

Modelado y Planificación de las Trayectorias de un Robot Limpiador

Gutiérrez Arias José Eligio Moisés, Rugerío Escalona Rosa María y Morín Castillo María Montserrat

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Electrónica.
jmgutierrez@ece.buap.mx, rugerio_56@hotmail.com, mmorin@ece.buap.mx

Resumen.

En este trabajo presentamos la planificación de la trayectoria de un robot limpiador como una combinación de trayectorias deseadas, el robot limpiador está provisto de dos ruedas activas y una pasiva. La deducción de las ecuaciones de movimiento no lineales son importantes pues en ellas están considerados los voltajes de los motores de las ruedas activas como elementos de control. La determinación de las trayectorias deseadas y de las ecuaciones lineales son fundamentales para la planificación de la ruta del robot limpiador. Alcanzado un punto predeterminado, mediante la obtención de imágenes con una cámara CMOS y con algoritmos de reconocimiento de color y área, el robot móvil será capaz de identificar qué tipo de objeto debe recolectar. Se describen los sensores que se implementaran para la selección y recolección de la basura.

Palabras clave: Robot móvil, control diferencial, trayectorias deseadas, sistema lineal, sensores de ultrasonido e imagen.

1. Introducción.

Con el transcurso de los años, el hombre se ha fascinado con máquinas que imiten las funciones y movimientos de los seres humanos. La robótica, es una de las tecnologías más importantes en la nueva era de la sociedad, en la búsqueda de nuevas tendencias tecnológicas, el estudio de la robótica móvil juega un papel muy importante en diversas áreas y aplicaciones, desempeñando tareas de supervisión, exploración, distribución y transporte, entre otros, facilitando la automatización a gran escala, para esto es necesario incrementar la autonomía de estos dispositivos dotándolos con un sistema de navegación eficiente, dentro del que son relevantes tareas como lo son la percepción, planificación y control.

El estudio de la robótica móvil puede clasificar a los robots en vehículos aéreos, terrestres y acuáticos. A su vez los robots terrestres se pueden clasificar de acuerdo al tipo de locomoción que utilicen para desplazarse dentro de su espacio de trabajo en tres categorías: robots de ruedas, robots de patas y robots de orugas. A pesar del amplio estudio de la movilidad de robots por patas y de orugas, el desarrollo más significativo se ha dado en la locomoción por ruedas. [1]

Actualmente la forma más común de controlar a los robots es por medio de paneles de control con botones, perillas, etc. Sin embargo, la necesidad de tener una comunicación más directa entre el humano y el robot, está llevando al desarrollo de alternativas que incluyen visión por computador y reconocimiento de imágenes. [2]

2. Ecuaciones de movimiento del robot móvil

Los robots móviles se pueden construir basándose en diferentes diseños de plataformas, que se diferencian por los diversos sistemas de tracción que utilizan. La configuración del robot móvil que se utilizará a lo largo de este trabajo, es una plataforma con un sistema de tracción diferencial (differential steering), este sistema utiliza motores independientes para cada una de las dos ruedas activas pero situados sobre el mismo eje, además utiliza una rueda libre para proporcionar estabilidad a la plataforma.

2.1 Deducción de las ecuaciones de movimiento

El diagrama físico del robot móvil se muestra en la figura 1, el robot se encuentra dentro de un marco de referencia fijo (ξ_1, η_1) o inercial, además se aprecia un marco de referencia móvil (ξ', η') o no inercial el cual está fijado al robot y se encuentra en el eje formado por las dos ruedas activas. El punto $P = (\xi, \eta)$ que se encuentra frente del robot móvil será el punto deseado para determinar la posición de éste dentro del marco de referencia fijo.

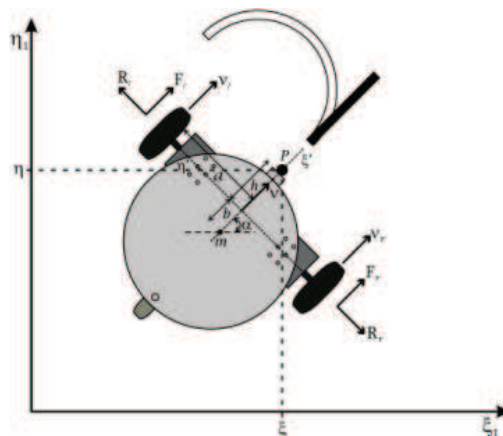


Figura 1. Diagrama físico del robot móvil.

