

UNIVERSIDAD DE ALICANTE

ROBOTS MÓVILES
INGENIERÍA ROBÓTICA

CURSO 2020-2021

Robótica móvil en logística



JUAN ÁNGEL CORONADO GARCÍA-CUENCA

POL FERRER GARCÍA

JUAN PEDRO MARTÍNEZ ESTESO

CARLOS MURCIA FERRÁNDIZ

ALEJANDRO OLIVAS GONZÁLEZ

Índice

1. Introducción	2
2. AMR vs AGV	3
3. Robots móviles en los almacenes	4
3.1. Funcionamiento del robot Kiva	5
3.2. Diseño del robot Kiva	6
3.3. Multirobots en almacenes	8
3.4. Impacto de los robots Kiva en Amazon	9
4. Entrega por drones	10
4.1. Uber Eats	10
4.2. Wing (Google)	10
4.3. Amazon Prime Air (Amazon)	11
4.3.1. Ventajas	11
4.3.2. Inconvenientes	12
4.3.3. Como funcionará	12
4.3.4. Futuro lejano	12
4.4. Compañía Flytrex	13
5. Conclusiones	13

1. Introducción

Actualmente, la **logística** en las empresas de mensajería y envío de paquetes juega un papel fundamental en la sociedad, debido al auge de las compras online de todo tipo de productos. La robótica en logística es la robótica aplicada a la distribución industria, lo que significa el empleo de robots y maquinaria dotada de sistemas inteligentes para automatizar tareas como organización, traslados, repartos y búsqueda de productos en un almacén. Por lo tanto, en los últimos años se ha intentado automatizar estos procesos y aplicar la tecnología para agilizar los procesos y ser más productivos. Una de las empresa de ventas más conocidas mundialmente es Amazon, por lo tanto, se va a estudiar el almacén robotizado de Amazon explicando los diferentes robots que usan.

Los robots móviles autónomos, también llamados **AMR** (Autonomous Mobile Robots), son dispositivos capaces de realizar tareas y moverse por el almacén sin necesidad de que nadie los controle o dirija. Han pasado de ser un sistema futurista al que solo podían acceder algunas empresas, a establecerse como una solución viable en muchos proyectos de automatización de almacenes.

En los últimos años, los robots móviles autónomos (AMR) han pasado de ser un sistema futurista al alcance de un bastantes empresas a establecerse como una solución viable en multitud de proyectos de automatización de almacenes. Las **ventajas** de los AMR en los almacenes son principalmente las siguientes:

- **Flexibilidad y rápida implementación.** No es necesario predefinir las rutas que debe recorrer y esto acorta de manera significativa la fase de implantación. El robot es capaz de “tomar decisiones” y adaptarse a los cambios a partir de la información de su entorno gracias al uso de inteligencia artificial y machine learning.
- **Precisión.** Los avances en tecnología de navegación, sensores y visión robótica están incrementando la seguridad y la destreza de los robots a la hora de ejecutar las tareas.
- **Conectividad.** Los robots móviles se integran con el resto de sistemas que operan en el almacén, algo que se reforzará con la progresiva implantación de la tecnología 5G. Así, estos robots pueden perfeccionar su funcionamiento y representan una fuente de datos adicional sobre las operaciones logísticas que tienen lugar en la instalación de almacenaje.

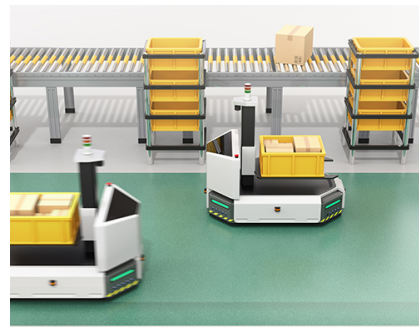
2. AMR vs AGV

La principal diferencia entre **AMR** (robots móviles autónomos) y **AGV** (vehículos autoguiados) es que los AMR emplean un sistema autónomo mientras que los AGV usan un sistema automático, es decir, los vehículos autoguiados se mueven siguiendo una ruta predefinida que detectan con sensores y sistemas de **láserguiado** (emiten una señal láser, que rebota en líneas o rutas de puntos en el suelo hechas de reflectores para determinar su posición en el mapa que lleva en memoria) o **filoguiado** (en el suelo del almacén se empotra un hilo que emite un campo magnético y éste es captado por el vehículo), mientras que los robots móviles autónomos se ajustan a su ruta constantemente empleando la inteligencia artificial o la lectura de sensores que le informan de su entorno.

