

Sistema de Lógica Difusa Para el Reconocimiento y Evación de Obstáculos

Alfaro Cruz Marco Antonio, Gutiérrez Velázquez Luis David
Efrén Gorrostieta, Emilio Vargas
Universidad Autónoma de Querétaro – Facultad de Informática

Resumen

El objetivo de este proyecto es desarrollar un robot capaz de evitar obstáculos de manera autónoma, usando un sensor ultrasónico para adecuarse dentro de un ambiente desconocido. En la actualidad los problemas a resolver por medio de robots tienden a ser mucho más complejos, así mismo su complejidad aumenta en ambientes en los cuales se desconoce el terreno; por lo que obtener sistemas autónomos, capaces de moverse dentro de terrenos cambiantes sin colisionar con elementos del mismo, se han vuelto una pieza esencial en la construcción de robots autónomos, capaces de tomar decisiones para conseguir un objetivo en especial.

El comportamiento conseguido a través de los sistemas difusos es perfecto para adaptarse a la navegación en robots. Por esta razón decidimos desarrollar un robot ligero de dos ruedas, con un comportamiento que se sustenta en reglas difusas, equipado con un sensor ultrasónico capaz de indicar objetos cercanos a él; de forma que se obtenga un sistema eficiente y lo suficientemente capaz para realizar una navegación libre de colisiones en entornos desconocidos.

1. Introducción

El trabajo presentado en las siguientes páginas tiene como objetivo construir un sistema flexible, capaz de lidiar con aspectos de detección y evasión de obstáculos de manera autónoma, sin necesidad de mapas preestablecidos, por medio de un robot móvil que se encuentre en interiores y en un entorno aleatorio.

Para ello definimos que la detección y evasión de obstáculos de manera autónoma, es la habilidad que tiene un agente para desplazarse a través de un ambiente desconocido, corrigiendo su trayectoria para realizar desplazamientos libres de colisiones, pero con muy poca o nula intervención humana.

Esto lo implementamos en un robot, mediante la unificación de las fuentes de percepción (sensores), el razonamiento de la información proporcionada por los mismos, y la acción de los actuadores, los cuales permiten modificar la estructura y/o trayectoria del robot para sortear los obstáculos.

Actualmente la evasión de obstáculos es reconocida como la habilidad que tiene un robot para desplazarse en un espacio desconocido sin impactar con algún elemento que se encuentre dentro del mismo. Este es un tema de sumo interés para desarrollar e implementar la construcción de sistemas que se tengan objetivos más complejos; ya sea el seguimiento de paredes, la navegación autónoma o el seguimiento de algún objeto específico [1]. Por ello, el desarrollo de algoritmos que permitan la detección y evasión de obstáculos de forma flexible, confiable y eficiente en el uso de recursos, se ha vuelto esencial para generar soluciones óptimas.

Las propuestas de estrategias clásicas de detección de obstáculos se fundamentan en la aproximación geométrica y la medición de distancias, las cuales proponen el modelamiento de objetos usando figuras geométricas sencillas. Permitiendo así el cálculo de distancias para prevenir colisiones. Esto se puede apreciar en el trabajo realizado en IEEE-Colombia Workshop, en la que se evalúa una aproximación geométrica de la distancia y la inclinación de obstáculos planos [2].

Aunque las propuestas de control que se encuentran fundamentadas en métodos y lógica clásica, han propuesto soluciones a estos problemas, las propuestas hechas con la lógica difusa a diferencia de aquellas técnicas proveen un sistema tolerante a la imprecisión, la incertidumbre y la verdad parcial [3]. La lógica difusa permite desarrollar e implementar de forma sencilla, sistemas capaces de comportarse de manera óptima y flexible

en situaciones cotidianas del mundo real, que con frecuencia son problemáticas no lineales.

2. Proyecto

En este proyecto se construyó un pequeño robot, cuyo objetivo es actuar de forma autónoma. Para esto el robot se sustenta en dos ruedas paralelas permitiéndole control de movimiento, la parte trasera de la estructura cuenta con una rueda giratoria para poder moverse con libertad y así equilibrarlo. Cada una de las ruedas paralelas cuenta con un motor que las controla. Dichos motores responden a nuestras variables de salida, lo que permite solucionar el problema de la planificación de los movimientos, requisito indispensable para poder evadir obstáculos y conseguir nuestro objetivo.

