



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA

AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DE MANUFACTURA

2023-1

IIOT enfocado en el desarrollo de visión de profundidad en un AGV

Autor:

Andrés Holguín R.

CC:

1000794275

Profesor:

Ernesto Córdoba Nieto

Introducción

El Internet de las cosas industrial (IIOT) ha emergido como una de las principales tecnologías para optimizar y mejorar la eficiencia en el sector manufacturero. Una de las áreas en la que el IIOT ha demostrado ser especialmente efectivo es en la automatización de los vehículos guiados automáticamente (AGV), que son ampliamente utilizados en almacenes y centros de distribución. En este contexto, la visión de profundidad ha surgido como una técnica esencial para permitir a los AGV navegar de manera autónoma y segura en entornos dinámicos y desafiantes.

La visión de profundidad es un área de la visión por computadora que se encarga de estimar la distancia a los objetos en una escena, lo que es esencial para la navegación autónoma. La implementación de esta tecnología en los AGV puede mejorar significativamente su capacidad para evitar obstáculos y moverse de manera más segura y eficiente en entornos cambiantes.

En este artículo, se explorará la implementación de la visión de profundidad en los AGV en el contexto del IIOT. Se presentarán los desafíos técnicos y las oportunidades que enfrentan los diseñadores de sistemas de AGV y se describirán las soluciones existentes basadas en la visión de profundidad. Dicho esto, se van a exponer tres artículos publicados en la IEEE donde se relaciona el desarrollo de los AGV con IIOT. En general, se espera que este artículo proporcione una visión general detallada de cómo la tecnología del IIOT y la visión de profundidad están transformando el campo de los AGV y abriendo nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia y la productividad en el sector logístico.

1. Cloud computing como apoyo al desarrollo de robots móviles

El primer artículo a exponer se denomina: “Cloud Computing Fuzzy Adaptive Predictive Control for Mobile Robots”, escrito por Wen-Shyong Yu y Chien-Chih Chen, publicado en el 2018 en la conferencia internacional IEEE de sistemas, hombre y cibernética. Este artículo se centra en el uso de la computación en la nube para planificar de manera eficiente el seguimiento autónomo en tiempo real de trayectorias predefinidas y el control de evasión de obstáculos para un robot con ruedas omnidireccionales visto en Fig.1, utilizando un algoritmo de control predictivo adaptativo difuso [1].



Figura 1: AGV omnidireccional

Es importante mencionar que el control autónomo de seguimiento de trayectoria incluye simulación dinámica y control de un robot con tres ruedas omnidireccionales, donde la señal de retroalimentación de profundidad de campo es proporcionada por sensores ultrasónicos, realizado mediante algoritmos de fusión sensorial de un total de seis sensores distribuidos en las direcciones del AGV, permitiéndole recopilar información de todo su entorno, de este modo, el AGV es capaz de seguir autónomamente la trayectoria predefinida, la evasión de obstáculos y otros movimientos [1].

Ahora bien, debido a la alta capacidad de cómputo requerida para lograr implementar un algoritmo de control predictivo adaptativo difuso, se configura una arquitectura para dividir la computación entre la nube remota y el robot para que un robot pueda interactuar con una nube informática. Dada esta arquitectura robot/nube, se garantiza la estabilidad del sistema de control en lazo cerrado a partir del teorema de Lyapunov para el controlador, donde se logra realizar la planificación de trayectorias con un rendimiento satisfactorio en la nube durante una fase de preprocesamiento actualizada periódicamente de manera eficiente, donde se logra un seguimiento de trayectoria y evasión de obstáculos en tiempo real con control de planificación de movimiento de elipse. Dicho esto, en Fig.2 se evidencia el diagrama del sistema [1].

