

Estrategia de detección de tuberías basada en Planeación Difusa

J.J. López-Villalobos^a, J. Valderrama Chairez^b, M. Pérez Ruvalcaba^c, E. Gonzalez Cime^d and S. Garza Sánchez^e.

^a Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Nuevo León, Av. Eloy Cavazos 2001, Col. Tolteca, jjlopez@itnl.edu.mx, Guadalupe N.L., MEXICO.

^b Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Nuevo León, Av. Eloy Cavazos 2001, Col. Tolteca, jose.valderrama@itnl.edu.mx, Guadalupe N.L., MEXICO.

^c Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Nuevo León, Av. Eloy Cavazos 2001, Col. Tolteca, manuel.perez@itnl.edu.mx, Guadalupe N.L., MEXICO.

^d Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Nuevo León, Av. Eloy Cavazos 2001, Col. Tolteca, egcime@itnl.edu.mx, Guadalupe N.L., MEXICO.

^e Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Nuevo León, Av. Eloy Cavazos 2001, Col. Tolteca, silvia.garza@itnl.edu.mx, Guadalupe N.L., MEXICO.

Resumen

En el presente artículo se tienen dos problemáticas a resolver que es la detección de tuberías del sistema hidráulico de Monterrey N.L., en cuanto a su ancho y longitud, derivado de lo anterior establecer la mejor estrategia para tomar dichos tubos para ser transportados para su reparación o sustitución. Como herramientas de modelado se tienen la lógica difusa y tarjetas de sistemas embebidos con posibilidad de integración de herramientas para la industria 4.0, las cuales se evaluarán para su posible aplicación en un sistema de robot móvil que apoye estas maniobras con las tuberías hidráulicas.

Palabras clave—Lógica Difusa, Sistemas Embebidos, Aplicaciones Industriales, Industria 4.0, Robótica.

Abstract

In this article there are two problems to be solved, which is the detection of pipelines of the hydraulic system of Monterrey, NL, in terms of their width and length, derived from the above establishing the best strategy to take said tubes to be transported for repair or replacement. The modeling tools include fuzzy logic and embedded system cards with the possibility of integrating tools for industry 4.0, which are evaluated for possible application in a mobile robot system that supports these maneuvers with hydraulic pipes.

Keywords— Fuzzy Logic, Embedded Systems, Industrial Applications, Industry 4.0, Robotics.

1. INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo de este proyecto se generó por la necesidad que el sistema de Agua y Drenaje de Monterrey IPD tiene en el servicio de reparación de tuberías con acceso difícil; coincidentemente se tiene existe una competencia de robótica IEEE Latinoamericana que tiene una necesidad similar; con lo cual se hace en el presente trabajo una propuesta de prototipo para desarrollar un robot móvil el cual mediante un mecanismo de detección de tuberías y de toma de éstas. En base a las experiencias de uso de herramientas con lógica difusa, dado que

ya se conocen los antecedentes de las necesidades y acciones a realizar, se aprovecha el uso de *Xfuzzy* como un facilitador y la experiencia en la aplicación previa se hace la propuesta de modelos de automatismos aplicados para la medición y acciones a tomar sobre las tuberías [8-13]. Dentro de las estrategias mostradas en [6, 7] nos da la idea para una aplicación de estas técnicas para hacer nuestra propuesta inicial para el manejo de las tuberías, usando fusión de datos para una correcta selección. El presente artículo se divide en cinco partes en donde la primera parte es esta misma introducción, la segunda menciona las estrategias basadas en lógica difusa para poder aplicar a las diversas métricas de control que deben usarse en los robots en la medición y sujeción, en la tercera parte se explica como interactúan los dos robots (agentes) involucrados (uno identificador de tuberías y otro recolector), la cuarta parte se centra en las estrategias de implementación en los sistemas embebidos de acuerdo al mundo de acción y/o aplicación y la última parte se hablara de las conclusiones que se obtuvieron el desarrollo del proyecto y así mismo las acciones a seguir previstas.

