

ROBOT MÓVIL INALÁMBRICO PARA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA EN UN MEDIO IDEAL

Henry Palacios Calle Dennis Paredes Sánchez Jorge García Lucich Jorge Aching Samatelo
henrypc@ieee.org dennisps@ieee.org jogarcia@ieee.org

*Estudiantes de Pre-Grado de la Facultad de Ingeniería Electrónica
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú*

Resumen:

La navegación autónoma de vehículos móviles es una interesante área de investigación en Robótica ya que posee varias aplicaciones.

Se plantea el diseño e implementación de un sistema móvil robótico, el cual tendrá cierto grado de libertad debido a su característica de autonavegación, supervisado por una PC. Además se plantea usar un sistema digital completo basado en un microcontrolador de alto desempeño, para implementar los algoritmos de control basados en sistemas inteligentes.

Abstract:

In the field of industrial automatization, the autonomous navigation of mobile vehicles is an interesting area for robotics research due its widely known applications.

This paper develops a design and implementation of a robotic mobile system, which will have a degree of freedom by its characteristic of autonavigation, controlled for a PC. Also, this paper uses a complete digital system based in a high features microcontroller in order to implement the control algorithms based in intelligent systems.

Palabras Claves: Navegación Autónoma, Sensores de Ultrasonido, Control basado en sensores, Motores de Pasos, Envío de datos vía Radiofrecuencia

I. INTRODUCCIÓN

El uso de robots móviles inteligentes se ha incrementado en los últimos años, pues encuentra su campo de aplicación en áreas de automatización industrial y otras. En estas aplicaciones debido a requisitos como: ejecución en tiempo real, portabilidad, flexibilidad y confiabilidad hace que su diseño e implementación sea elaborado y complejo. El diseño de un robot móvil cubre áreas de conocimiento en mecánica, electrónica, sistemas; convirtiéndose en un trabajo multidisciplinario.

El presente trabajo trata sobre el diseño de un robot móvil capaz de desplazarse en un medio de forma manual y autónoma. El robot debe ser capaz de desplazarse en cualquier dirección e identificar los obstáculos que estén presentes en el mismo. Un computador personal supervisará el desenvolvimiento del robot comunicándose continuamente con él a través de una comunicación inalámbrica.

1.1 Descripción del Sistema

El diagrama de bloques del sistema completo se muestra en la figura 1, y consiste de una plataforma mecánica móvil, sobre la cual se tiene un sistema digital basado en un microcontrolador que controla el movimiento del robot a través de motores de pasos, recibe información de su medio ambiente a través de sensores de ultrasonido y mantiene una comunicación bidireccional con una computadora a través de un modem y circuitos transmisores/receptores de radiofrecuencia. La computadora se comunica con el móvil a través de un puerto serial conectado a un modem de radiofrecuencia.

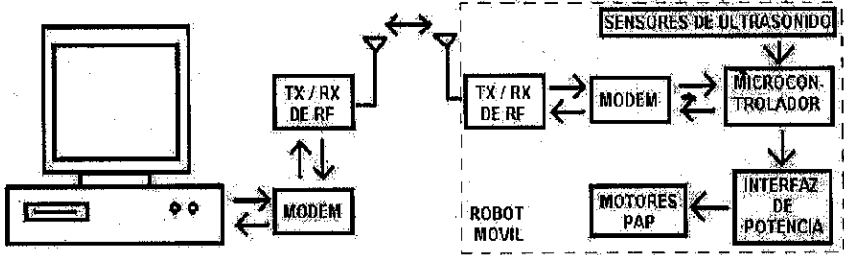


Fig.1 - Diagrama de bloques del Sistema Completo

II. MODELO MECÁNICO

Un robot móvil con un modelo ideal es capaz de desplazarse en cualquier dirección a partir de un punto determinado en un plano o medio ideal uniforme. Para interactuar con su medio ambiente el robot debe ser capaz de sensar ciertas variables físicas del medio (temperatura, presión, humedad, etc), así como identificar obstáculos estáticos. Estas características influyen en el diseño mecánico y en el uso de sensores.