De acuerdo al sistema de referencia no inercial propio del robot móvil podemos obtener las siguientes relaciones:

$$\vec{r}_l = \begin{pmatrix} 0 \\ a \end{pmatrix}; \vec{r}_r = \begin{pmatrix} 0 \\ -a \end{pmatrix}; \vec{v}_l = \begin{pmatrix} v_l \\ 0 \end{pmatrix}; \vec{v}_r = \begin{pmatrix} v_r \\ 0 \end{pmatrix}; \vec{v} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ 0 \end{pmatrix}; \vec{\omega} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega \end{pmatrix} \quad (1)$$

Consideramos al robot móvil como un cuerpo rígido con movimientos traslacionales y rotacionales, y que las velocidades de las ruedas activas deben tener la dirección (ξ') , se pueden calcular las velocidades de las ruedas relativas a la velocidad \vec{v} .

$$\vec{v}_l = \vec{v} + \vec{\omega} \times \vec{r}_l = \begin{pmatrix} v_1 - a\omega \\ v_2 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\vec{v}_r = \vec{v} + \vec{\omega} \times \vec{r}_r = \begin{pmatrix} v_1 + a\omega \\ v_2 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Tomando la consideración que \vec{v} (velocidad de translación del robot móvil) sólo tiene componentes en ξ' podemos obtener que $v_1 = v$ y que $v_2 = 0$; por lo tanto:

$$v_r = v + a\omega \quad (4)$$

$$v_l = v - a\omega \quad (5)$$

Para obtener v , despejamos $a\omega$ de (5) y lo sustituimos en (4)

$$v = \frac{v_r + v_l}{2} \quad (6)$$

y para obtener ω despejamos v de (5) y lo sustituimos en (4)

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{2a} \quad (7)$$

Con las ecuaciones (6) y (7) se obtienen la velocidad angular y la velocidad del motor en función de las velocidades de los dos motores.

Si se considera que la derivada del ángulo de orientación α del robot, es la velocidad angular ω del mismo:

$$\dot{\alpha} = \omega \quad (8)$$

La posición del centro del arreglo de sensores desde el marco de referencia móvil es:

$$\xi_p = h \cos(\alpha) \quad (9)$$

$$\eta_p = h \sin(\alpha) \quad (10)$$

Incluyendo las componentes de la velocidad del robot (es decir, del origen del marco de referencia móvil respecto al marco de referencia fijo) tenemos

$$\dot{\xi} = v \cos(\alpha) - h \omega \sin(\alpha) \quad (11)$$

$$\dot{\eta} = v \sin(\alpha) + h \omega \cos(\alpha) \quad (12)$$

Las ecuaciones (8), (11) y (12) describen la velocidad de rotación y de translación (cinemática) respectivamente, del centro de sensores del robot móvil dentro del marco de referencia inercial (ξ_1, η_1) .

Para obtener las dos ecuaciones dinámicas restantes del robot móvil, se utilizarán las ecuaciones de movimiento que plantea el Principio de D'Álembert [4] para el equilibrio dinámico de un cuerpo rígido; dichas ecuaciones son:

$$\sum F = m\bar{a} \quad (13)$$

$$\sum M = \dot{L} \quad (14)$$

en donde la ecuación (13) relaciona la resultante de las fuerzas externas y la aceleración del centro de masa del sistema y la ecuación (14) relaciona el momento resultante de las fuerzas externas y la razón de cambio de la cantidad de movimiento angular o momento angular del sistema.