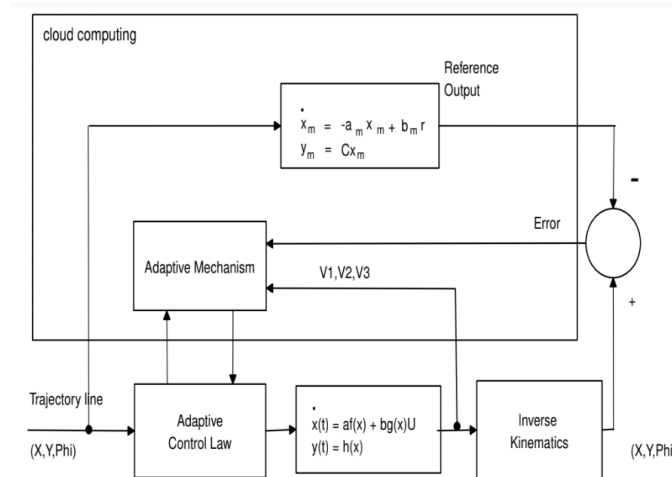


Figura 2: Diagrama del sistema de control para AGV omnidireccional [1].

Como se puede evidenciar, toda la parte de control se realiza por medio de Cloud Computing y se realiza la transmisión de información con el AGV mediante tecnologías IIOT, garantizando la estabilidad en la red de comunicación entre los actores involucrados. De este modo, se logra la recopilación de información del ambiente por parte de los sensores ultrasónicos del AGV, donde con fusión sensorial se logra un sentido de orientación y obstáculos cercanos, que es utilizada para sintonizar el control adaptativo difuso en la nube y así mismo generar las trayectorias ideales para la evasión de obstáculos mediante trayectorias elípticas, vistas en Fig.3.

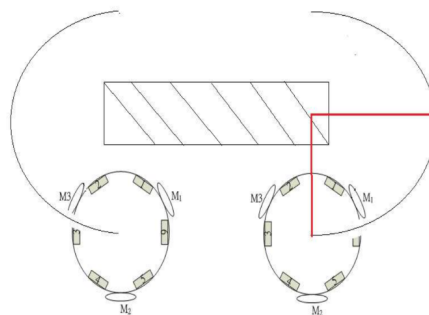


Figura 3: Diseño de evasión de obstáculos para AGV omnidireccional [1].

A partir de esta planificación y uso de IIOT para el desarrollo y verificación de un AGV omnidireccional, se logran resultados experimentales adecuados vistos en Fig.4, estableciendo la importancia que tienen las redes de comunicación como ventaja en el desarrollo tecnológico de AGVs en la industria.

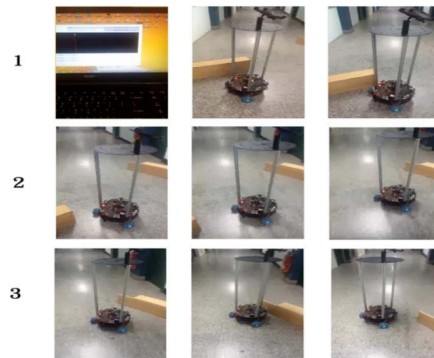


Figura 4: Resultados de evasión de obstáculos para AGV omnidireccional [1].

2. Desarrollo de AGV en entorno dinámico hostil

El segundo artículo a exponer se denomina: "Fuzzy logic based mobile robot target tracking in dynamic hostile environment", escrito por los investigadores Tharindu Fernando, Harshala Gammulle y Chamila Walgampaya de la Universidad de Peradeniya, Sri Lanka y publicado por la IEEE en 2015. En este artículo se presenta un sistema de control basado en lógica difusa para la navegación de robots móviles en entornos dinámicos y hostiles, como se puede evidenciar en fig.5. Se propone la integración de un mecanismo de percepción visual basado en una cámara Asus Xtion PRO para capturar información de profundidad y color para la navegación y el seguimiento de objetivos, visto en Fig.6. El algoritmo de control de navegación basado en lógica difusa se implementa para controlar la evitación de obstáculos, la evitación de zonas hostiles y el seguimiento de objetivos. El sistema se evalúa a través de varios experimentos, demostrando su eficacia para el seguimiento de objetivos y la evitación de obstáculos y zonas hostiles [2].



Figura 5: AGV en entorno con obstáculos [2].