Es apropiado indicar que para la implementación de nuestro robot, asumimos:

- Una situación en la que ambas ruedas se encuentran de forma perpendicular sobre una superficie lisa.
- Que el entorno en el que se encuentra inmerso el agente, queda definido por los obstáculos, los cuales son susceptibles a producir colisiones cuando se realizan movimientos dentro del ambiente.
- Que los obstáculos se encuentran en tres dimensiones, con una altura tal, que permiten estar dentro del rango de visión del sensor, y también que su estado común de movimiento es estático; esto indica que su posición no variara con el tiempo. Sin embargo el robot incluye un pequeño y sencillo sistema de contingencia para evitar colisiones con objetos que se le presentan de forma imprevista o repentina frente a él.

Para detectar y evitar obstáculos nuestro robot (presentado en la Fig. 1) posee un sensor ultrasónico el cual se mantiene a 90° con respecto al eje de nuestro servomotor donde se encuentra montado, percibiendo así los objetos frente a él, estos en un ángulo de apertura de 15° . El sensor envía información en tiempo real referente a la proximidad de los objetos en un rango de 2 a 200 cm.

El servomotor se puede controlar al indicar su posición mediante un PWM. El ángulo de ubicación del motor depende de la duración del nivel alto del pulso de la señal. Cada servomotor, dependiendo de la marca y modelo utilizado, cuentan con sus propios márgenes de operación [4].

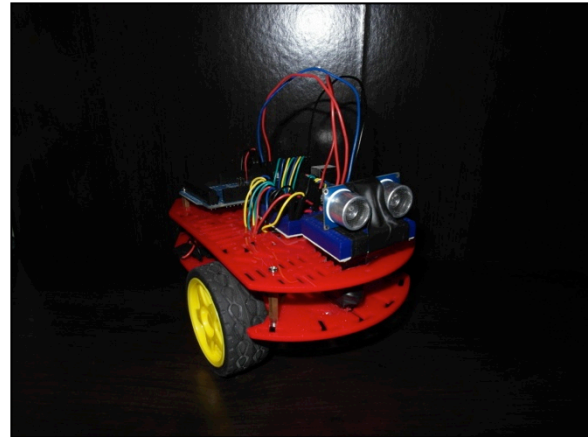


Fig. 1 Robot con dos ruedas y un sensor ultrasónico

La acción de mapeo se consigue una vez que algún objeto se presenta frente al robot, accionando el movimiento del servomotor a ángulos respectivos, lo que nos permite realizar un mapeo a la izquierda (Sensor Izquierdo) y derecha (Sensor Derecho); ya con los datos obtenidos adquirimos nuestras dos variables de entrada, para así poder realizar nuestro sistema difuso. La existencia y manejo de estas dos variables se representa en la Fig. 2.

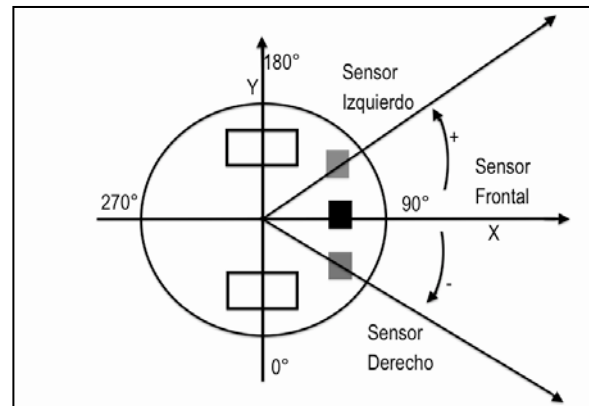


Fig. 2 Manejo del mapeo.

Para poder accionar el movimiento del robot, este cuenta con dos motorreductores montados a la estructura, los cuales controlan de forma independiente a cada rueda. Esta configuración, aunada a la toma de decisión permite controlar de forma eficiente la dirección del robot.

3. Reglas de Inferencia

Las cualidades de la lógica difusa, nos permiten realizar sistemas que sean capaces de responder de manera óptima, aunque se encuentren en situaciones imprevistas. En este trabajo ocupamos

una estructura sencilla, pero lo suficientemente adaptable y competente para la resolución del problema planteado, dicha estructura se implementa de la siguiente forma:

- Fusificación de las entradas.
- Motor de inferencia impulsado por las reglas difusas.
- Defusificación de las salidas y la transformación de las mismas en acciones [3].