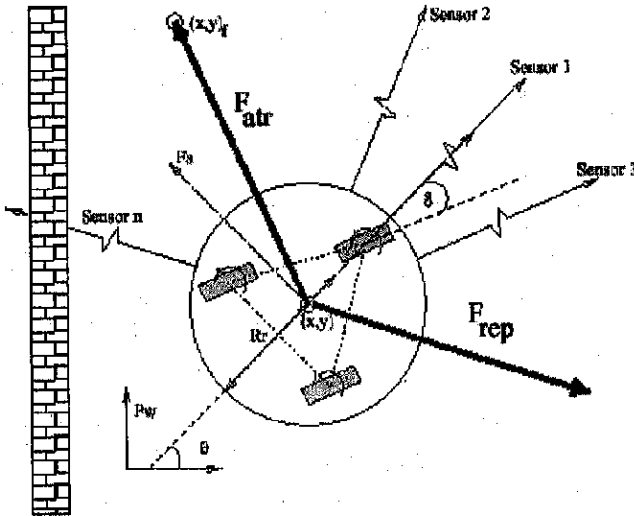


Fig.2 - Modelo de Robot omnidireccional con sensores de distancia en su periferia.

El desplazamiento del móvil está fundamentado en un modelo mecánico que se detalla a continuación. Se tiene un sistema de 4 motores Paso a Paso (PAP), que están dispuestos de la manera en que muestra la figura 3, sobre una plataforma, que es una estructura que contienen los sistemas de tracción y control del robot, además del conjunto de baterías que proveen la energía necesaria.

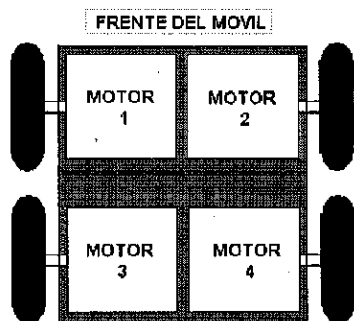


Fig. 3- Disposición de los motores

Estos motores debidamente controlados por secuencias de códigos digitales, son capaces de generar movimientos de magnitud y sentido de velocidad variables. Debido a que su control es digital, éste se puede obtener directamente del puerto paralelo de una PC, o de un Microcontrolador. Los movimientos que puede ejecutar el móvil son, primero, un movimiento en línea recta, sea hacia atrás o hacia adelante; y segundo, un giro sobre su propio eje, el cual puede ser horario o antihorario (giro a la derecha o a la izquierda). El hecho de ejecutar giros sobre su eje lo convierte en un sistema con un modelo ideal, debido que dichos giros no implican la pérdida de la posición que el móvil tenía al iniciar la rotación. Es decir, cuando termina de ejecutar un giro, el móvil mantiene la misma ubicación o punto de referencia previo a dicho giro. Si se requiere un desplazamiento lineal, por ejemplo hacia adelante, es necesario que los motores 1 y 3 ejecuten una rotación antihoraria, mientras los motores 2 y 4, una rotación horaria.

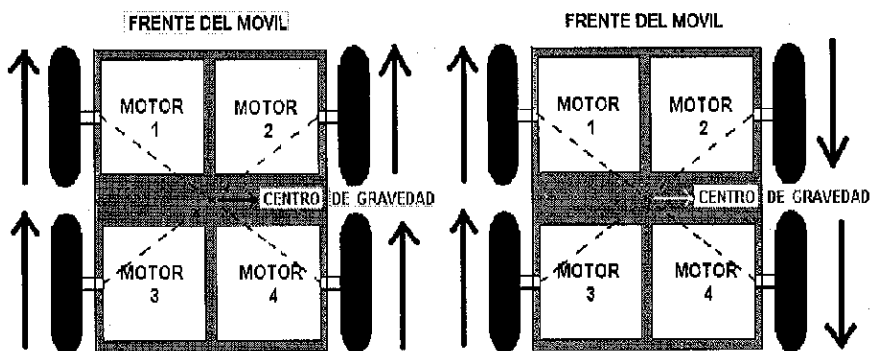


Fig.4a Avance hacia adelante

Fig. 4b Giro a la derecha

De esta manera el móvil logra el desplazamiento hacia adelante (figura 4.a). En cambio para lograr el giro del móvil sobre su propio eje, en sentido horario (a la derecha) por ejemplo, será necesario que los motores 1 y 3 ejecuten una rotación antihoraria, mientras los motores 2 y 4 también deben rotar en sentido antihorario. Esto generará dos fuerzas de igual magnitud pero diferente sentido, ubicadas a cada lado del

móvil. El resultado es la aparición de un torque cuyo punto de acción es el centro de gravedad del móvil, el cual, por diseño es el centro geométrico del mismo [Campion, et al., 1996].