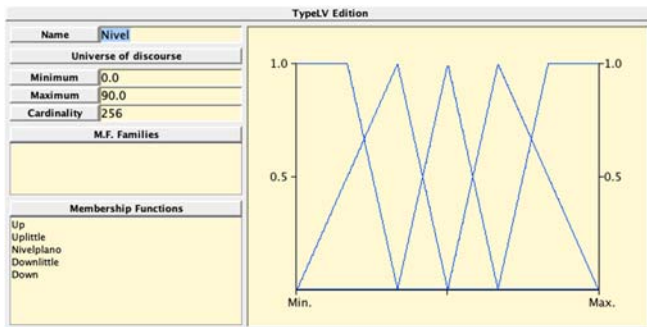
2. ESTRATEGIA DE AJUSTE A UN MODELO DIFUSO

En esta parte cabe mencionar que debido a que es un proyecto en etapa inicial de desarrollo, se tiene que partir de que los conjuntos difusos a definir debemos considerar funciones normalizadas con figura relativamente simétrica previamente ajustada de acuerdo a experiencia previa, para esto se consideran conjuntos de tipo triangular y trapecioide. Por otro lado un aspecto es la definición de las entradas y salidas de cada uno de los controles, que para este caso tienen que ver con la correcta ubicación de las tuberías y de éstas con respecto al robot que las manipularás, lo anterior en cuanto más definido se encuentre, ayudará al disminuir las fallas de operación de los robots involucrados, la precisión empieza desde una correcta selección de los conjuntos difusos a seleccionar ligados a los sensores de los robots (agentes) [1, 3, 14-16].

A. Entradas

En este caso se tienen dos estrategias utilizadas para la fuzificación las cuales basadas en [2, 4, 5, 17], son min-max y min-prod, en este caso se tienen las siguientes entradas de los sensores: Sensor de proximidad ultrasónica, sensor de contacto y temporizadores (contador), replicado en dos caras del robot.

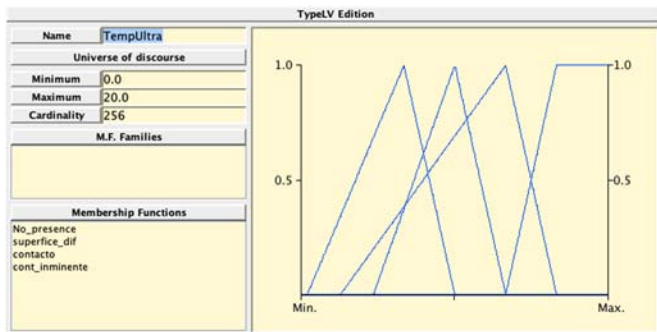
Figura 1. Conjunto difuso para detección de tubería, basado la detección de nivel con respecto al robot.



B. Salidas

Se trabajó con dos estrategias de desfuzzificación que de acuerdo a los resultados obtenidos una basada en el centro de gravedad y el otro en función del valor promedio máximo de las salidas más representativas. Dichas salidas ajustan la respuesta de los motores del robot y los mecanismos de sujeción de la tubería a desplazar.

Figura 2. Otro modelo de conjunto difuso de comportamiento del sensor ultrasónico de respaldo para ubicar la tubería.



C. Algoritmo

En general se procura que el número de entradas y salidas involucradas sea simétrico en lo posible, con el fin de crear módulos de control que se puedan integrar en los robots (agentes). Se manejan tres grupos de entradas: Sensores de ubicación tubo, tamaño de tubo (físico) y de distancia a robot.

Figura 3. Sistema de control difuso para medición de posición de nivel de tubería.