También es importante la diferencia de **carga** que pueden soportar cada uno, los AMR suelen operar con cajas o paquetes ligeros, mientras que los AGV suelen trabajar con palets. En la actualidad, están creciendo en el sector de la logística a mayor ritmo los AMR, aunque como hemos visto, ambos responden a necesidades distintas por lo que aumentará la **demanda** de ambos en el futuro. Como se puede apreciar en la figura 1a hay un AGV robusto y de gran tamaño para transportar palets de gran peso, también se pueden apreciar las marcas en el suelo para guiar al vehículo. Sin embargo, en la figura 1b se observa un robot de menor tamaño empleado principalmente para el transporte de cajas y sobres.



(a) Ejemplo de AGV



(b) Ejemplo de AMR

Figura 1: Comparativa de robots empleados en logística.

3. Robots móviles en los almacenes

Los robots móviles autónomos están equipados con sensores muy avanzados, un software dotado de Inteligencia Artificial y planos digitales del almacén, que les permiten interpretar su entorno. En general, se encargan de trasladar unidades de carga ligeras (como cajas), aunque también los hay preparados para transportar palets. En la Figura 2, podemos observar un robot autónomo navegando por los pasillos sin ayuda del operario.

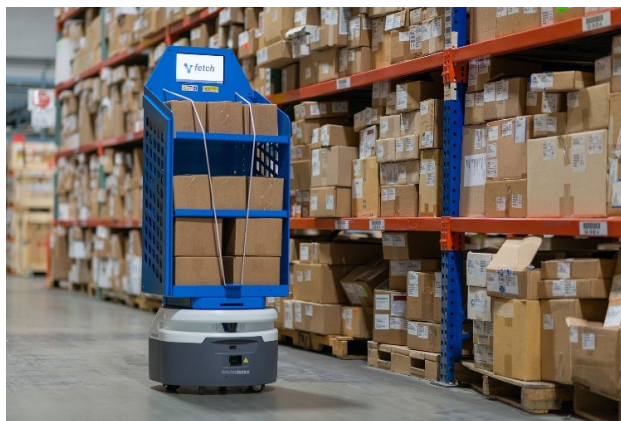


Figura 2: Ejemplo de un AMR realizando tareas de clasificación en un almacén.

En el ámbito del almacén, el software de control utilizado en robots móviles es el WCS (Warehouse Control System), que a su vez está conectado con el SGA (sistema de gestión de almacenes). Gracias a la asistencia de estos software, los AMR siguen rutas óptimas en el traslado de mercancías, identificando y esquivando los obstáculos que se encuentran en su camino.

Los AMR de clasificación cuentan con una bandeja reclinable y un lector de códigos que permite clasificar los paquetes y situarlos en la línea de salidas que les corresponda. En la estación de picking, el operario sitúa los paquetes en el robot, y éste escanea la etiqueta, procesa la información y los transporta hacia la zona de expediciones.

También existen los robots que operan en la entreplanta (constan de canales de entrada de mercancías procedentes de un nivel superior y rampas hacia de salida hacia expediciones). Los operarios colocan los paquetes en los robots, los clasifican y los conducen a la salida correspondiente. Los robots móviles en los almacenes se clasifican según la función que realicen:

- AMR para picking de hombre a producto: El robot móvil realiza la función de carro de picking y acompaña al operario de forma autónoma.

El operador selecciona los productos de las estanterías y los coloca en la bandeja del robot. Finalmente es el robot el que traslada el objeto al área de consolidación y empaquetado, de forma que el operario no se tiene que mover de la zona de picking. En la Figura 3 podemos observar un AMR clasificando paquetes.



Figura 3: Ejemplo de un AMR realizando tareas de clasificación en un almacén.

- AMR para picking de producto a hombre: El robot es capaz de levantar la estantería (pequeña o mediana) donde se encuentra el producto y la mueve hasta una estación de picking, de forma que coloca las estanterías en orden para que el operario pueda preparar los pedidos sin moverse. Una vez hecho esto, el robot lleva la estantería donde estaba.

El uso de AMRs es especialmente importante cuando se transportan mercancías pequeñas y variadas, sujetas a plazos de entrega muy ajustados.