Esto se traduce en una rotación del móvil sobre su propio eje. De manera análoga el móvil puede ejecutar desplazamientos hacia atrás y hacia adelante, así como rotaciones horarias o antihorarias sobre su propio eje. (figura 4b).

III. MOTORES PAP

Algunas características de los Motores PAP: Convierten pulsos eléctricos en movimientos rotacionales discretos. Alcanzan una gran precisión y pueden moverse en incrementos muy pequeños, a costa de un bajo torque. [Peters, 1999] Son ideales para el posicionamiento, muy usados en robótica. No desarrollan grandes velocidades. (figura 5)

El criterio que se siguió para escoger los motores de paso adecuados fueron: primero, deben desarrollar el torque suficiente para que pueda mover su propio peso, además de los circuitos y batería que lleva consigo el móvil. El número de pasos por vuelta debe permitirnos rotaciones suaves, casi continuas.

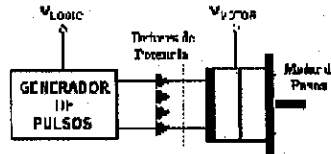


Fig.5 – Manejo del motor de pasos

IV. ENLACE INALÁMBRICO

El enlace inalámbrico que permite la comunicación entre la PC y el móvil se basa en una comunicación Half Duplex implementado con sistemas Transmisores y Receptores de Radiofrecuencia, los cuales permiten un alcance de 15 metros como máximo. La transmisión de datos desde la PC hasta el móvil se establece como sigue: los datos del USART del puerto serial de la PC se llevan de los niveles RS232 a TTL por acción del MAX232, luego este dato se modula con un circuito que deja pasar una señal senoidal de 20 KHz para el nivel lógico "1", y la inhibe para el nivel lógico "0". Este tipo de modulación se llama Modulación por Amplitud para señales digitales.

Esta última señal se envía al espacio con un circuito transmisor que trabaja a 27 MHz. En el móvil, tenemos un circuito receptor sintonizado a la frecuencia del Transmisor, que captura dicha señal modulada. Enseguida un circuito demodulador devuelve la información en formato binario, y en niveles TTL, los cuales son recibidos por el pin de recepción serial del 8051 que gobierna el móvil. La transmisión de datos desde el móvil hasta la PC sigue exactamente el mismo proceso que se acaba de describir, sólo que en sentido inverso. Luego, tanto la PC como el móvil pueden transmitir y recibir información digital entre sí.

V. SENSORES DE ULTRASONIDO

5.1 Ondas Acústicas

Los sensores de ultrasonido son una excelente opción para la implementación de sistemas de sensoramiento externo, permitiendo a los robots móviles interactuar adecuadamente con su ambiente de operación. Las principales características de estos sistemas son su bajo costo, su disponibilidad en el mercado en amplios tipos y su capacidad de ejecutar mediciones de distancia de forma simple y precisa, además de ser inmunes a algunos agentes externos, como luminosidad y ruidos audibles. A partir de la señal recibida de eco, a través de un procesamiento adecuado, es posible además identificar características de los objetos presentes en el medio ambiente de operación [Oliveira, 1997].

Las ondas acústicas son vibraciones mecánicas que se transmiten en un medio material. El término ultrasonido hace referencia a vibraciones de frecuencia mayores al límite de percepción del oído humano (es decir 18KHz).

La constante de propagación de la señal depende entre otros factores de la temperatura ambiental, el cual puede ocasionar pérdida de precisión en los cálculos. Pueden ser despreciados, otros factores como variaciones de presión o de frecuencia [Oliveira, 1997].

Para el caso del aire (medio de propagación), se tiene la ecuación (1) que aproxima la velocidad de la onda (m/s) con la temperatura (°C):

$$v = v_0 + 0.61T$$

Donde v_0 es la velocidad de propagación de la onda acústica a 0°C (331.5m/s)

5.2 Transductores de Ultrasonido

Existen dos tipos de transductores: Transductores piezoeléctricos y transductores electrostáticos o capacitivos. Para el presente trabajo se optó por utilizar transductores del tipo electrostáticos debido a sus características de precisión y rango de cobertura y directividad de su diagrama de radiación pudiendo operar como transmisor y receptor. El transductor utilizado es el Polaroid Serie 7000 y el módulo encargado de su manejo y el cálculo de distancias es el *Polaroid 6500 Series Sonar Range Module*.