Para que nuestro robot sea capaz de evadir obstáculos, debe de poder transformar la información obtenida por nuestro sensor en una serie de conjuntos difusos. Dentro del centro de procesamiento se deben de analizar las reglas que integran el motor de inferencia para poder sacar un conjunto difuso de cada variable de salida. Después de esto debemos de transformar estas salidas en variable que sean capaces de indicar a los motores como deben de responder. Esta integración de variables se demuestra en la Fig. 3

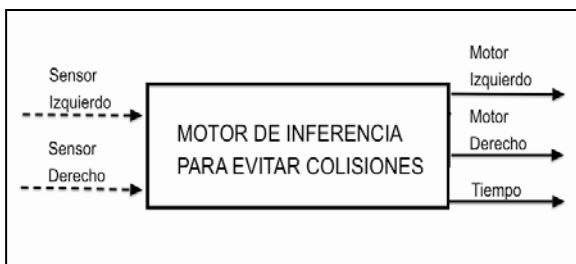


Fig. 3 Funcionamiento lógico del robot

3.1 Fusificación de las variables

Para este proyecto se ocuparon las funciones de membresía triangulares (Fig. 4) debido a su simplicidad tanto para analizarlas como para implementarlas. Estas funciones de membresía proveen un grado de membresía a nuestras variables, dicho grado de membresía va desde 1 a cero, pasando por los valores intermedios. Donde uno significa una pertenencia total al conjunto difuso F y cero significa una pertenencia nula a dicho conjunto F [5].

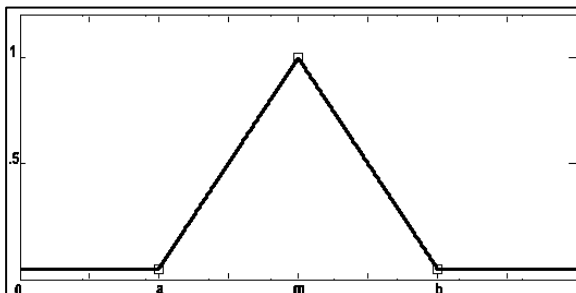


Fig. 4 Ejemplo de una función triangular

La fórmula para obtener los valores de membresía de la función presentada en la fig. 4, se describe a continuación:

$$\mu_A(d) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & a < x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m} & m \leq x < b \\ 0 & x \end{cases}$$

Donde “x” puede corresponder a nuestras variables de entrada o de salida según sea el caso; “a” corresponde al inicio de la función triangular, “m” al punto más alto de la función y “b” al final de la misma. A partir de este momento haremos referencia a esta descripción mediante el uso de vectores que tendrán la forma [a, m, c].

Para nuestras variables de entrada, que fueron dos: sensor izquierdo y derecho, ocupamos tres funciones de membresía: corto, mediano y largo. El universo de discurso es de 6 - 32 cm, esto se debe a las restricciones de percepción del sensor; aunado a esta restricción, también debemos de considerar el tamaño del propio robot; después de algunas pruebas llegamos a la conclusión de que intentar un giro a una distancia menor a 6 cm sería imposible de efectuar. Nuestras funciones de membresía se representan mediante los siguientes vectores:

Corto [s; 2 6 9]
Mediano [s; 6 16 24]
Largo [s; 16 32 32]

En el caso de nuestra salida desarrollamos tres variables. De las cuales, dos son similares y se componen de dos funciones de membresía: Reversa y Adelante, que representan en porcentaje las revoluciones por minuto de nuestros motores. El universo de discurso de estas variables es de -150 a 150, esto se debe a la cantidad de voltaje que podemos enviar a nuestros motores. Nuestras funciones de membresía se representan mediante los siguientes vectores:

Reversa [rpm; -150 -150 -30]
Adelante [rpm; 30 150 150]

Además de esas dos variables incluimos una tercera que es el tiempo en el cual se ejecutará el movimiento de nuestros motores. Esta variable se compone de tres funciones de membresía Corto, Mediano y Largo. Su universo de discurso es de 200

a 500 milisegundos. Las funciones de membresía pueden representarse mediante los siguientes vectores

Corto [t; 200 200 320]
Mediano [t; 230 350 470]
Largo [t; 380 500 620]

3.2 Reglas

Como mostramos en la Fig. 3 nuestro sistema funciona por medio de dos entradas y tres salidas. Las entradas que son dos, representan las distancias que existe entre los obstáculos y el robot. Las salidas que son tres, representan la dirección- porcentaje de rpm y el tiempo de los motores. Después de una serie de pruebas decidimos que un conjunto de nueve reglas satisfacen las exigencias del problema sin requerir demasiado tiempo de procesamiento. Nuestras reglas son:

(1) REVERSA CON TIEMPO CORTO: Si el obstáculo se encuentra a corta distancia de la parte frontal-izquierda y frontal-derecha del robot.

