

ROBOT MÓVIL PARA INVESTIGACIÓN EN ALGORITMOS DE PLANEAMIENTO DE RUTAS: SISTEMA DE ODOMETRÍA

Vaca, Andres.

andres_vaca23@hotmail.com

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador

Resumen—El presente artículo consiste en desarrollar un robot móvil con hardware de gran capacidad y software propietario existentes en los laboratorios. Esta plataforma servirá para desarrollar investigaciones relacionadas con robótica, programación, visión artificial, control y automatización. En la realización del robot móvil se utilizaron motores acoplados a llantas para su locomoción, colocados en configuración diferencial para estimar el desplazamiento y la rotación sobre su eje. Además, se cuenta con un sistema de medición basados en codificadores incrementales utilizados para la odometría, situados en cada uno de los motores.

Dichas señales son procesadas por un sistema embebido sbRIO usado para el control y adquisición de datos en tiempo real. Existe una interfaz gráfica humano – robot desarrollado en LabVIEW que permite manipular al robot y observar las señales de los sensores a través de indicadores fáciles de interpretar.

Índice de Términos — Odometria, Cinemática del robot, Modelo cinemático.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen varias plataformas de desarrollo en el área de la robótica móvil que son usadas para varias aplicaciones entre las que se encuentra la planificación de trayectorias. Sin embargo, estas plataformas tienen un costo demasiado elevado y son cerradas ya que no permiten actualización en su hardware. Es necesario tomar en consideración que la robótica móvil ha aportado con grandes soluciones para problemas cotidianos referentes a la navegación autónoma.

Para lograr la autonomía de un vehículo, este debe tener la capacidad de conocer su posición dentro de su ambiente. Un vehículo que no pueda localizarse a sí mismo corre el riesgo de chocar contra obstáculos, elegir las rutas inadecuadas o no poder evitar las áreas peligrosas. Esas son algunas de las razones por las cuales el problema de la localización es importante.

La relevancia del dispositivo propuesto consiste en una investigación aplicada que servirá como desarrollo de una plataforma base para investigación, estudio de sistemas robóticos móviles con planificación de trayectorias, y así obtener conocimiento práctico y no sólo teórico, como indicador para exponer el nivel de conocimientos y el gran potencial innovador de los estudiantes de la UTN.

Hay que tener presente que dentro de la Universidad Técnica del Norte y especialmente en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, no existen plataformas de robots móviles, ya sean orientados para el uso académico o como base para el desarrollo de investigación. La causa para que no exista investigación dentro del área de la robótica móvil es atribuible a la inexistencia de plataformas que fomenten el desarrollo de estudio e investigación.

II. METODOLOGÍA

Modelo Cinemático del Robot Móvil

Un robot móvil de tracción diferencial cuenta con ruedas que vienen acoplados motores dc con codificadores incrementales los mismos que proporcionan un número de pulsos proporcional al número de vueltas que ha dado la rueda.

Para sacar el modelo cinemático es necesario conocer las condiciones físicas del robot móvil en especial las dimensiones del mismo es decir conocer la distancia entre las ruedas (L) y el radio (R) como se indica en la Fig. 2.1 además se ha considerado ciertas limitaciones las cuales se detallan a continuación:

- El robot se mueve sobre una superficie plana.
- Los ejes de guiado son perpendiculares al suelo.
- No existen elementos flexibles en la estructura del robot.
- Las ruedas no poseen ningún eje de direccionamiento.

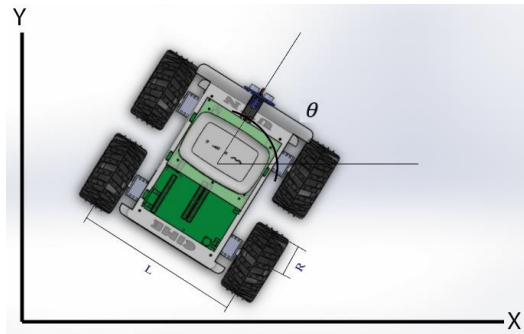


Figura 1. Variables físicas del robot

Las ecuaciones cinemáticas del punto medio del eje entre las ruedas, referidas a un sistema de referencia global son

$$\dot{x}(t) = v(t) \cos(\theta(t))$$

$$\dot{y}(t) = v(t) \sin(\theta(t))$$

$$\dot{\theta}(t) = w(t)$$

Para que el robot se traslade en línea recta la velocidad de sus ruedas deben ser iguales, por tanto, la ecuación denota la velocidad lineal del robot como el promedio de las velocidades de las ruedas, siendo proporcional al radio como, así