3.1. Funcionamiento del robot Kiva

El sistema robótico móvil Fulfillment [1] es un sistema de recogida de piezas que utiliza estantes móviles para almacenar artículos. Usa robots para enviar esos estantes con los objetos a las estaciones de recolección, donde son recogidos para ser repartidos. Como se muestra en la Figura 4, la tarea de entrega de un pedido del robot Kiva consta de 5 pasos:

- 1º) Conducir desde la ubicación actual del robot hasta la ubicación de almacenamiento del estante de destino.
- 2º) Transportar el estante desde el lugar de almacenamiento hasta la estación de recolección.

- 3º) Hacer cola en el buffer de la estación hasta que le llegue el turno de recogida.
- 4º) Dejar que el trabajador recoja los productos del estante.
- 5º) Devolver el estante al lugar de almacenamiento.

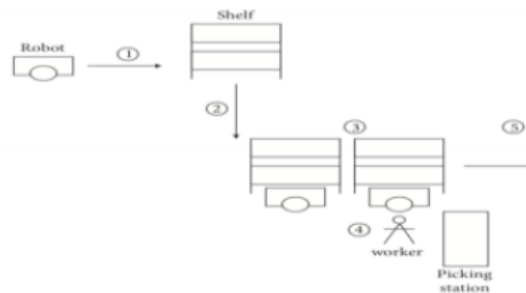


Figura 4: Imagen de los 5 pasos de una tarea de envío del robot Kiva.

3.2. Diseño del robot Kiva

Su innovación con respecto a otros robots es que integra dos cámaras como herramienta de monitoreo de navegación, y el objetivo de estas es leer el código. Además, la cámara de arriba se utiliza para la navegación. La etiqueta del código QR está adherida debajo del soporte del bastidor, y es leída por la cámara que detecta el código de seguimiento. Entonces, el robot Kiva se moverá mientras lee la información de la etiqueta en el suelo para saber cuáles son sus coordenadas en el almacén. Este sistema de control regula al robot para que siga las pegatinas del suelo formando de esta manera una trayectoria.

La sofisticación del diseño del robot Kiva le permite operar con precisión siguiendo el código de identificación de la etiqueta para evitar errores causados por colisiones entre varios robots, gracias al sistema de detección de colisiones (Figura 5). Gracias a este sistema de detección de colisiones por infrarrojos, los sensores y los parachoques sensibles al tacto, el robot se detiene si las personas u objetos se interponen en su camino. Así, la precisión de trabajo del robot puede alcanzar un 99,9 por ciento, que puede reducir en gran medida la probabilidad de un error humano.



Figura 5: Mecanismo de elevación del robot Kiva.

También, como puede verse en la Figura 6, consta de un mecanismo de elevación con un gran tornillo que gira para elevar los estantes hasta 5 cm del suelo.

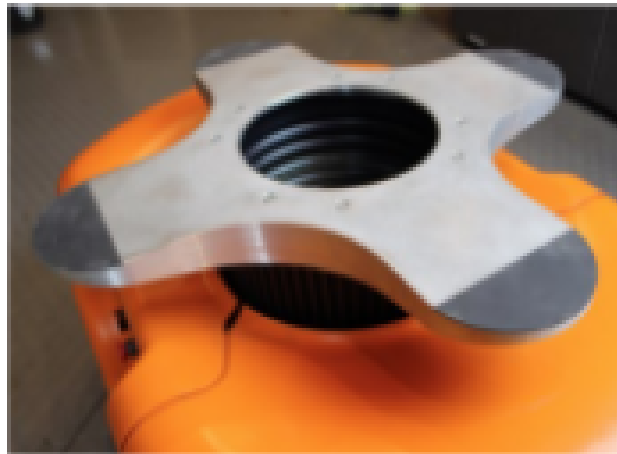


Figura 6: Mecanismo de elevación del robot Kiva.

Cuando las baterías se agotan, el robot se mueve automáticamente a una estación de carga (Figura 7).

