Bsci. (2010, June 17). *Autonomous Transport Agents: Simulating
warehouse operation on a bi-directional rail network*.

[https://www.doc.ic.ac.uk/teaching/distinguished-projects/2010/j.moschetta.
pdf](https://www.doc.ic.ac.uk/teaching/distinguished-projects/2010/j.moschetta.pdf)

Nawaz Lashari, H., Mansoor Ali, H., & Massan, S.-U.-R. (n.d.). *Applications of
unmanned aerial vehicles: a review*.

[https://www.researchgate.net/publication/336847887_Applications_of_unma
nned_aerial_vehicles_a_review](https://www.researchgate.net/publication/336847887_Applications_of_unmanned_aerial_vehicles_a_review)

- NIST. (2004, Septiembre). *Autonomy Levels for Unmanned Systems (ALFUS) Framework*. Autonomy Levels for Unmanned Systems (ALFUS) Framework.
https://www.nist.gov/system/files/documents/el/isd/ks/NISTSP_1011_ver_1-1.pdf
- Niu, H., & Lee, K. (n.d.). Applications of Autonomous Underwater Vehicles in Offshore Petroleum Industry Environmental Effects Monitoring.
https://www.researchgate.net/publication/260824869_Applications_of_Autonomous_Underwater_Vehicles_in_Offshore_Petroleum_Industry_Environmental_Effects_Monitoring
- Saildrone technology*. (n.d.). Saildrone. <https://www.saildrone.com/technology>
- Savitz, S., Blickstein, I., Buryk, P., Button, R. W., DeLuca, P., Dryden, J., Mastbaum, J., Osburg, J., Padilla, P., Potter, A., Price, C. C., Thrall, L., Woodward, S. K., Yardley, R. J., & Yurchak, J. M. (2013). *UNMANNED SURFACE VEHICLES (USVs)*.
https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR300/RR384/RAND_RR384.pdf
- Schneider, F. E., Gaspers, B., Peräjärvi, K., & Gårdestig, M. (2015, Marzo). *Current state of the art of unmanned systems with potential to be used for radiation measurements and sampling*.
- shansu. (2018, Febrero 05). *Amazon Kiva robot hardware dismantling*. Amazon Kiva robot hardware dismantling.
<http://amrobots.net/en/%e4%ba%9a%e9%a9%ac%e9%80%8akiva%e6%9c%ba%e5%99%a8%e4%ba%ba%e7%a1%ac%e4%bb%b6%e6%8b%86%e8%a7%a3-2/>

UGV, APPLICATIONS AND FUNCTIONS FOR PROFESSIONAL USE. (n.d.). EMBENTION.

<https://www.embention.com/news/ugv-professional-use-applications-functions/>

USV (UNMANNED SURFACE VEHICLE), APLICACIONES Y VENTAJAS. (n.d.).

EMBENTION.

<https://www.embention.com/es/news/usv-sus-aplicaciones-y-ventajas/>