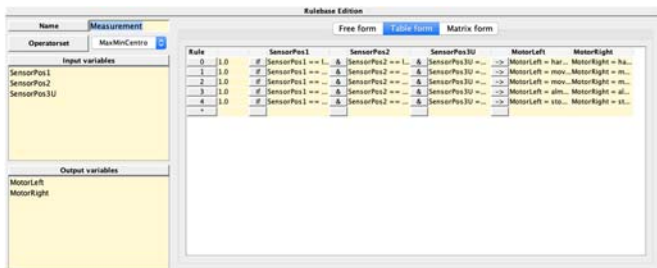


Figura 4. Estrategia de control difuso para detectar daño de tuberías.

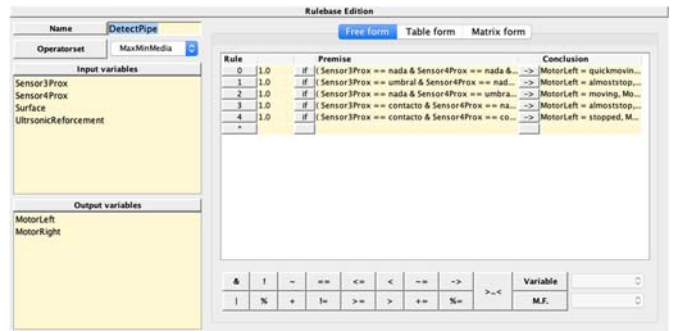


Figura 5. Control integrado para análisis de alineamiento de tuberías, modelo en Xfuzzy.

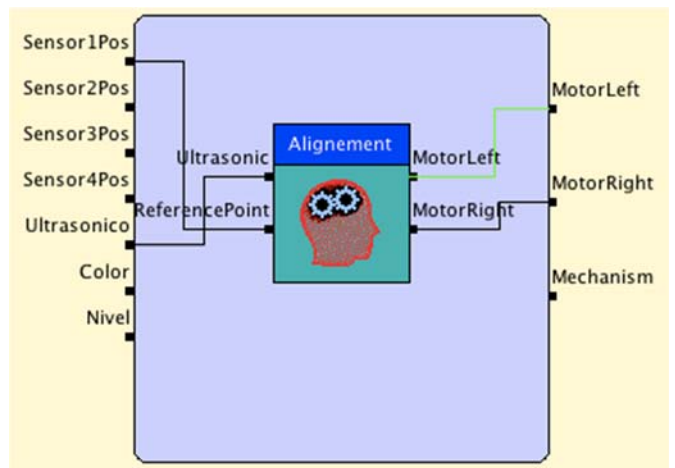


Figura 6. Control de robot difuso para el contacto de robots (agentes) y garantizar que esten alineados ambos, para evitar caídas de tuberías.

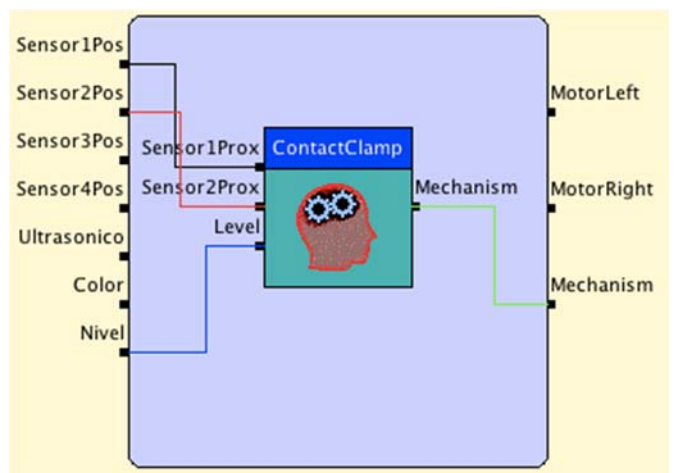


Figura 7. Respuesta del controlador anterior, en donde se tiene una respuesta de alineamiento del motor izquierdo, de igual manera se tiene un modelo complementario en el motor derecho en los que intervienen las mismas variables, hay concurrencia en los controles.