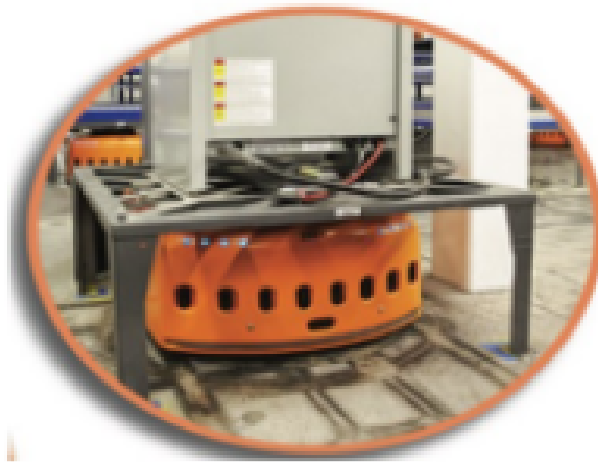


Figura 7: Mecanismo de elevación del robot Kiva.

El sistema de conducción consta de dos motores DC sin escobillas que permiten a los robots moverse a 1,3 metros por segundo.

3.3. Multirobots en almacenes

Utilizar el concepto de multirobots en aplicaciones de almacenaje en logística tiene un gran número de ventajas comparándolo con el almacenaje tradicional en el que se necesitan muchas personas y además máquinas de carga para transportar las estanterías. El robot Kiva es más veloz en la tarea de recoger los bienes, además de mayor precisión y exactitud.

En la Figura 8, aparece una representación diversos robots Kiva representados realizando tareas en el almacén.

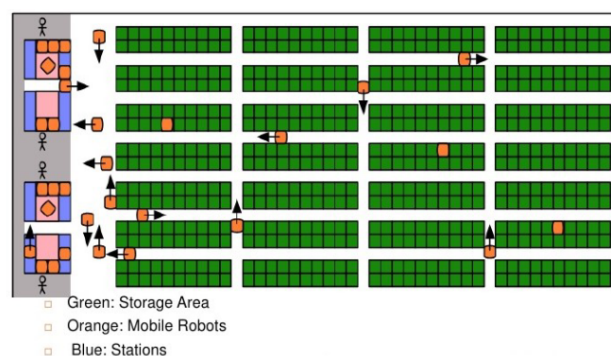


Figura 8: Robots Kiva operando en el almacén.

Los robots deben cooperar para maximizar el número de paquetes transportados por unidad de tiempo, de tal manera que tienen que tener en cuenta

no cruzarse con otros robots y elegir que robot es el más óptimo para ir a por una estantería específica. Farinelli *et al.* [2] demuestran que este problema puede ser planteado como un Problema de Optimización Restringida Distribuida (DCOP) y proponen una solución basada en el algoritmo binario de max-sum.

DCOP es un problema en el que un conjunto de agentes deben elegir una serie de valores, en este caso acciones, de tal manera que minimizan el coste de las restricciones, en este caso el tiempo. Hay que tener en cuenta que en nuestro problema, un aspecto fundamental es la interferencia de los robots entre sí, porque si están cerca tendrán que disminuir la velocidad y, por lo tanto, la eficiencia del sistema. Por lo tanto, habrá que distribuir los robots para que no interfieran entre si.

Para plantear el problema, se tiene una secuencia de pedidos que tienen un conjunto de tareas de transporte. Cada tarea la realiza un único robot, y en todo momento no se le asigna más de una tarea a un robot. Los caminos del robot hasta la estantería se modelizan mediante segmentos, lo que nos permite conocer si se producen interferencias entre los robots. Se penaliza estas interferencias, por lo que el algoritmo binario max-sum nos optimiza las tareas enviadas a los robots para que se produzca el menor número de interferencias.

3.4. Impacto de los robots Kiva en Amazon

Estudios recientes demuestran que el uso de estos robots ha tenido un gran impacto en la logística, pudiendo albergar un 50 % más de inventario que en el antiguo almacén [3]. Además, la eficiencia en tiempo de los robots Kiva ha provocado un aumento de beneficios en Amazon.

Amazon empezó a utilizar los robots Kiva para solucionar los tiempos excesivos empleados en la gestión del inventario, para de esta manera reducir el retardo entre la realización del pedido por parte del cliente hasta la entrega del paquete. En general, las ventajas de estos robots son el aumento significativo en la calidad, cantidad y velocidad del servicio.

Sin embargo, también tiene ciertas desventajas. Los códigos de barras tanto del suelo como de las estanterías deben estar siempre limpios para que puedan ser leídos. Además, se puede producir una disminución de la productividad cuando los robots están en mantenimiento o recargando la batería [4].