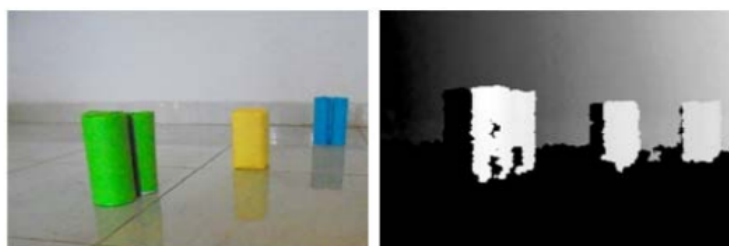


Figura 6: Lectura de información de cámara Asus Xtion PRO[2].

Ahora bien, un problema que cabe la pena resaltar en este artículo, es que, a pesar de lograr desarrollar un AGV autónomo con altas capacidades de seguimiento de trayectorias dinámicas mediante detección de obstáculos estáticos y dinámicos, los investigadores no llevaron el AGV a ser totalmente autónomo en el hecho que este está cableado a una computadora donde se realizan los cálculos y procesamiento de información, lo cual es un impedimento bastante grave a la hora de definir espacios de trabajo y capacidad de movimiento. Dejando de lado esta limitación, se aborda el problema de la navegación en entornos no estructurados, donde los robots móviles enfrentan desafíos significativos para moverse de manera segura. El sistema propuesto se basa en un enfoque reactivo y adaptable, que combina información sensorial y un controlador de lógica difusa para generar una trayectoria segura y eficiente, en Fig.7 se evidencia el esquema de control del AGV [2].

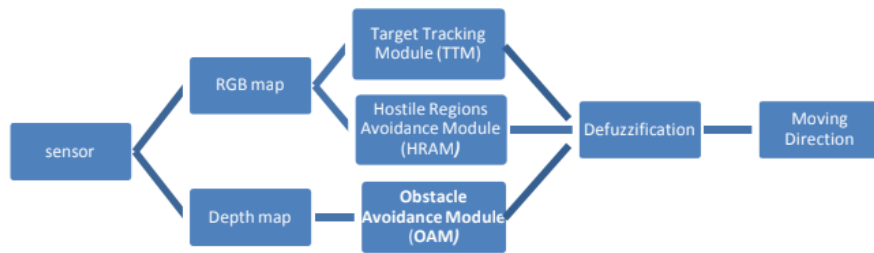


Figura 7: Esquema de control difuso [2].

Como se puede evidenciar, se tiene un control capaz de realizar trayectorias adaptativas dependiendo del objetivo esperado, regiones hostiles, y la evasión de obstáculos. No se va a profundizar en los parámetros del motor difuso ni en definidores de conector ni difusor, sin embargo cabe mencionar que se definen variables de entrada de detección de obstáculos de distancia y de ángulo. De este modo, a partir de dos funciones de membresía de entrada, se obtiene una función de membresía de la dirección de avance del AGV, que le permite seguir adecuadamente la trayectoria necesaria para llegar al objetivo, visto en Fig.8.

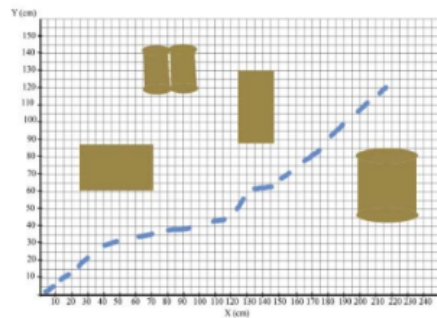


Figura 8: Seguimiento de trayectoria del AGV [2].

Los resultados experimentales muestran que la arquitectura propuesta proporciona una solución eficiente y flexible para evitar obstáculos y zonas hostiles al navegar el robot en entornos estáticos y dinámicos, donde el AGV es capaz de reaccionar en tiempo real a obstáculos en movimiento y logra generar los cambios de trayectoria adecuados para evitar el obstáculo, visto en Fig.9, he incluso capaz de generar trayectorias complejas de evasión de obstáculos, regiones hostiles y varios objetivos, visto en Fig.10. Sumado a esto, al cuantificar el error de trayectorias y tiempo de recorrido, logran determinar que se tuvo un error promedio de 4,8 cm y un tiempo de trayectoria promedio de 14,6 s para los diferentes experimentos que realizaros, cumpliendo con las expectativas de un buen seguimiento a trayectorias esperadas para este ambiente [2].