Expresando la ecuación (13) para el centro de masa del robot móvil, tenemos que

$$m \frac{d}{dt} \vec{v}_0 = \vec{F}_r + \vec{F}_l + \vec{R}_r + \vec{R}_l \quad (15)$$

La derivada $\frac{d}{dt} \vec{v}_0$, representa la aceleración del centro de la masa: $\frac{d}{dt} \vec{v}_0 = \dot{v}_0 + \vec{\omega} \times \vec{r} + \vec{\omega} \times \vec{v}_0$

$$\frac{d}{dt} \vec{v}_0 = \begin{pmatrix} \dot{v} + b\omega^2 \\ -b\dot{\omega} + v\omega \\ 0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Ahora bien; sustituyendo la expresión (16) de aceleración del centro de masa en la ecuación de movimiento (15), se puede obtener una expresión de equilibrio dinámico para cada eje coordenado del sistema de referencia fijado en el robot como $\sum F_{\xi_i} = m\dot{v}_{0\xi_i}$ y $\sum F_{\eta_i} = m\dot{v}_{0\eta_i}$; es decir

$$m(\dot{v} + b\omega^2) = F_l + F_r \quad (17)$$

$$m(-b\dot{\omega} + v\omega) = R_l + R_r \quad (18)$$

de las cuales, la ecuación (18) no será considerada ya que sólo interesa considerar las fuerzas F_l y F_r de empuje de las llantas, y no las fuerzas R_l y R_r perpendiculares al plano de rotación de las llantas.

También es necesario conocer la derivada del momento angular $\frac{d}{dt} \vec{L} \Rightarrow \frac{d}{dt} \vec{L} = m \left(\vec{r} \times \frac{d}{dt} \vec{v}_0 \right)$, ya que conocemos los vectores \vec{r} y $\frac{d}{dt} \vec{v}_0$, entonces:

$$\frac{d}{dt} \vec{L} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ mb^2\dot{\omega} - mbv\omega \end{pmatrix} \quad (19)$$

Es necesario además, asociar las fuerzas F_l y F_r a las coordenadas φ_r y φ_l que determinan el giro de cada uno de los motores del robot móvil; para esto, se sabe que el torque o momento de un motor es:

$$\tau = F\rho \quad (20)$$

donde τ y F son el torque y la fuerza respectivamente, aplicadas por el motor; y ρ es el radio de la rueda acoplada al motor. El modelo más simple conocido para un motor de DC, es el que relaciona el torque del motor con la velocidad angular del mismo; dicho modelo se describe a continuación:

$$\tau = \chi u - \sigma \dot{\varphi} \quad (21)$$

donde τ es el torque del motor (Nm); u es el voltaje aplicado a las terminales del motor (V); $\dot{\varphi}$ es la velocidad angular (rad/s); $\chi = \frac{K_t}{R}$, donde R es la resistencia eléctrica del devanado del motor (Ω), K_t es la constante de torque (Nm/A); $\sigma = \frac{K_e K_t}{R}$, donde K_e es la constante de la fuerza contra-electromotriz del motor (Vs/rad).

Despejando la fuerza F de la ecuación (20) y sustituyendo en la ecuación resultante de esto, el valor del torque de la ecuación (21), se obtiene una expresión para calcular la fuerza del motor:

$$F = \frac{\chi u - \sigma \dot{\varphi}}{\rho} \quad (22)$$

$\dot{\varphi}_r$ y $\dot{\varphi}_l$ son las velocidades angulares de las ruedas acopladas a los motores derecha e izquierda, respectivamente; se pueden obtener una expresión para cada una de éstas, utilizando las ecuaciones (4) y (5):

$$\dot{\phi}_r = \frac{v_r}{\rho} = \frac{v + a\omega}{\rho} \quad (23)$$

$$\dot{\phi}_l = \frac{v_l}{\rho} = \frac{v - a\omega}{\rho} \quad (24)$$

y así, se puede obtener con (22) y las ecuaciones anteriores (23) y (24), una expresión de fuerza para las ruedas derecha e izquierda, respectivamente:

$$F_r = \frac{\chi u_r \rho - \sigma(v + a\omega)}{p^2} \quad (25)$$

$$F_l = \frac{\chi u_l \rho - \sigma(v - a\omega)}{p^2} \quad (26)$$

Sustituyendo las expresiones (25) y (26) en las ecuaciones de movimiento (15), tenemos finalmente que:

$$m\dot{v} + mb\omega^2 = \frac{\chi}{\rho}(u_r + u_l) - \frac{2\sigma v}{\rho^2} \quad (27)$$

$$\dot{\omega} + mbv\omega = \frac{a\chi}{\rho}(u_r - u_l) - \frac{2\sigma a^2 \omega}{\rho^2} \quad (28)$$