4. Entrega por drones

La entrega en el menor tiempo posible es uno de los retos a superar en la entrega de paquetería, los usuarios cada vez más exigentes quieren esperar menos tiempo desde que compran el producto hasta que los reciben. Por lo que, las empresas que consigan los menores tiempos de entrega liderarán los segmentos en sus respectivos mercados.

Entre las empresas que llevan años desarrollando un sistema de reparto eficiente a través de drones ya que son conocedoras del futuro del comercio online cabe destacar Wing (Google), Amazon Prime Air (Amazon) o Uber Eats (Uber).

4.1. Uber Eats

La compañía Uber también tiene como objetivo la entrega a domicilio a través de drones de servicios de reparto de alimentos, para ello ha realizado pruebas de este servicio con la empresa McDonalds. Actualmente, Uber Eats se encuentra en proceso de obtener algunas licencias para poder realizar pruebas en distintos lugares de Estados Unidos, así como obtener la autorización final definitiva para operar. La principal novedad con respecto al resto de empresas es que se espera que los drones aterricen en los techos de los vehículos de reparto de Uber como se puede observar en la Imagen 9, estos vehículos estarán estratégicamente ubicados por toda la ciudad, siendo los conductores los que finalicen el proceso de entrega.



Figura 9: Dron de la compañía Uber encima de un coche de la misma empresa.

4.2. Wing (Google)

La compañía Wing de Google utiliza drones para el reparto de comida en Australia y Virginia (Estados Unidos) como se puede observar en la Imagen

10. Estos drones con capacidad de 1,5 kilogramos de carga máxima tienen un funcionamiento práctico que consiste en enviar al dron ya cargado al domicilio correspondiente para más tarde notificar al usuario de la ruta en tiempo real que el dron está siguiendo y desplegar el cable con la carga del dron una vez haya llegado a su localización.



Figura 10: Dron de la compañía Wing transportando un paquete.

4.3. Amazon Prime Air (Amazon)

La compañía Amazon Prime Air a pesar de ser una de las precursoras en el reparto a través de drones sufrió problemas por la falta de regularización en Europa, haciendo que la compañía retrasara los planes originales que tenía previstos. No obstante, ya ha recibido la autorización de la FAA de Estados Unidos para la puesta en marcha en este país que ha comenzado con pequeños repartos en áreas de baja densidad de población, zonas rurales o zonas residenciales en las afueras.

4.3.1. Ventajas

Se pueden entregar paquetes de hasta cinco libras, unos 2.25 kilos, que son la gran mayoría de paquetes que vende Amazon. Los vehículos aéreos permitirán descongestionar las carreteras para mejorar la eficacia ya que promete entregas en 30 minutos o menos en un radio de unas 10 millas, 16 kilómetros. Los drones están equipados con cámaras que permiten evitar obstáculos aéreos como globos aerostáticos, torres de comunicación y demás. Se consigue un vehículo totalmente autónomo con toda la sensorización instalada.

4.3.2. Inconvenientes

Esta teniendo muchos problemas legales referidos a la seguridad aérea ya que no debe chocar con ningún medio aéreo, con tendido eléctrico ni con los propios edificios. Los dos requisitos más importantes que tiene que cumplir en Estados Unidos para que la Agencia Federal de Aviación de su permiso es que tienen que tener línea de visión y no sobrevolar multitudes. Esos requisitos son difíciles de cumplir ya que Amazon entrega muchísimos paquetes. Se necesitaría que se eximiera de las restricciones pero eso lleva mucho tiempo y es muy costoso.

La Agencia Federal de Aviación ha dado el visto bueno por lo que se pondrá en marcha lo antes posible empezando por áreas rurales de baja densidad de población ya que se encuentran menos habitadas y hay menos obstáculos aéreos.

4.3.3. Como funcionará

El cliente comprará su pedido en la plataforma y podrá seleccionar el método de entrega. Si cumple los requisitos podrá ser enviado por dron. Si es así, un humano gestiona el paquete y lo pone en una cinta transportadora. El paquete es insertado en el dron y se desplaza mediante una vía a la zona de despegue. Como se puede apreciar en la figura 11, el dron despegue y vuela hasta su destino utilizando el GPS y con todas las cámaras instaladas evitando todos los posibles obstáculos. Realiza el descenso y entrega el paquete. Por último, regresa automáticamente al almacén.