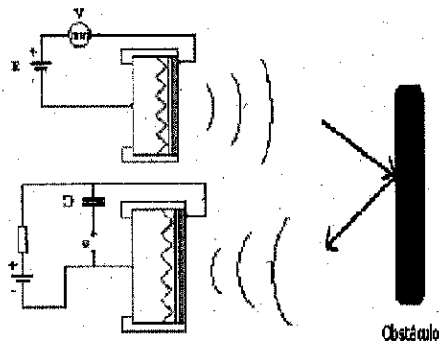


Fig.6 - Principio de Medición de Distancia

5.3 Principio de Medición de Distancias

El principio empleado es muy sencillo, es básicamente la medición del tiempo de vuelo de la señal de ultrasonido que se transmite desde un transductor emisor, viaja por el medio (aire) llega a un obstáculo, rebota en el mismo por reflexión y una onda reflejada viaja de retorno y es captada por otro transductor receptor (caso general) según se observa en la figura 6. Para el caso de transductores electrostáticos, estos pueden trabajar como transmisor y receptor en distintos momentos.

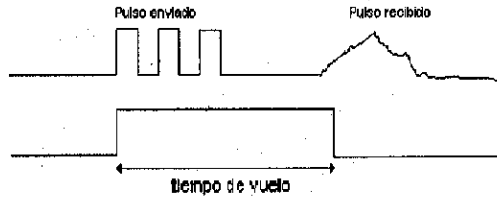


Fig. 7 - Tiempo de Vuelo y Señal de Eco

En un instante dado el transductor emite una señal, luego de cierto tiempo (tiempo de vuelo de la señal) se recibe el eco. A partir de este tiempo de vuelo, se calcula indirectamente la distancia que separa al transductor (móvil) del obstáculo a partir de la ecuación (1).

$$2 \times d \approx v \times \Delta t \quad (2)$$

donde: "d" es la distancia, "v" es la constante de velocidad del sonido y " Δt " es el tiempo de vuelo de la señal de eco.

5.4 Criterios de Diseño

Existen en la literatura muchas configuraciones de uso para los transductores de ultrasonido [Oliveira, 1997]. Una configuración coloca un único transductor sobre un motor de pasos el cual controla la posición vertical del sensor logrando así cubrir los 360° alrededor del móvil.

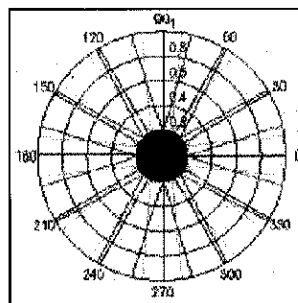


Fig.8 - Diagrama de Radiación y Disposición de los Transductores

Sin embargo, para aplicaciones donde se desea basar la navegación del móvil en la información dada por los transductores de ultrasonido, esta técnica resulta deficiente, puesto que la combinación del sistema de giro mecánico del motor y el tiempo de espera de la señal de eco (del orden de milisegundos), que se debe esperar para cada ángulo de barrido hace que esta configuración resulte poco eficiente.

Otra configuración, por la que optamos, utiliza un conjunto de transductores fijos, dispuestos alrededor del móvil de tal forma que se cubra completamente todo el área alrededor del mismo. La cantidad de transductores necesaria y su disposición depende del ancho del lóbulo principal de radiación de cada uno (figura 8) y la línea de vista necesaria. El ángulo de apertura del lóbulo principal para la Serie Polaroid 7000 es de 34° [Oliviera, 1997], por tanto una cobertura completa requerirá una cantidad mayor o igual a 12 (360°/34°) transductores alrededor del vehículo.

5.5 Descripción del Hardware

Para la implementación del sistema de sensoramiento ultrasónico es necesario los siguientes componentes:

- Placa Serie 6500 *Sonar Range Module* (Figura 9a)
- Transductores Electrostáticos Serie 7000 Polaroid (Figura 9b)
- Placa de Medición de Temperatura
- Módulo de Desarrollo basado en el Microcontrolador 8051