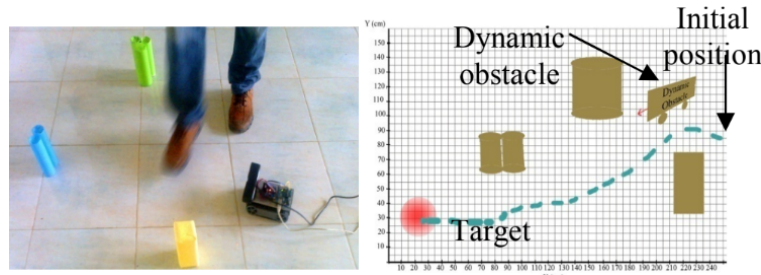


Figura 9: Seguimiento de trayectoria con obstáculos dinámicos [2].

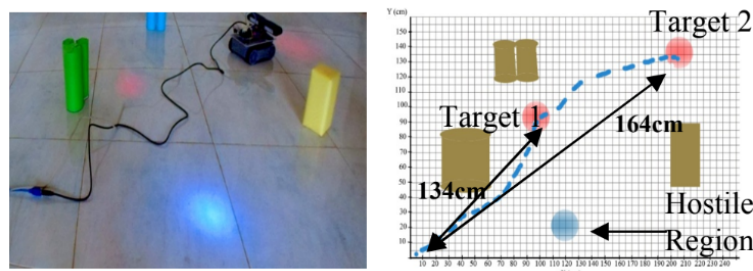


Figura 10: Seguimiento de trayectoria con regiones hostiles y diferentes objetivos [2].

En resumen, este trabajo presenta una solución práctica y efectiva para la navegación de robots móviles en entornos hostiles, demostrando la factibilidad de un sistema de seguimiento de objetivos basado en lógica difusa y un sistema de evitación de obstáculos y zonas hostiles extensible.

3. Desarrollo de seguimiento de trayectorias de un AGV con un sensor RGBD

El último artículo a exponer se denomina: "Tracking Control For Wheeled Mobile Robot Using RGBD Sensor", escrito por los investigadores Raouf Fareh, Tamer Rabie y Mohammed Baziyad de la universidad de Sharjah, Emiratos Árabes y publicado en la cuarta conferencia internacional de tecnologías de control, decisión e información de 2017 en Barcelona, España. En este artículo se propone un sistema de control de seguimiento de objetivos y evasión de obstáculos para robots móviles en entornos dinámicos hostiles, utilizando un sistema de visión basado en lógica difusa. El sistema se basa en la captura de información de profundidad y color para la navegación y el seguimiento de objetivos mediante un sensor Asus Xtion PRO. La propuesta se enfoca en integrar la información proporcionada por el sistema de visión a un método de control de navegación basado en lógica difusa para controlar la evasión de obstáculos, la evasión de regiones hostiles y el seguimiento de objetivos, mediante la implementación de tecnologías IIOT al ser capaces de generar una red de comunicaciones efectiva entre todos los actores presentes en el sistema de actuación, adquisición de datos, y procesamiento de información, visto en Fig.11 [3].

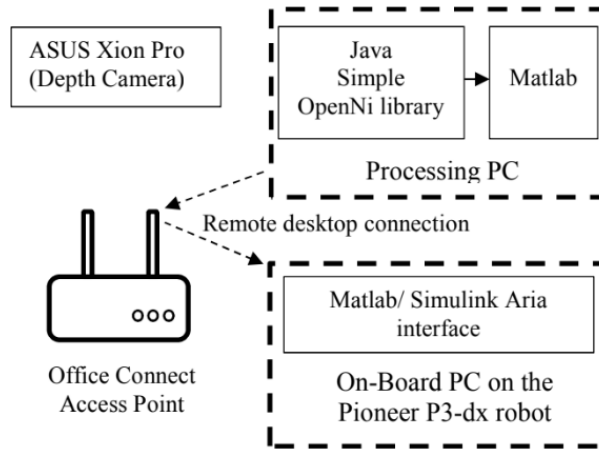


Figura 11: Red de comunicaciones del sistema [3].