(2) GIRO A LA DERECHA CON TIEMPO MEDIANO: Si el obstáculo se encuentra a corta distancia de la parte frontal-izquierda y a mediana distancia de la parte frontal-derecha del robot.

(3) GIRO A LA DERECHA CON TIEMPO LARGO: Si el obstáculo se encuentra a corta distancia de la parte frontal-izquierda y a larga distancia de la parte frontal-derecha del robot.

(4) GIRO A LA IZQUIERDA CON TIEMPO CORTO: Si el obstáculo se encuentra a mediana distancia de la parte frontal-izquierda y a corta distancia de la parte frontal-derecha del robot.

(5) GIRO A LA DERECHA CON TIEMPO MEDIANO: Si el obstáculo se encuentra a mediana distancia de la parte frontal-izquierda y a mediana distancia de la parte frontal-derecha del robot.

(6) GIRO A LA DERECHA CON TIEMPO LARGO: Si el obstáculo se encuentra a mediana distancia de la parte frontal-izquierda y a larga distancia de la parte frontal-derecha del robot.

(7) GIRO A LA IZQUIERDA CON TIEMPO CORTO: Si el obstáculo se encuentra a larga distancia de la parte frontal-izquierda y a corta distancia de la parte frontal-derecha del robot.

(8) GIRO A LA IZQUIERDA CON TIEMPO MEDIANO: Si el obstáculo se encuentra a larga distancia de la parte frontal-izquierda y a mediana distancia de la parte frontal-derecha del robot.

(9) GIRO A LA DERECHA CON TIEMPO LARGO: Si el obstáculo se encuentra a larga distancia de la parte frontal-izquierda y frontal-derecha del robot.

3.3 Defusificación

Se realiza una operación que tiene como objetivo producir una acción de control no difuso, por lo que se transforman los conjuntos difusos en un valor nítido.

De los muchos métodos con lo que cuenta la defusificación, optamos por elegir el método de resolución del centro de gravedad, por su sencillez y capacidad para dar una respuesta de control al sistema.

Este método genera el centro del área del conjunto difuso, resultando así en una acción de control. Los tipos de inferencia de uso más frecuente son: Mamdani, Larsen, Drastic Product y Bounded Producto, aunque actualmente se plantea que se puede utilizar cualquier norma triangular para este fin [6].

4. Análisis y Resultados

El sistema mostró ser eficiente frente a obstáculos, se puede observar en la Fig. 5 y 6 que el modelo propuesto detecta y esquiva obstáculos mediante giros decisivos, logrando así que el robot pueda seguir caminos fiables.