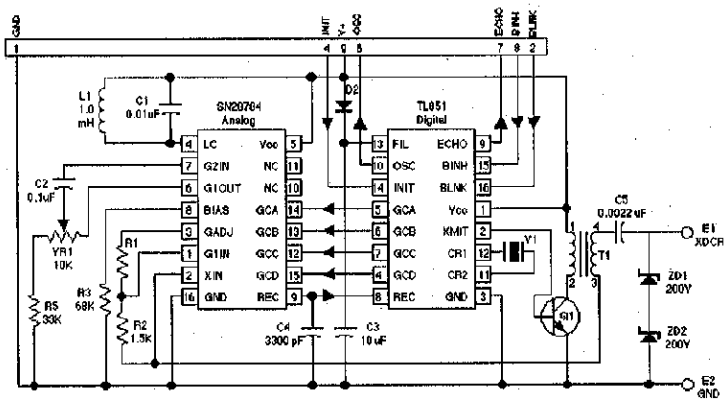


Fig.9a - Polaroid Series 6500 y 7000 *Sonar Range Modules*

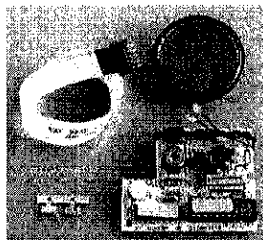


Fig.9b - Diagrama Esquemático del Módulo Polaroid Serie 7000

La placa interfaz realiza el envío de la señal de ultrasonido y la recepción (amplificación), así como el cálculo de la distancia a partir del tiempo de vuelo de la señal de eco. La placa de medición de temperatura sensa la temperatura ambiental, para compensar las variaciones de la velocidad del sonido, esta formada por el CI LM35. El Módulo de desarrollo basado el uC 8051 se encarga de controlar ambas placas de interfaz Serie 6500 (accionamiento de los transductores) y la placa de monitoreo de temperatura ambiental. A partir de esta información entregará el cálculo final de distancia. (figura 10).

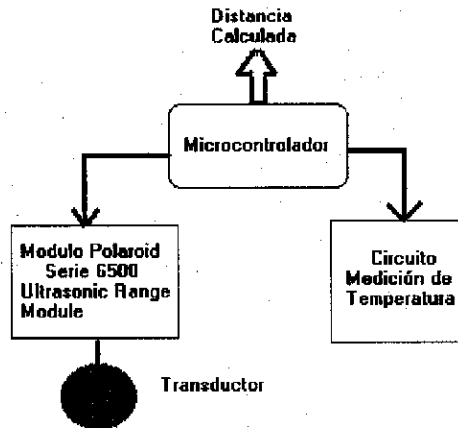


Fig.10 - Diagrama de bloques del subsistema de sensoramiento ultrasónico

Se ha realizado un análisis teórico introductorio al diseño de sistemas de ultrasonido para sensoramiento externo en el caso de control de navegación de móviles.

En el presente trabajo no se pudo aplicar experimentalmente el diseño, al no contar con las placas y transductores necesarios. La limitación de disponibilidad en nuestro medio de componentes de este tipo no hizo posible su implementación.

Se realizaron simulaciones de software del algoritmo de control, basado en información sensorial (transductores ultrasónicos) el cual se presenta a continuación.

VI. ALGORITMO DE CONTROL PARA NAVEGACIÓN

6.1 Navegación heurística basada en sensores

La planificación del movimiento basada en sensores trata de dirigir los movimientos de los robots en entornos desconocidos cuando la única fuente de información es suministrada por los propios sensores del robot durante su movimiento. Uno de los componentes esenciales en las arquitecturas reactivas (sin reconstrucción de entorno) es la evitación local de obstáculos, es decir, el robot se movería hacia su meta y realizaría una maniobra especial de evitación de obstáculos cuando alguno se interpusiera según la información recogida por los sensores [Alvarez, 1998].

Este es el principio de funcionamiento de los denominados algoritmos heurísticos. Constan de al menos dos bloques operacionales o comportamientos elementales del tipo: "ir hacia el objetivo" y "alejarse del

obstáculo" y su interrelación producirá un comportamiento complejo que hemos dado en llamar "navegación sensorial".

La figura 11 es un ejemplo de arquitectura reactiva de control para navegación. Cada módulo resuelve un problema de navegación, recibiendo directamente la información de los sensores y generando referencias al sistema de control del robot de manera asíncrona.