$$V(t) = \frac{V_R(t) + V_L(t)}{2} = \frac{(W_R(t) + W_L(t)) \times r}{2}$$

y para que el robot tenga un movimiento de rotación sobre su mismo centro de masa, las velocidades de sus ruedas deben tener la misma magnitud, pero signo diferente, por tanto la ecuación siguiente denota velocidad angular como la diferencia de la velocidad de sus ruedas sobre la longitud que hay entre ellas siendo también proporcional al radio, así

$$W(t) = \frac{V_R(t) - V_L(t)}{L} = \frac{(W_R(t) - W_L(t)) \times r}{L}$$

de tal manera que para definir el modelo del robot, se reemplazan las velocidades lineales y angulares que se obtuvieron anteriormente. Adicionalmente de las condiciones de velocidad, se plantea una matriz de rotación, ya que no en todo momento el robot se encuentra alineado con el eje global. Con esto se obtiene el modelo del robot en configuración diferencial con el cual se va a trabajar.

$$\dot{x}(t) = \frac{V_R(t) + V_L(t)}{2} \times \cos \theta(t)$$

$$\dot{y}(t) = \frac{V_R(t) + V_L(t)}{2} \times \sin \theta(t)$$

$$\dot{\theta}(t) = \frac{V_R(t) - V_L(t)}{L}$$

1

Medición del Desplazamiento

Se supone que en un intervalo de tiempo Δt el codificador de la rueda izquierda genera un determinado número de cuentas, de la misma manera el codificador de la rueda derecha. Con la siguiente ecuación se obtiene el desplazamiento lineal del robot denotado por

$$\Delta S = \frac{(SL + SR)}{2}$$

donde ΔS es la desplazamiento lineal, SL desplazamiento incremental rueda izquierda y SR desplazamiento incremental rueda derecha, de la misma manera para calcular el cambio incremental de dirección del robot se utiliza la ecuación siguiente:

$$\Delta \theta = \frac{(SR - SL)}{D}$$

donde D es la distancia entre ejes del robot móvil, medida como la distancia entre los dos puntos de contacto entre las ruedas y el suelo en consecuencia si $x(0), y(0), \theta(0)$ eran las coordenadas previas del robot, los valores de posición luego del tiempo t son

$$x(t) = x(0) + \Delta S(t)$$

$$y(t) = y(0) + \Delta S \sin \theta(t)$$

$$\theta(t) = \theta(0) + \Delta \theta$$

Implementación del análisis odométrico en LabView

Se demuestra el análisis odométrico implementado en el robot móvil mediante un subVi programado en el RT de la tarjeta de código embebido donde realiza el cálculo en tiempo real, nótese que en primera instancia se tiene la lectura de los codificadores que aplicando las ecuaciones traducimos los pulsos leídos en desplazamiento lineal con relación al suelo. Por otra parte para obtener el cambio de ángulo en el robot se aplica la ecuación anteriormente vista. Y una vez obtenidos los valores de distancia y ángulo se realiza el cálculo de la posición final del robot implementando las ecuaciones de posición del robot móvil.

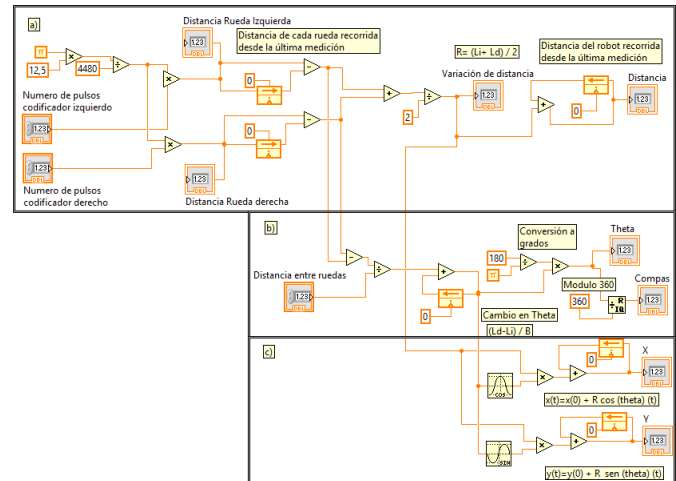


Figura 2. Subvi analisis odométrico

Implementación del programa en el robot

El Vi que actúa sobre el robot móvil está realizado sobre el FPGA de la tarjeta de código embebido empleando funciones del módulo LabVIEW FPGA para el procesamiento de señales y el control a alta velocidad. En la Fig 3. se tiene la programación que se ejecuta en el robot móvil. Hay que tener presente que cada bucle de programación se ejecuta en forma paralela dentro de la FPGA es decir ejecuta las instrucciones al mismo tiempo a alta velocidad. Nótese que en primera instancia se hizo la adquisición de señales de los codificadores que mediante el bucle codificador sumamos de manera incremental dichos pulsos para obtener el conteo desde que el robot parte de un estado inicial hasta un final.