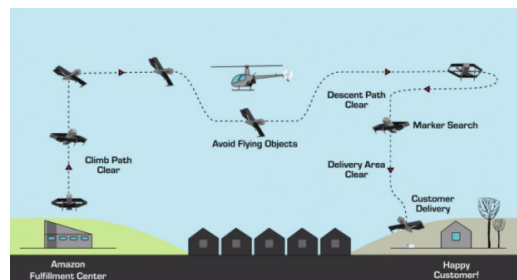


Figura 11: Funcionamiento de Prime Air.

4.3.4. Futuro lejano

Amazon tiene una patente para el desarrollo y creación de almacenes aéreos y entrega de paquetería para repartir paquetes desde el cielo. Esta patente habla de dirigibles que se encuentren en zonas con una alta demanda a unos trece mil metros. Estos dirigibles serían abastecidos por otras aeronaves

de productos y combustible. Estos dirigibles almacenarían drones pequeños que repartirían a los múltiples usuarios sus pedidos. Esto se puede ver en la figura 12.

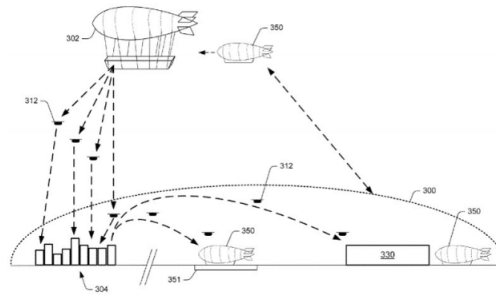


Figura 12: Patente para repartir paquetería desde el cielo.

4.4. Compañía Flytrex

Mientras que la compañía Amazon o Uber Eats se encuentran en proceso de sacar sus drones al mercado, la compañía Flytrex opera desde el año 2017 haciendo entregas de sushi en Islandia con su propia flota de drones.

A través de la web del restaurante de comida japonesa aha, puedes escoger la opción de entrega a domicilio a través de dron, haciendo que el tiempo de entrega a domicilio se reduzca de 25 a 4 minutos.

También cabe mencionar que existen una serie de limitaciones como tener que encontrarse en un rango de 3,2 kilómetros de distancia del restaurante, tener además un lugar con espacio suficiente para que el dron realice la entrega y que el pedido no supere los 3 kilos de peso. En el siguiente Vídeo 1 se puede visualizar como un dron de esta compañía realiza la entrega de un pedido en Reykjavík.

5. Conclusiones

- Los robots móviles logísticos representan una solución de automatización logística viable para muchos almacenes, gracias al incremento de los flujos de materiales y a los grandes beneficios que aporta.
- Utilizar sistemas multirobots en almacenes aumenta la eficiencia, pero es necesario utilizar algoritmos que optimicen el reparto de tareas entre los robots.

- Uno de los retos principales de la entrega de paquetería en drones es reducir los tiempos de entrega. A pesar de que hoy en día muchas empresas se encuentran con problemas de obtención de licencias, se espera que en pocos años veamos drones sobrevolando los cielos y entregando aquello que solicitemos en un menor tiempo.
- La principal diferencia entre los AMR y los AGV es que los Automatic Guided Vehicle usan un sistema automático y se mueven siguiendo una ruta predefinida, mientras que los Autonomous Mobile Robots se ajustan a su ruta constantemente empleando la inteligencia artificial o la lectura de sensores que le informan de su entorno.
- Como se ha explicado, aún quedan muchas mejoras que se pueden hacer en el futuro en este ámbito y la demanda de estos tipos de robots crecerá con el paso del tiempo.

Referencias

- [1] Adrian Yudiansyah, Yulianti Keke, Veronica Veronica, et al. Can the mobile robot be a future order-picking solution?: A case study at amazon fulfillment center. *Advances in Transportation and Logistics Research*, 3:800–806, 2020.
- [2] Alessandro Farinelli, Elena Zanotto, Enrico Pagello, et al. Advanced approaches for multi-robot coordination in logistic scenarios. *Robotics and Autonomous Systems*, 90:34–44, 2017.
- [3] Robert Bogue. Growth in e-commerce boosts innovation in the warehouse robot market. *Industrial Robot: An International Journal*, 2016.
- [4] Robin Hanson, Lars Medbo, and Mats I Johansson. Performance characteristics of robotic mobile fulfilment systems in order picking applications. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11):1493–1498, 2018.