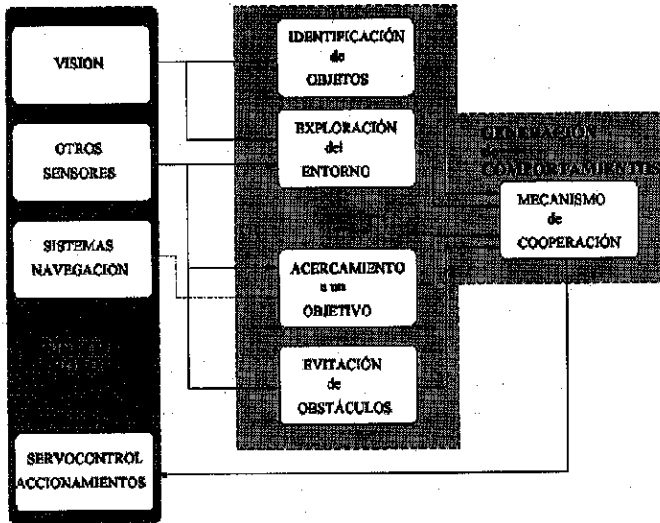


Fig. 11 - Ejemplo de una arquitectura reactiva de control para navegación.

6.2 Evitación local de obstáculos con función potencial

Los navegadores locales más empleados se basan en la idea de función potencial artificial. La planificación con función potencial se plantea como un aumento de las capacidades del control de bajo nivel de los accionadores del robot, de manera que este incluyera otras habilidades como la evitación de obstáculos. La idea principal aplicable a robots móviles se describe como sigue:

El robot móvil se mueve en un campo de fuerzas. La posición a alcanzar es un polo de atracción para el o factor final y los obstáculos son superficies de repulsión para los componentes del manipulador.

Una arquitectura reactiva con sus componentes de atracción hacia el objetivo y de repulsión producida por los obstáculos va a producir un comportamiento que va a depender en último término, de un conjunto de parámetros de configuración que habrá que seleccionar atentamente.

6.3 Limitaciones del Algoritmo Reactivo Holonómico

Por ser reactivo no garantiza la convergencia a la solución. Es un algoritmo de carácter heurístico por lo que su mayor problema son los mínimos locales [Alvarez, 1998].

Son holonómicos debido a que su diseño tiende a consideraciones geométricas sobre la disposición de los obstáculos en el entorno de trabajo, y por tanto no tienen en cuenta las posibles restricciones de movilidad.

Existen otras limitaciones como:

- La imprecisión en la información sensorial
- Los problemas en tiempo real.

Ambos problemas son más dependientes de la tecnología utilizada y no del tipo de algoritmo implementado.

6.4 Navegador reactivo con función potencial, componentes

Como ya se expuso este algoritmo por lo menos presenta dos componentes:

- Uno de atracción hacia el objetivo
- Otro de repulsión hacia el obstáculo

La planificación del movimiento consiste en la adecuada combinación de ambos, de manera que conduzca el robot hacia el objetivo sin colisiones [Consejal, 1996].

El algoritmo de navegación que se estudiará consta de tres componentes: atracción, repulsión y fusión de comandos. Se diseña para un robot de dos dimensiones, de forma circular y radio R , de movimiento libre (sin restricciones). El robot está dotado de "n" sensores de distancia, dispuestos en su periferia, cada sensor aporta una orientación fija ϕ_i , respecto al sistema de referencia F_a asociado al robot.

6.5 Potencial de atracción

El bloque de atracción genera el movimiento en la dirección del objetivo, su efecto sobre el robot es análogo al de una fuerza que lo empuja hacia su objetivo.

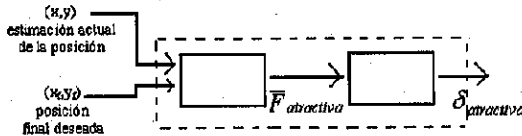


Fig. 12 – Factores que intervienen en la generación de la Fuerza de Atracción F_{atr}

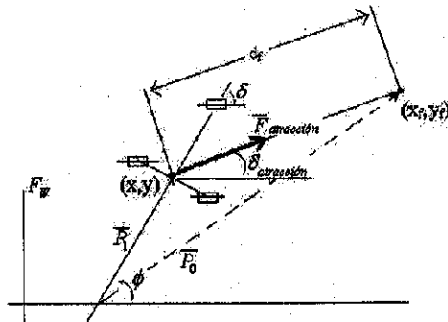


Fig.13 – La Fuerza de atracción $F_{atracción}$ en función de la posición actual (x, y) y la deseada (x_f, y_f) .