También se tiene cuatro bucles en donde se genera una modulación por ancho de pulso para controlar la cantidad de energía que se envía a los motores y mantener un par motor constante para que estos se muevan. Para habilitación de los motores mediante el puente h se programan salidas digitales para realizar las conmutaciones de giro del robot, un bucle en donde se lee la señal del sensor ultrasónico y se traduce en distancia de la misma manera un bucle en donde se genera un pwm para poder mover al servomotor y un ciclo repetitivo para que tenga un movimiento de 180° y por último un bucle para adquisición de señales analógicas de lectura del estado de las baterías.

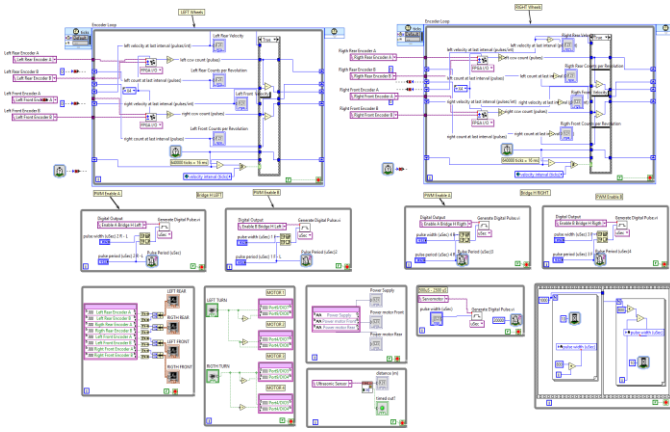


Figura 3. Implementación del programa en el computador.

III. RESULTADOS

Prueba del análisis odométrico

En esta prueba demuestra el funcionamiento del algoritmo de la odometría del robot en donde se obtiene la distancia recorrida y la orientación angular del robot. La prueba consiste en desplazar el robot 200 cm y medir con el decámetro con la finalidad de verificar que la posición y orientación real correspondan con la obtenida a través de las ecuaciones del análisis odométrico.

Los resultados de las pruebas para determinar la posición se muestran en la Tabla 1 teniendo en cuenta que la posición inicial del robot es (0,0).

Tabla 1. Datos de la posición del robot móvil.

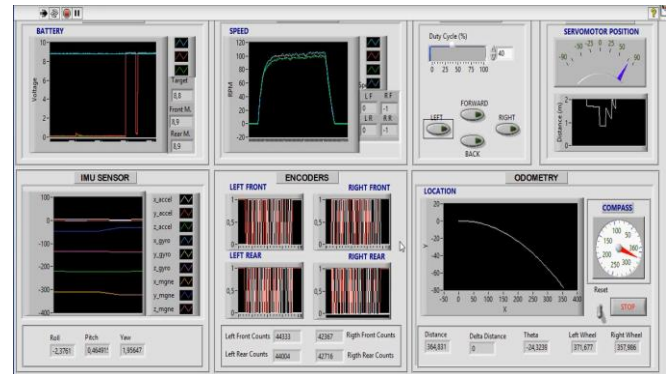
Nº PRUEBA	DISTANCIA RRECORRID A cm	ANGULO DE DESVIACIÓN grados
1	197	5
2	198,2	8
3	200	7
4	199,4	9
5	198,9	8
6	199,3	5
7	200	8
8	198,7	6
9	199,6	10
10	199,71	8
PROMEDIO	199	7,4

Según estos resultados los valores calculados son muy cercanos al valor real con un error mínimo de 0,5 % y un promedio de 7,4° de desviación que se puede corregir al implementar un controlador en lazo cerrado a los motores.

Prueba final de la plataforma

Las pruebas fueron realizadas en dos tipos de superficies planas libre de obstáculos, antes de poner en marcha el robot móvil se configuró el ciclo de trabajo con el que van a

funcionar los motores. Además, los niveles de voltaje de las baterías tanto delantera como trasera están a carga máxima, la prueba consiste en hacer mover el robot una cierta distancia en línea recta y hacerlo rotar sobre su eje, de tal manera que para observar el comportamiento del robot se mantienen los mismos parámetros de funcionamiento en ambos casos. Para observar la trayectoria del robot en campo se colocó un marcador en el centro geométrico de giro de tal forma que grafique en la superficie y se pueda visualizar el recorrido del robot.