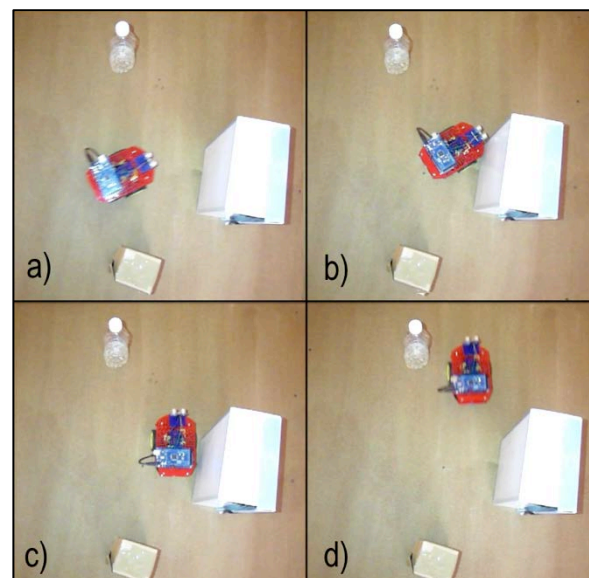


Fig. 5 Evasión a la izquierda

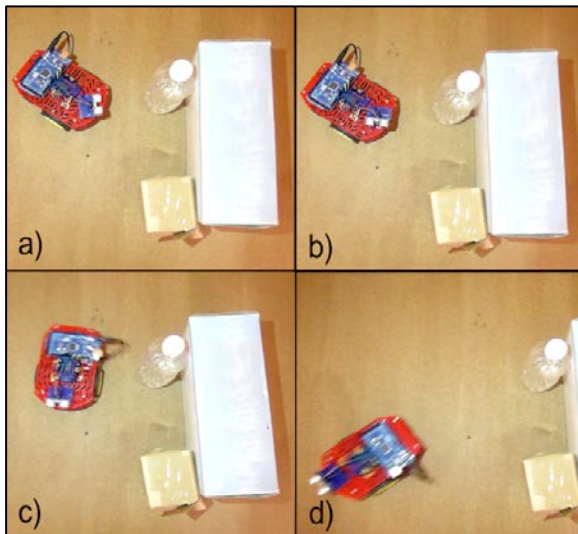


Fig. 6 Retroceso del robot y evasión a la derecha

Al encontrarse inmerso en un lugar donde los objetos, en todos los sentidos se encuentran demasiado cercanos, logra actuar de forma adecuada, tomando la decisión de ir hacia atrás para poder encontrar una ruta más libre como se puede ver en la Fig. 7.

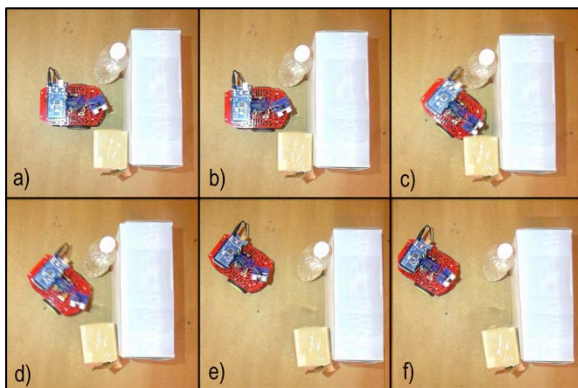


Fig. 7 Retroceso

Al poder decidir la dirección que va a tomar en función de los cambios que se van presentando delante de él. Podemos constatar como el sistema es capaz de evitar colisiones con objetos, permitiendo un movimiento más fluido.

5. Conclusiones

En este proyecto presentamos un robot (Fig. 1) basado en sensores que permite la detección y evasión de obstáculos en un ambiente desconocido, mediante el uso de un sistema de lógica difusa que traduce las percepciones del sensor en acciones realizadas por los actuadores (motores).

Para encontrar rutas alternativas consideramos lento al sistema, ya que proponemos que cada vez que encuentre un obstáculo frente a él éste empiece a mapear su entorno, lo cual hace que se demore para tomar decisiones. Sin embargo una mejora en la capacidad de cómputo, el añadido de más sensores, no solamente de localización de obstáculos sino de una retroalimentación, resultaría en un modelo mucho más eficiente, cuya principal ventaja sería el análisis (con más reglas difusas) y la toma de decisiones respecto a la dirección en tiempos de trayectoria.

Con una mirada puesta en un desarrollo aún mayor, este sistema permite escalar a problemas complejos en los que se sigue una meta mucho más definida, como es el seguimiento de objetos o la navegación autónoma hacia un punto específico del espacio inmerso.

Referencias

- [1] Rusu C., Birou I., Szöke E. "Fuzzy Based Obstacle Avoidance System for Autonomous Mobile Robot", Technical University of Cluj-Napoca, Rumania, pag. 2, S.F.
- [2] González N. "Sistema de visión por computadora para la medición de distancia e inclinación de obstáculos para robots móviles", IEEE Colombian Workshop on Robotics and Automation. IEEE-Colombia, 14. Cali, Colombia, 2005.
- [3] Jantzen J. "Design of Fuzzy Controllers", Technical University of Denmark, Dept. of Automation, Lyngby, Alemania Technical Report 98-E-864, 1998.
- [4] Londoño J., Ospina J. "Módulo de entrenamiento para el control de posición y velocidad de servomotores usando el sistema Simotion. IEEE, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, 12, Colombia, 2011.
- [5] Mendel, M., Jerry; Fuzzy Logic Systems for Engineering, A Tutorial IEEE Progeedings of the IEEE, Vol. 83, no.3, pag 348, 1993
- [6] Hung C., Fernandez B "Minimizing rules of Fuzzy Logic System by Using a Systematic Approach", IV IEEE International conference of Fuzzy Systems, San Francisco, California, 1999.