Por lo tanto, las ecuaciones (8), (11), (12), (27) y (28) describen el movimiento o dinámica del robot móvil:

$$\begin{aligned} \dot{\xi} &= v\cos(\alpha) - h\omega\sin(\alpha) \\ \dot{\eta} &= v\sin(\alpha) - h\omega\cos(\alpha) \\ \dot{\alpha} &= \omega \\ m\dot{v} &= -mb\omega^2 - \frac{2\sigma v}{\rho^2} + \frac{\chi}{\rho}(u_r + u_l) \\ \dot{\omega} &= mbv\omega - \frac{2\sigma a^2 \omega}{\rho^2} + \frac{a\chi}{\rho}(u_r - u_l) \end{aligned} \quad (29)$$

Con este sistema de ecuaciones se puede realizar un análisis de estabilidad correspondiente a un sistema en lazo abierto.

3. Ecuaciones lineales y trayectorias deseadas

Con los posibles movimientos básicos que un robot móvil puede realizar en un plano como se observa en la figura 2, se pueden plantear algunas trayectorias deseadas para ser descritas por éste.

Considerando que el robot presenta movimientos horizontales y verticales paralelos a los ejes ξ_1 y η_1 tenemos en la tabla 1, las siguientes trayectorias rectas deseadas.

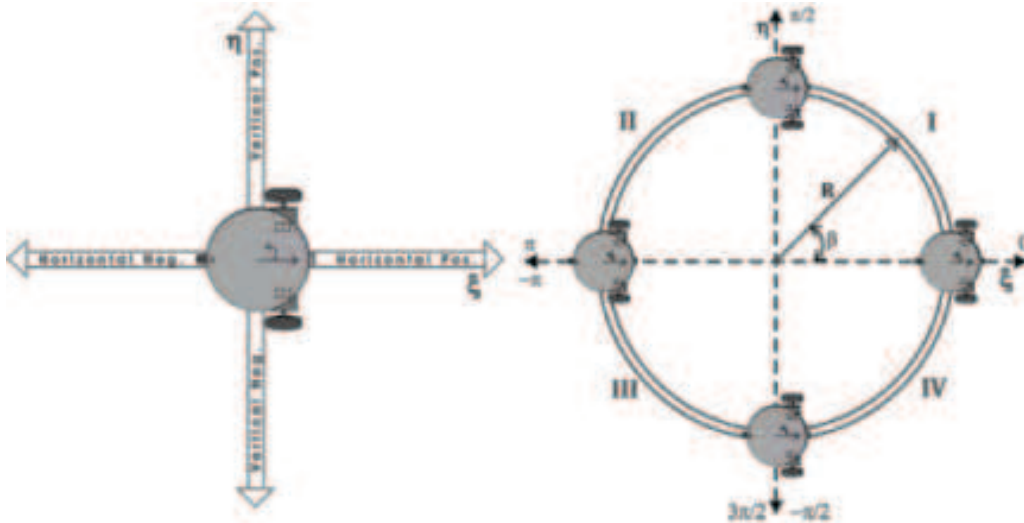


Figura 2. Trayectorias deseadas (rectas y circulares) del robot móvil.

Tabla 1. Trayectorias deseadas horizontales y verticales.

Trayectoria	ξ^d	η^d	α^d	v^d	ω^d
1. Línea Horizontal sentido positivo	$\xi_0 + v_0 t$	0	0	v_0	0
2. Línea Horizontal sentido negativo	$\xi_0 + v_0 t$	0	π	v_0	0
3. Línea Vertical sentido positivo	0	$\eta_0 + v_0 t$	$\frac{\pi}{2}$	v_0	0
4. Línea Vertical sentido negativo	0	$\eta_0 + v_0 t$	$-\frac{\pi}{2}$	v_0	0

Para obtener los desplazamientos circulares se supondrá que el estado inicial o posición de casa del robot es paralelo al eje ξ_1 y que el movimiento se describe sobre un círculo de radio R, el cuál está seccionado en cuatro cuadrantes (ver figura 2) y tomando en cuenta el sentido en que se recorre, algunas trayectorias se muestran en el tabla 2.