Como se puede intuir de esta red de comunicaciones, el sensor de profundidad no se encuentra montado sobre el AGV, como suele ser en gran cantidad de casos, para este desarrollo, al tener definida la zona de trabajo del robot, se decide colocar el sensor en el techo, donde es capaz de realizar lecturas de profundidad desde una vista superior del espacio y de este modo tener la posibilidad de realizar análisis de información y generación de trayectorias de una forma más completa, teniendo información de todo el espacio de trabajo en tiempo real, desde la pose actual del robot (Pioneer P3-DX visto en Fig.12), hasta los obstáculos cercanos y lejanos. Dicho esto, en Fig.13 se evidencia este análisis del espacio que se logra mediante la ubicación superior del sensor.



Figura 12: Pioneer P3-DX [3].

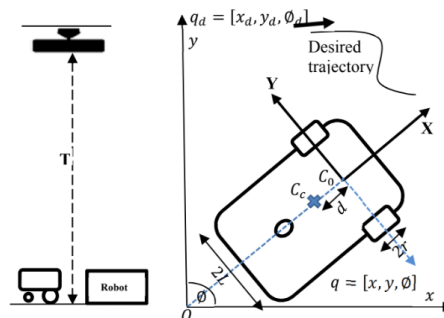


Figura 13: Esquema de configuración física del sistema [3].

Con todo y lo anterior, el sensor es capaz de analizar obstáculos de manera fácil al detectar objetos a distancias inferiores del suelo al techo, como se puede ver en Fig.14. Una vez se tiene la detección

de obstáculos, se procede a la generación de un camino libre de obstáculos mediante un algoritmo planificador de trayectorias PRM, obteniendo resultados vistos en Fig.15.

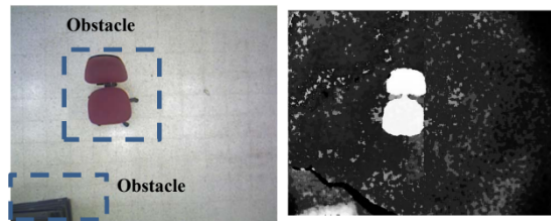


Figura 14: Lectura de sistema de detección de obstáculos [3].

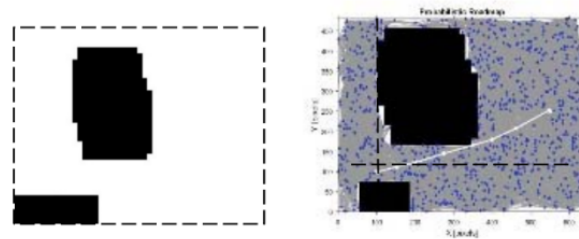


Figura 15: Análisis de obstáculos y generación de trayectoria ideal [3].

De este modo, se implementa un seguimiento de velocidad para robots móviles de ruedas diferenciales mediante un controlador cinemático para seguir la trayectoria calculada por el PRM y así llegar a la pose final deseada. El esquema de control se evidencia en Fig.16.

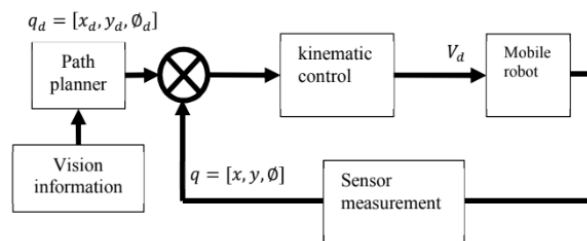


Figura 16: Esquema de control cinemático [3].