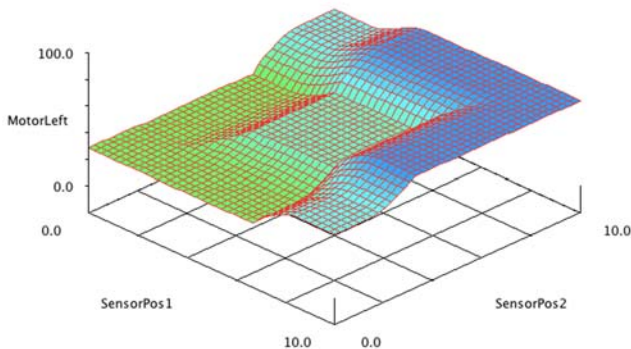
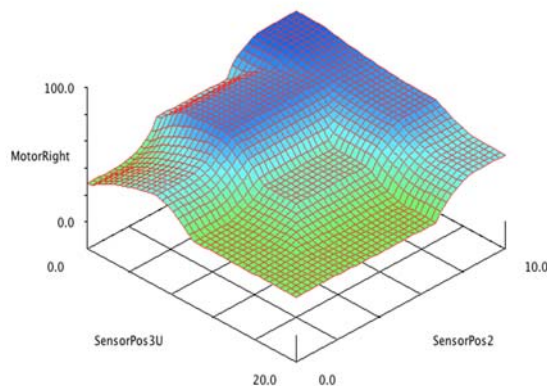


Figura 8. Respuesta de variables de detección de tuberías, en el robot detector y su respectivo control en uno de los motores.



3. PLANEACIÓN DE MOVIMIENTOS DEL ROBOT

En el uso de multi-agentes robóticos es necesario para establecer la planeación de los movimientos y acciones que en conjunto a los módulos de control reactivos definidos, logrará que los robots interactuen correctamente, para lo cual en este proyecto tenemos dos tipos de robots (agentes) que interactúan entre sí con un protocolo estandarizado basado en tecnologías inalámbricas propias del uso de internet, pasando los robots a ser ahora cosas integrantes de la red.

Figura 9. Estructura del robot de prueba, en donde los prototipos de desarrollarán con estructuras de LEGO EV3©



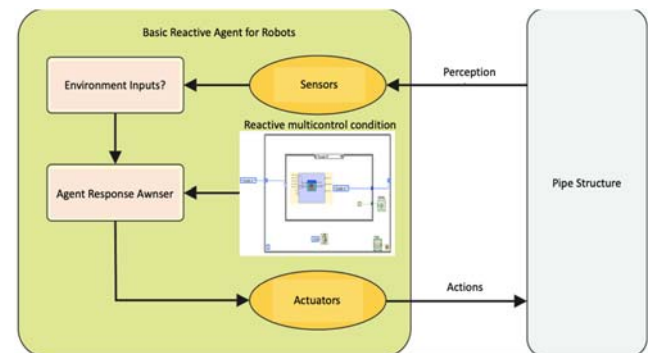
A. Robot de detección de tubería PFDR

La labor principal de este robot es identificar ruturas en la tubería, que aunque se hace por evaluación superficial con sensores de proximidad móviles y fijos para parametrizar ubicación e informar al agente de su existencia. La primer rutina hace un corrimiento de inspección de toda la tubería instalada de manera lateral, hecho lo anterior se sabe el tamaño de la rutura para informar al otro robot y a los técnicos sobre las necesidades de reparación. Su desplazamiento esta topado por los desplazamientos en paralelo a la tubería en cuestión y hacia el área de enlace con el otro robot, marcando uno o dos puntos de encuentro únicamente [13, 14, 15]. La estructura incluye un chasis de base rectangular, véase figura 9, en el cual se le montan los sensores y actuadores que utilizará, los cuales son los siguientes (nombre, cantidad):

- a) Sensor de distancia ultrasónica, uno
- b) Sensor de proximidad, cuatro
- c) Sensor de color, uno
- d) Sensor de nivel, uno
- e) Motores servos, tres

Se tiene implementado un mecanismo de automatización para la sujeción/liberación del tubo a reparar, que se activa con uno de los motores servos. Los otros dos motores son para garantizar el desplazamiento del robot en el área de tuberías y de intercambio.