Tabla 2. Trayectorias deseadas circulares

Trayectoria	ξ^d	η^d	$\beta\epsilon$	α^d	v^d	ω^d
5. Cuadrante I (dirección reloj)	$R \cos \beta$	$R \sin \beta$	$[\frac{\pi}{2}, 0]$	$-\omega_0 t$	$\omega_0 R$	$-\omega_0$
6. Cuadrante I (contra reloj)	$R \cos \beta$	$R \sin \beta$	$[0, \frac{\pi}{2}]$	$\omega_0 t + \frac{\pi}{2}$	$\omega_0 R$	ω_0
7. Cuadrante II (dirección reloj)	$R \cos \beta$	$R \sin \beta$	$[\pi, \frac{\pi}{2}]$	$-\omega_0 t + \frac{\pi}{2}$	$\omega_0 R$	$-\omega_0$
8. Cuadrante IV (dirección reloj)	$R \cos \beta$	$R \sin \beta$	$[0, -\frac{\pi}{2}]$	$\omega_0 t - \frac{\pi}{2}$	$\omega_0 R$	$-\omega_0$

Siendo (30) el conjunto de ecuaciones de movimiento del robot móvil, se pueden aproximar linealmente a vecindades cercanas para las trayectorias deseadas. Así, con la trayectoria deseada:

$$y^d = \begin{pmatrix} \xi^d \\ \eta^d \\ \alpha^d \\ v^d \\ \omega^d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi_0 + v_0 t \\ 0 \\ 0 \\ v_0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (30)$$

correspondiente a un movimiento recto horizontal en sentido positivo, se tienen las ecuaciones lineales:

$$\begin{aligned} \dot{\xi} &= \tilde{v} \\ \dot{\eta} &= v_0 \tilde{\alpha} + h \tilde{\omega} \\ \dot{\alpha} &= \tilde{\omega} \\ \dot{v} &= -\frac{2\sigma}{m\rho^2} \tilde{v} + \frac{\chi}{m\rho} (u_r + u_l) \\ \dot{\omega} &= \frac{mbv_0}{j} \tilde{\omega} - \frac{2\sigma a^2}{j\rho^2} \tilde{\omega} + \frac{a\chi}{j\rho} (u_r - u_l) \end{aligned} \quad (31)$$

De igual forma, se pueden obtener expresiones lineales para las trayectorias deseadas restantes.

4. Planificación de las trayectorias del robot móvil limpiador

La trayectoria completa del robot limpiador será una combinación de trayectorias en línea recta y trayectorias en semicírculos como se observa en la figura 3, después de realizar dichas trayectorias el robot se detendrá y mediante la obtención de una imagen de los objetos que se encuentren frente a él, el robot se encargara de la identificación de cada objeto.

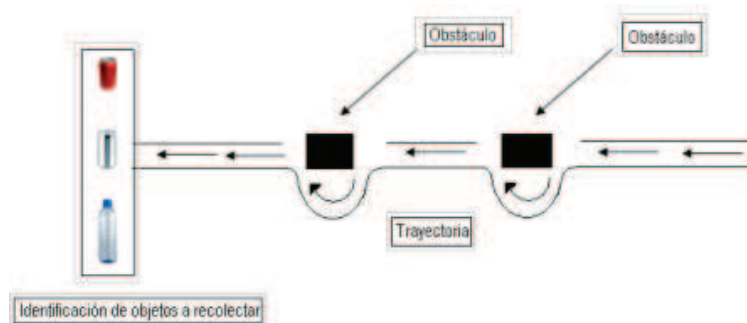


Figura 3. Trayectoria del robot móvil.

La primera trayectoria a realizar consiste en una línea recta, que después de una determinada distancia cambia de control para realizar un pequeño semicírculo y vuelve a cambiar de control para hacer un medio círculo, para esquivar el primer obstáculo, y luego repetir las mismas trayectorias para esquivar el segundo obstáculo y al final realizar una trayectoria en línea recta hasta encontrar los objetos a identificar.