Los experimentos realizados demuestran la viabilidad del sistema de seguimiento de trayectorias mediante un sistema de evasión de obstáculos y regiones hostiles. En Fig.17 se logra apreciar el seguimiento del AGV desde un plano superior, donde se logra seguir la referencia de posición en X, Y, y dirección.

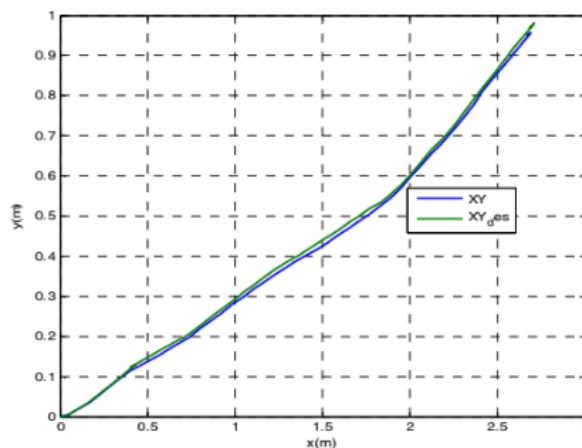


Figura 17: Seguimiento real de la trayectoria [3].

Con el fin de cuantificar el error, se obtienen los valores individuales de cada parámetro de la pose del Pioneer 3-DX, visto en 18, determinando un seguimiento adecuado para la pose del robot.

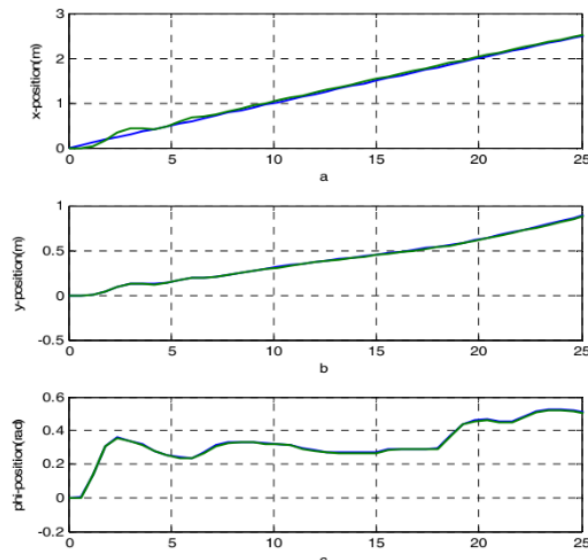


Figura 18: Errores de pose en el seguimiento de trayectoria [3].

4. Conclusiones

Para finalizar, ya presentados los tres artículos relacionados a la implementación de tecnologías IIOT para el desarrollo efectivo de AGVs en la industria, es pertinente mencionar la efectividad del análisis de profundidad que se logra obtener con diferentes tipos y configuraciones de sensores de profundidad. Es gracias a esto que se logran diseñar trayectorias adecuadas para los AGV mediante algoritmos PRM, donde, mediante la implementación de controladores de lógica difusa, es posible realizar un seguimiento de las trayectorias establecidas, e incluso de la evasión de obstáculos dinámicos mediante a cambios de trayectoria calculados en tiempo real.

Con todo y lo anterior, es importante mencionar la importancia de las mejoras tecnológicas de la última década, que han logrado implementar redes de comunicación eficientes y que logran separar las diferentes etapas del sistema con el fin de optimizar recursos, eficiencia, y espacios.

Referencias

- [1] Yu, W. S., Chen, C. C. (2019). Cloud Computing Fuzzy Adaptive Predictive Control for Mobile Robots. Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2018, 4094–4099. <https://doi.org/10.1109/SMC.2018.00694>
- [2] Fernando, T., Gammulle, H., Walgampaya, C. (2015, July 14). Fuzzy logic based mobile robot target tracking in dynamic hostile environment. 2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications, CIVEMSA 2015. <https://doi.org/10.1109/CIVEMSA.2015.7158609>
- [3] Fareh, R., Rabie, T., Baziyad, M. (2017). Tracking Control For Wheeled Mobile Robot Using RGBD Sensor. 2017 4th International Conference on Control (CoDIT'17).