Figura 10 Agente implementado para prueba en robots, utilizando LabView/EV3 como herramienta de software para implementación.



B. Robot de preparación PPR

Este agente es un robot logístico que mediante comunicación previa con otro robot, provee y recoge material de los almacenes en donde se guarda la tubería; éste recolecta lo que requiere y establece rutas críticas para la solución de abastecer de material de trabajo. Detecta los diversos almacenes para ir por cada uno de los tubos correspondientes al tamaño requerido para la reparación. Al igual que el robot previo, se mantiene la simetría de sensores y actuadores.

C. Protocolo de Comunicación de Robots

La estrategia de comunicación empieza poniendo a punto los dos robots, dado que deben de iniciar de puntos fijos, cada

robot hara la vuelta inspección de los almacenes y de la tubería a revisar; terminando ambos robots pasan el inventario de las tuberías listas en el almacen y las tuberías averiadas; el robot PFDR solicita el primer tubo, el robot PPR va por el tubo y espera al que robot PFDR vaya por él, entonces este último procede a instalarlo en su lugar. Esta rutina se repite según la necesidad de tuberías reportadas como dañandas. Terminadas las reparaciones los robots vuelven a su posición de origen.

Como protocolo de comunicación WiFi es nuestra base en la banda de 5GHz con los estándares de configuración propios de las redes de Internet de las Cosas IoT. En cuanto a los protocolos se detectan las secuencias propias y se activan las banderas para poder seguir la secuencia de comunicación. En pruebas de comunicación de campo abierto no se tienen referencias de interferencias ni bajos niveles de señal.

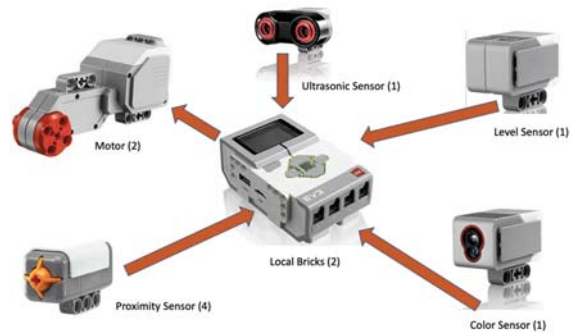
4. IMPLEMENTACIÓN DEL ROBOT

La plataforma de desarrollo embebido de cualquiera que fuese la aplicación, tiene coincidencias tecnológicas que llevan a la posibilidad de utilizar estrategias de implementación de software a través de las similitudes en la plataforma de implementación de software, por lo anterior se establecen dos estrategias que nos ayudarán a definir plataformas de hardware adecuadas de acuerdo al tamaño y características del robot a plantear; hay que tomar en cuenta que los sensores y motores utilizados son los mismos, pero en presentación diferente, con lo cual que su adaptación y utilización es transparente, dado que en hardware es la misma estructura con estrategias de programación en software diferentes de acuerdo a la actividad de cada robot en este caso. En este caso al tener en cuenta que el tipo de procesadores embebidos que se usan son de tipo ARM 8 y 9 respectivamente, el manejo de sistemas operativos propios con una herramienta común de implementación de los programas de los agentes, en este caso LabView da la pauta de facilidad de migración entre plataformas de hardware. Destacando que ya existen herramientas de migración hacia Python aplicandola directamente a Lego© y Raspberry, en donde la conversión de C++ a Python, aunque manual, relativamente simple dados los controladores difusos propuestos, también de igual manera no complejos y adaptables a las estructuras de los agentes utilizados tanto en el robot PFDR y PPR.