Tabla 3. Valor de los parámetros del robot móvil

Variable	Valor	Descripción
h	0.25	Distancia del eje de las ruedas al arreglo de sensores [m]
m	3.00	Masa del robot móvil [kg]
b	0.047	Distancia del centro de masa al eje de las ruedas [m].
r	0.05	Radio de las ruedas activas
σ	0.00196	Fuerza contra-electromotriz del motor
T	0.135	Distancia medida entre las dos ruedas [m]
\check{J}	0.005	Momento de inercia [Kg]
χ	0.0041	Fricción Viscosa
v_0	0.5	Velocidad deseada [m/s]
ω_0	0	Velocidad angular deseada [rad/s]

4.1 Diseño de control para la línea recta

Se considera el sistema dinámico lineal en tiempo continuo descrito por:

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) \quad (32)$$

Este modelo permite tomar en cuenta las variaciones paramétricas de un sistema dinámico.

Aplicando la programación dinámica mediante la ecuación de Hamilton- Jacobi-Bellamán se tiene que este control es:

$$u(t) = -kx(t) \quad k = R^{-1}(t)B^T(t)P(t) \quad (33)$$

además $P(t) \geq 0$ es la solución de la ecuación Diferencial Matricial de Riccati:

$$-\frac{\partial P(t)}{\partial t} = Q(t) - P(t)B(t)R^{-1}(t)B^T(t)P(t) + P(t)A(t) + A^T(t)P(t) \quad (34)$$

Si $P(t)$ es reemplazada por $\bar{P}(t)$; la solución $\bar{P}(t)$ es llamada una solución estacionaria de la ecuación de Riccati (34) con condición $\bar{P}(\infty) = 0$.

La ecuación diferencial matricial de Riccati se convierte en una ecuación algebraica matricial, ya que el lado izquierdo es idéntico a cero. Por lo que el control óptimo para un sistema lineal invariante en el tiempo es :

$$u(t) = -Kx(t) \quad K = R^{-1}B^T\bar{P} \quad (35)$$

4.1.1 Simulación para una línea recta

El algoritmo fue implementado en el software MATLAB, se utiliza la instrucción *care* para obtener solución de estabilización \bar{P} de la ecuación algebraica de Riccati, y la instrucción *ode45* para la solución de la ecuación de control en lazo cerrado mediante una integración numérica por el método Runge-Kutta de 5º orden.

Así entonces, el control óptimo para que el robot móvil realice la trayectoria recta deseada está dado por:

$$U = \begin{bmatrix} 97.8324 & 28.6652 & 7.3371 & 48.9040 & 2.0316 \\ 97.8324 & -28.6652 & -7.3371 & 48.9040 & -2.0316 \end{bmatrix}$$

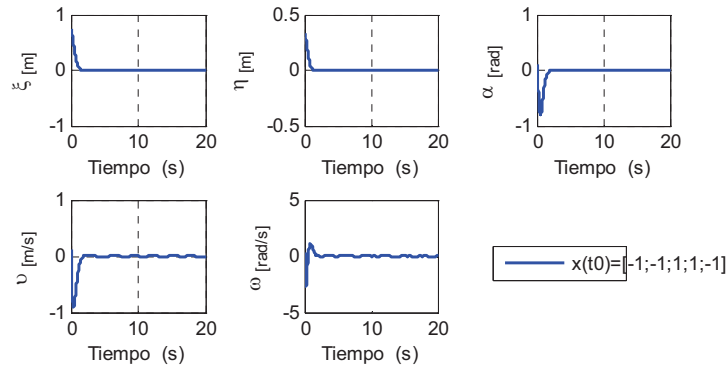


Figura 4. Trayectoria recta horizontal con sentido positivo.

4.2 Diseño de control para un semicírculo

Un sistema lineal con parámetros variantes, depende explícitamente de un vector de parámetros variante en el tiempo $\theta(t)$ que puede medirse en tiempo real, éste parámetro es descrito para todo $t \geq 0$ por la ecuación:

$$\dot{x}(t) = A(\theta(t))x(t) + B(\theta(t))u(t) \quad (36)$$

Un sistema lineal con parámetros variables puede interpretarse como una generalización de un sistema lineal invariante en el tiempo cuando la trayectoria paramétrica admisible es constante $\theta(t) = \theta_0$.