$$\bar{F}_{atracción} = K_{atracción} \frac{(\bar{P}_0 - \bar{P}_i)}{\|\bar{P}_0 - \bar{P}_i\|} \quad (1)$$

$$\bar{F}_{atracción} = K_{atracción} \left[\frac{(x_f - x)\hat{i} + (y_f - y)\hat{j}}{\sqrt{(x_f - x)^2 + (y_f - y)^2}} \right] \quad (2)$$

denotamos por: $d_f = \sqrt{(x_f - x)^2 + (y_f - y)^2}$

$$\text{Entonces: } \bar{F}_{atracción} = \frac{K_{atracción}}{d_f} [(x_f - x)\hat{i} + (y_f - y)\hat{j}] \quad (3)$$

$K_{atracción}$ es un parámetro de configuración y d_f es la distancia al objetivo en cada instante. La dirección hacia la meta $\delta_{atracción}$ referida al sistema de referencia vale:

$$\delta_{atracción} = \text{tg}^{-1} \left(\frac{y_f - y}{x_f - x} \right), \quad 0 \leq \delta_{atracción} \leq 2\pi \quad (4)$$

6.6 Potencial de repulsión

Este bloque opera en función de la información dada por n sensores de distancia del robot. La distancia que mide cada sensor S_i se puede asociar al módulo de un vector S_i orientado hacia $(\phi_i + \pi)$ y tanto mayor cuanto más cerca esté del obstáculo.

La dirección a la que apunta la fuerza repulsiva dada por el i -ésimo sensor apunta en dirección contraria al obstáculo.

$$\begin{aligned} S_i &= C_{rep_i} \hat{U} S_i = C_{rep_i} [\cos(\phi_i + \pi)\hat{i} + \text{sen}(\phi_i + \pi)\hat{j}] = -C_{rep_i} [\cos(\phi_i)\hat{i} + \text{sen}(\phi_i)\hat{j}] \\ S_i &= -C_{rep_i} [\cos(\phi_i)\hat{i} + \text{sen}(\phi_i)\hat{j}] = -C_{rep_i} \hat{U} \phi_i \end{aligned} \quad (5)$$

Donde $C_{repulsión}$ se define como:

$$C_{rep_i} = K_{rep} \frac{C_i R_r^2}{S_i^2} \quad (6)$$

Donde K_{rep} y C_i son parámetros nuevos de configuración y R_r es el radio mayor del robot. Dado que se tiene n sensores:

$$\phi_i = \frac{2\pi}{n}(i-1) \quad (7)$$

Interpretando la medida de cada sensor de distancia como un vector de repulsión en la dirección contraria al sensor. La información de los n vectores se integra mediante su suma vectorial.

$$\bar{F}_{rep} = \sum_{i=1}^n \bar{S}_i = - \sum_{i=1}^n C_{rep_i} \mathcal{O} \phi_i \quad (8)$$

$$\bar{F}_{rep} = \sum_{i=1}^{n/4} \left([C_{rep(i)} - C_{rep(i+n/2)}] \underline{U}_{\phi(i)} + [C_{rep(i+n/4)} - C_{rep(i+3n/4)}] \underline{U}_{\phi(i)} \right) \quad (9)$$

Determinando la dirección de repulsión

$$\delta_{rep} = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\bar{F}_{rep} \cdot \underline{j}}{\bar{F}_{rep} \cdot \underline{i}} \right) = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^{n/4} \left([C_{rep(i)} - C_{rep(i+n/2)}] \text{sen}(\phi_i) + [C_{rep(i+n/4)} - C_{rep(i+3n/4)}] \cos(\phi_i) \right)}{\sum_{i=1}^{n/4} \left([C_{rep(i)} - C_{rep(i+n/2)}] \cos(\phi_i) + [C_{rep(i+n/4)} - C_{rep(i+3n/4)}] \text{sen}(\phi_i) \right)} \right) \quad (10)$$

δ_{rep} devuelve una "dirección de repulsión" orientada a zonas en menor densidad de obstáculos.

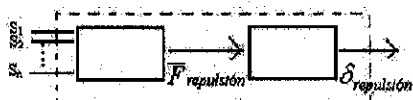


Fig.14 – Generación de la Fuerza de repulsión y la dirección de repulsión

6.7 Fusión de comandos

La fusión de ambos vectores de comportamientos $F_{atracción} + F_{rep}$ consiste en una suma vectorial en F_w (sistema de referencia fijo).

$$\bar{F}_{total} = \bar{F}_{atrac} + \bar{F}_{rep} \quad (11)$$

Dicha fuerza ficticia produce un vector de ángulo δ que en general apuntará hacia el objetivo por zonas libres de obstáculos.