A. Aplicando en LEGO© EV3

El uso de la plataforma LEGO© EV3 tiene la ventaja de poder utilizar de manera rapida los diversos sensores y actuadores para la estructura mecánica de los robots, con sensores de fácil calibración y ensamble, al tener estandarizados el número de puertos de entrada y salida puede ser una limitante en cuanto a los puertos requeridos, con lo que implica en dado caso, el uso de dos CPUs para complementar las entradas requeridas; en cuanto a infraestructura mecánica no se ve afectada únicamente en los mecanismos de sujeción de tubería que se debe ajustar para evitar interferencias al traspazar las tuberías entre robots.

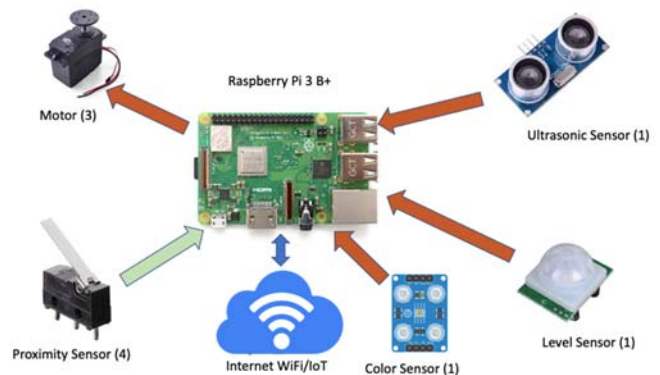
Figura 11. Elementos del robot construido en LEGO© para pruebas



B. Aplicando en Raspberry

En el caso de Raspberry también ofrece una estrategia de aplicación aún más versátil para aplicaciones del mundo real, dadas las características de la propia tarjeta y además de una evolución tecnológica constante. De la misma forma se tienen los mismos sensores, pero implica la construcción más específica de los robots a construir y sus diversos adaptadores, incluyendo la posibilidad de manufacturar las diversas partes mecánicas del chasis del robot y de sus elementos mediante maquinado tradicional o de tipo aditivo, con herramientas como las impresoras 3D. De igual manera el uso de la plataforma de diseño de los agentes usan las mismas herramientas en software para desarrollo, lo que enfoca la parte mecánica, la que más desarrollo implica al tomar en cuenta parámetros como lo son los de mecanismos y de resistencia de materiales. En esta parte se hizo una propuesta de implementación con este tipo de controlador reutilizando el chasis del robot utilizado en LEGO© EV3.

Figura 12. Elementos de Sistema basado en Raspberry



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado del modelo de las estrategias de detección se tuvo un comportamiento o conducta aceptable en la implementación de los modelos difusos desarrollados en Xfuzzy e implementados con LabView en los robots, el margen de error en respuesta de los programas implementados promedia un 17 %, por el proceso de desfuzzificación que puede ser mejorado aún más en otra etapa. En cuanto a la implementación en el sistema Raspberry se implemento el algoritmo de detección de tuberías únicamente, en ese caso se tuvo una mejora en la defuzzificación en cuanto a cálculos,

reduciendo su error al 8 % con respecto a lo del simulador *Xfuzzy*. Se implemento en Python dicho algoritmo. El total de pruebas hechas con estas herramientas fue de 50.

En cuanto a la implementación de los modelos ya identificados con la herramienta *Xfuzzy* hacia LabView y Python, fue relativamente sencilla, con los ajustes propios del programa en el que se implementaron los modelos previamente analizados. Los tres algoritmos tanto de detección, medición y toma de tuberías fueron implementados sin problema, salvo con las mejoras a realizar en el refinamiento de los controles para mejorar aspectos de defuzzificación.

Por otro lado, al ser implementados a través de prototipos experimentales, pueden ser aprovechados para eventos académicos del ámbito de la robótica como se mencionó anteriormente, facilitando la formación de jóvenes talentos.

5.1 Observaciones generales

Nuestro agradecimiento al Tecnológico Nacional de México por la disposición de equipamiento y al Ayuntamiento de Allende Nuevo León, por las facilidades prestadas para el desarrollo del proyecto. De igual manera a la dependencia estatal Agua y Drenaje de Monterrey IPD, quién aportó el acceso al sistema hidráulico para pruebas de campo y generador de la necesidad del proyecto.