Una sola solución óptima para todos los sistemas lineales invariantes en el tiempo se realizará, haciendo la transformación de la ecuación algebraica de Riccati modificada en una LMI¹. La solución de la ecuación algebraica de Riccati, es semejante a la solución de la LMI asociada a ésta la cual se obtiene haciendo:

$$\text{mín } tr(\bar{P}) \text{ sujeto a } \begin{pmatrix} \bar{P}\bar{A} + \bar{A}^T\bar{P} & \bar{P}B_i \\ B_i^T, \bar{P} & -R \end{pmatrix} < 0 \quad (37)$$

El método que se está planteando para la obtención de un control óptimo para el sistema lineal variante en el tiempo, correspondiente una trayectoria circular en el IV cuadrante en sentido contrario del reloj, la solución de estabilización \bar{P} se calcula ahora mediante la solución de una LMI para un sistema politópico.

¹ Una LMI (Desigualdades Lineales Matriciales) define un problema convexo sobre la variable, el cual se puede resolver numéricamente con la garantía de encontrar una solución, si existe alguna.

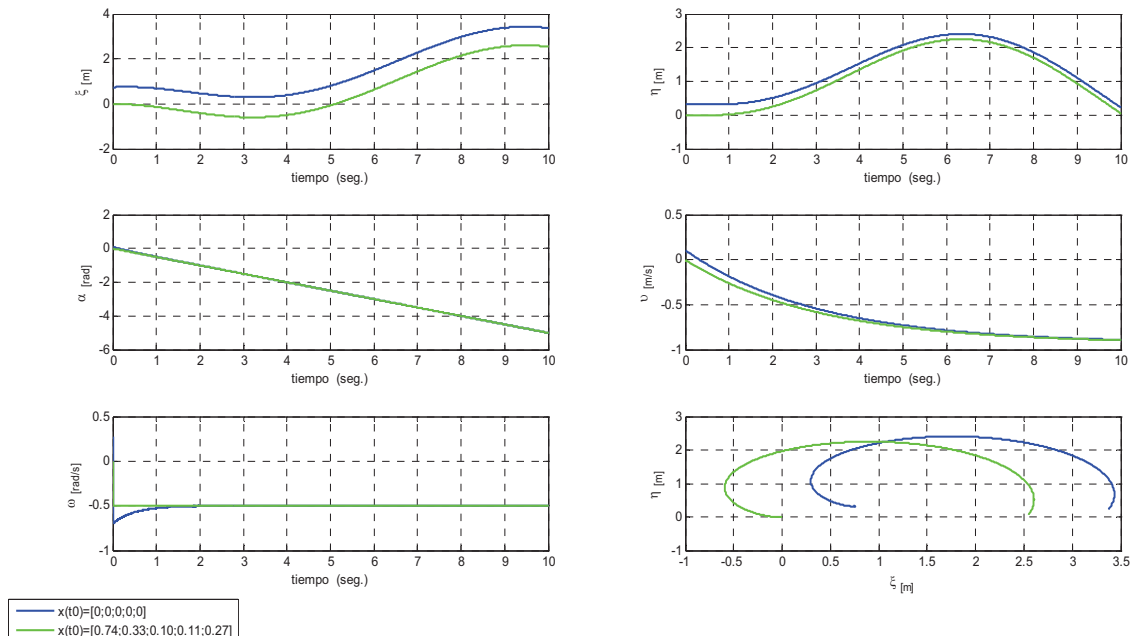


Figura 5. Trayectoria circular en el cuadrante IV con sentido contrario del reloj

5. Sensores que integran el robot móvil

Los sensores permiten la adquisición de la información necesaria para el control del robot móvil. En el estudio de los sensores debe involucrarse la medida de las magnitudes y su representación en forma compatible para su procesamiento. [5]

5.1 Sensor de ultrasonido

Los sensores de detección de objetos son una componente fundamental de los sistemas de control y guiado de vehículos.