$$\delta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\|\bar{F}_{atrac}\| \cdot \text{sen}(\delta_{atrac}) + \|\bar{F}_{rep}\| \cdot \text{sen}(\delta_{rep})}{\|\bar{F}_{atrac}\| \cdot \cos(\delta_{atrac}) + \|\bar{F}_{rep}\| \cdot \cos(\delta_{rep})} \right) \quad (12)$$

El último paso del navegador es la elección de la velocidad del vehículo, γ y la velocidad angular W que este presente, el caso mas simple viene dado por las opciones

$$\begin{aligned} \gamma &= \gamma_{cte} \\ W &= K_w (\delta - \phi) \end{aligned} \quad (13)$$

Que impone una velocidad lineal constante y un control proporcional a la orientación. En tal caso, se introduce dos parámetros nuevos de configuración: el valor de la velocidad constante γ_{cte} y la velocidad de giro K_w .

El diagrama de bloques de la figura 15 esquematiza todos los componentes que intervienen. En el bloque etiquetado como "planificación" se incluyen los componentes de repulsión y atracción, así como la fusión de comandos y la elección de las referencias de control se consideran parte integrante del algoritmo. La posición del robot ($x; y; \theta$) dependerá de su modelo matemático, y típicamente es proporcionada por un sistema de localización.

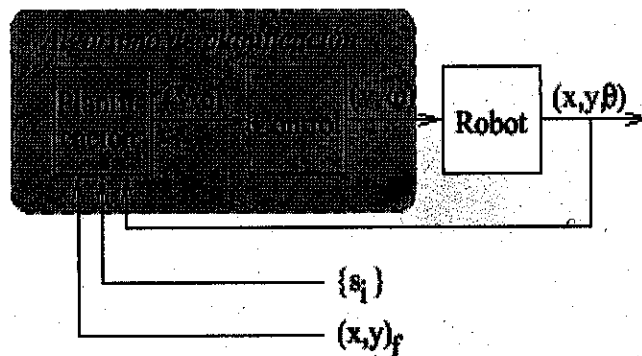


Fig. 15 - Diagrama de bloques del sistema de navegación.

VII. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se implementó una plataforma mecánica de acuerdo con el modelo planteado y el uso de motores de pasos, en la que se comprobó experimentalmente el diseño mecánico propuesto.

Se realizó simulaciones del algoritmo de control en Visual Basic, así mismo se simuló el funcionamiento conjunto a nivel de simulación, con los sensores de ultrasonido.

Se estableció la comunicación inalámbrica entre la computadora y el móvil, logrando de esta manera una navegación controlada por la computadora.

VIII. CONCLUSIONES

Se ha estudiado el marco teórico para el modelo mecánico, el sistema sensorial y el algoritmo principal de control, que posibilitan la continuación del proyecto, en la cual se plantea implementar físicamente todo

el sistema propuesto en una sola unidad, pues actualmente, se tiene implementado físicamente el sistema mecánico de manera aislada, al igual que el algoritmo de Control que está en un nivel de Simulación.

Además, hemos puesto en práctica nuestros conocimientos en distintas materias, como mecánica, electrónica digital, radiodifusión, informática y otras, lo que demuestra que la robótica es un área multidisciplinaria.

IX. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó gracias al apoyo y asesoramiento del Ing. Bruno Vargas Tamani de la Facultad de Ingeniería Electrónica. Así mismo es necesario resaltar el apoyo del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Electrónica, durante el año 2001.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Alvarez J.C., Tesis Doctoral: *Planificación del Movimiento de Vehículos Autónomos basada en Sensores* (Capítulos 1, 2, 3); Universidad de Oviedo, 1998.
- Peters A.K., *Mobile Robots Book*, Second Edition, 1999.
- Oliveira Freire E., *Desenvolvimento de um Sistema de Sensoriamento Ultra-Sônico para um Robô Móvel com Controle Baseado Agentes* (Capítulo 2, 3) Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil, 1997.
- Campion G., Bastin G., D'Andréa-Novel B., *Estructural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots*, IEEE Trans on Robotics and Automation, Vol 12, No1, February 1996.
- Concejal C.A., *Arquitectura de Control para Robots Móviles Autónomos* (Capítulo 1). Universidad Politécnica de España..
- McGraw Hill, *Robots, Androids and Animatrons*.
- www.eupmt.es/cra/inform/info2.htm.
- www.rcua.alcala.es/archives/hamea/msg01910.html.