6. REFERENCIAS

- [1] Cabrera, A., Senhadji, R., Sánchez Solano, S., Barriga Barros, Á., Jiménez Fernández, C. J., & Llanes, O. (2002). Development of level controllers based on fuzzy logic. In *Proc. 1st International ICSC-NAISO Congress on Neuro-Fuzzy Technologies (NF2002)* (2002), p 1-7.
- [2] Solano, S. S., Barriga, A., Baturone, I., López, D. R., & Velo, F. M. (2000, September). Curso de Diseño de Controladores Difusos Mediante el Entorno de Desarrollo *Xfuzzy*. In *IV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (TAEE, 2000)*, Barcelona (pp. 13-15).
- [3] Acampora, G., Fischetti, E., Gisolfi, A., & Loia, V. (2010). An advanced IDE for designing transparent fuzzy agents. In *Intelligent Industrial Systems: Modeling, Automation and Adaptive Behavior* (pp. 238-255). IGI Global.
- [4] Mun, J., Shin, M., Lee, K., & Jung, M. (2009). Manufacturing enterprise collaboration based on a goal-oriented fuzzy trust evaluation model in a virtual enterprise. *Computers & Industrial Engineering*, 56(3), 888-901.
- [5] Barriga, A., Baturone, I., Sánchez, S., & Senhadji, R. (1970). Síntesis hardware de sistemas difusos mediante el entorno de desarrollo *Xfuzzy*.
- [6] Waltz, E., & Llinas, J. (1990). Multisensor data fusion.
- [7] Hall, D. L., & McMullen, S. A. (2004). Mathematical techniques in multisensor data fusion.
- [8] Vasilijevic, A., Calado, P., Lopez-Castejon, F., Hayes, D., Stilianovic, N., Nad, D., ... & Guerrero, A. (2015, May). Heterogeneous robotic system for underwater oil spill survey. In *OCEANS 2015-Genova* (pp. 1-7). IEEE.
- [9] Goheen, K. R. (1991). Modeling methods for underwater robotic vehicle dynamics. *Journal of Robotic Systems*, 8(3), 295-317.
- [10] Horodincu, M., Doroftei, I., Mignon, E., & Preumont, A. (2002, June). A simple architecture for in-pipe inspection robots. In *Proc. Int. Colloq. Mobile, Autonomous Systems* (pp. 61-64).
- [11] Kawaguchi, Y., Yoshida, I., Kurumatani, H., Kikuta, T., & Yamada, Y. A. Y. Y. (1995, May). Internal pipe inspection robot. In *Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (Vol. 1, pp. 857-862). IEEE.
- [12] Singh, T., Tiwari, D. R., Anand, P., Raza, M., Singh, R. K., & Sharma, S. (2019). Pipe Inspection Robot. *Invertis Journal of Science & Technology*, 12(2), 34-36.
- [13] Starr, J., Lettman, J., Kueny, T., Salotti, F. J., & Konakchiev, G. (2019). *U.S. Patent Application No. 10/309,949*.
- [14] Railsback, S. F., & Grimm, V. (2019). *Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction*. Princeton university press.
- [15] Borgo, S., Cesta, A., Orlandini, A., & Umbrico, A. (2019). Knowledge-based adaptive agents for manufacturing domains. *Engineering with Computers*, 35(3), 755-779.
- [16] Anureev, I., Garanina, N., Liakh, T., Rozov, A., Schulte, H., & Zyubin, V. (2019, April). Towards Safe Cyber-Physical Systems: the Reflex Language and Its Transformational Semantics. In *2019 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)* (pp. 1-6). IEEE.
- [17] Baturone, I., Brox, P., & Arjona, R. (2010). Diseño de sistemas difusos para procesamiento de imágenes con *XFuzzy 3*.