Después de realizar una investigación de los diferentes tipos de sensores ultrasónicos existentes, se optó por elegir el sensor de ultrasonido SRF05 que está diseñado para aumentar la flexibilidad, el rango de medida y reducir costes, el rango de medida se aumenta de 3 a 4m.



Figura 6. Sensor de distancia SRF05 y diagrama de conexión.

El SRF05 (ver figura 6), es un sensor de distancias por ultrasonidos desarrollado por la firma DEVANTECH Ltda. Capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 1,7 a 431 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición.

5.2 Sensores digitales de imágenes

Una vez detectado el objeto a analizar con la ayuda de una cámara CMOS se llevara a cabo la captura de la imagen. La visión artificial consiste en la aplicación de técnicas de procesado de imagen y datos para extraer información de las imágenes.

Una vez que la imagen se encuentre en condiciones de ser procesada, se tiene que hallar el objeto dentro de la imagen de forma independiente, lo cual se realiza a través de la segmentación.

Cuando la imagen se encuentra segmentada, se procede a extraer las características para el reconocimiento, para que pueda clasificarse el objeto por color, tamaño o forma, mediante algoritmos de reconocimiento de color y de área. Las primeras pruebas a realizar para la identificación de color se harán con el algoritmo K-means Cluster con la ayuda de MATLAB, de la misma manera se ocupara como primera prueba para determinar el área del objeto detectado un código de cadena, después de la realizar las pruebas se pretende implementar los algoritmos en un microcontrolador PIC18F4550.

5.3 Actuadores

En el campo robótica hay diferentes tipos de actuadores que pueden ser utilizados, de los cuales los más predominantes son los motores eléctricos y los actuadores neumáticos con válvulas. Desde el punto de vista de los robots móviles, el tipo de actuador más utilizado para éste tipo de aplicación es el motor eléctrico de corriente continua (DC). De los motores eléctricos más utilizados se puede mencionar al motor de DC estándar, el motor a pasos y los servos. [5]

Para el movimiento de las ruedas activas se cuenta con dos motores modelo EMG30. Estos motores trabajan a un voltaje máximo de 12V, poseen una caja de engranes con un radio de reducción de 30:1 permitiendo un torque de 1,5Kg/cm y una velocidad sin carga de 170rpm, además cuenta con un encoder de cuadratura que ofrece 90 pulsos por revolución del eje final.

Después de que el robot haya identificado cada objeto, se pretende que con la ayuda de un brazo robótico, el robot sea capaz de agarrar con una tenaza el objeto y colocarlo en el contenedor adecuado.

El robot estará gobernado por un microcontrolador (PIC18f4550), el cual se encarga de gobernar motores y sensores.

6. Conclusiones

Se ha realizado la deducción del modelo dinámico no lineal y mediante un análisis del mismo se han seleccionado los motores para las dos ruedas activas. Una descripción de las trayectorias deseadas se proporciona, posteriormente los sistemas lineales en las desviaciones se obtienen. Dada una tarea específica, la planificación de trayectorias deseadas se realizó con la finalidad de ejecutar dicha tarea. Actualmente se están realizando pruebas con el robot móvil. Paralelamente estamos analizando la implementación de los sensores y del brazo robótico que recogerá los objetos, cada parte que integra al robot limpiador será probado por separado para después implementar todo el sistema.

Referencias

- [1] Ramos E, Morales R, Silva R. “Modelado, simulación y construcción de un robot móvil de ruedas tipo diferencial”, *CIDETEC-IPN, Departamento de Posgrado, Área de Mecatrónica*, J. Phys. Educ. Vol. 4, No. 3, Septiembre 2010, pág. 762.
- [2] Castiblanco D, Barreto C. “Modelado Cinemático Aplicado al Sistema de Navegación de un Robot Móvil tipo Skid Steer”, *Ingeniería Mecatrónica, Universidad de San Buenaventura*, 2006.
- [3] F. Beer, R. Johnston, W. Clausen, *Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica*, McGraw Hill, 8° Ed., 2007.
- [4] Riley F, Leroy D. “Dinámica”, Editorial Reverté, S.A., 2005, pág. 254.
- [5] T. Bräunl, *Embedded Robotics*, Springer, 2° Ed., 2006.