La distancia total recorrida del robot móvil es calculada por la odometría a bordo y se puede apreciar en la Fig. 3.10 que la distancia recorrida total es de 364,83 cm, y el ángulo de desviación es de 24° desde el origen y haciendo la comprobación de campo se pudo verificar con un decámetro que la distancia total recorrida fue de 363 cm y el ángulo de desviación 23 ° es decir el margen de error es considerablemente aceptable. Además se observa que los datos leídos de todos los sensores están funcionando correctamente



IV. CONCLUSIONES

- El punto fundamental para la realización del robot móvil es que la adquisición de los elementos son fáciles de conseguir y muy accesibles para su compra.
- Usando técnicas de odometría se logró estimar la posición y orientación del robot móvil para que se

- pueda realizar futuros trabajos de investigación en planeamiento de rutas de sistemas robóticos móviles.
- Con el modelo cinemático en configuración diferencial se logra el correcto funcionamiento del robot móvil que mediante ecuaciones matemáticas se ha comprobado la efectividad del modelo con un porcentaje del 0,5% de error.
 - La interfaz humano-robot desarrollado en el entorno de LabVIEW permite un mejor desempeño del robot a través de la adquisición de datos en tiempo real manejada directamente desde LabVIEW FPGA y LabVIEW Real Time de fácil interpretación y uso a través del panel frontal.
 - Se validó el funcionamiento del robot móvil en el que se pudo comprobar el correcto funcionamiento tanto del hardware como software al 100% ya que no presenta fallas en su funcionamiento.

V. TRABAJO FUTURO

A partir de esta tesis se plantean diferentes trabajos para desarrollar en futuras investigaciones:

- Realizar un análisis dinámico y determinar el modelo para establecer estrategias de control que ayudarán a reducir errores en la odometría.
- Implementar controladores en lazo cerrado en cada uno de sus motores.
- Se plantea desarrollar estrategias de navegación con algoritmos capaces de dotar al robot de autonomía en diferentes entornos de trabajo.

REFERENCIAS

- [1] L. Arellano, Diseño e implementación de un robot móvil con control de trayectoria mediante principios odométricos, Lima, 2015.
- [2] F. Benavides, Planificación de movimientos aplicada en robótica autónoma móvil, Montevideo, 2012.
- [3] V. Zambrano, Implementación de algoritmos de determinación de rutas para el ROBOTINO de Festo, Quito, 2015.
- [4] A. Yandún, Planeación y seguimiento de trayectorias para un robot móvil, Quito, Pichincha, 2011.
- [5] P. O. B. ISO, «ISO,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:2.13>.
- [6] G. Andaluz, Modelación, identificación y control de robots móviles, Quito, Pichincha, 2011.
- [7] J. M. Armingol Moreno, LOCALIZACIÓN GEOMÉTRICA DE ROBOTS MÓVILES AUTÓNOMOS, Leganés, Madrid, 1997.
- [8] I. R. N. Roland Siegwart, Introduction to autonomous mobile robots, London: The MIT Press, 2004.
- [9] G. D. A. Navarro, Contribución a la autolocalización de robots móviles basada en la fusión de información multisensorial, Valencia, Valencia, 2009.
- [10] A. O. Baturone, Robotica: Manipuladores y robots móviles, Marcombo, 2006, pp. 15-30.
- [11] T. Bräunl, Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems, S. B. Heidelberg, Ed., Crawley, Perth, 2008.
- [12] J. A. L. y. G. E. Santillán, DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE UN ROBOT MOVIL PARA INTEGRAR A UN SISTEMA MPS PARA TRANSPORTE DE MATERIALES, Riobamba, Chimborazo, 2015, pp. 56-57.
- [13] J. M. Perez, Mapeo con robot móvil: Caracterización y modelado, Barcelona, 2012.
- [14] P. R. & Electronics, «Pololu Robotics & Electronics,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/product/2825>.
- [15] Sparkfun, «Sparkfun,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/10736>.
- [16] Parallax, «Parallax,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.parallax.com/product/28015>.
- [17] I. B. Álvarez, Construcción y control de un robot móvil (Tesis de pregrado), Sevilla, Sevilla, 2016.
- [18] N. Instrumets, «National Instruments,» 2017. [En línea]. Available: <http://sine.ni.com/psp/app/doc/p/id/psp-840/lang/es>.
- [19] Shenzhen, «FLOUREON,» Global Egrow E-Commerce Co., Ltd, 2011. [En línea]. Available: http://www.floureon.com/rc-battery-e_16. [Último acceso: 3 Noviembre 2016].
- [20] J. P. S. José RAfael Lajara Vizcaíno, LabVIEW Entorno gráfico de programación., México D.F: MARCOMBO S.A.2007, 2007.
- [21] C. A. & D. Gabriel, Diseño y construcción de un robot para mapeo y exploración de minas subterráneas (Tesis de pregrado), Cuenca, Azuay, 2014.
- [22] C. A. Montes, Navegación y control de un robot móvil tolerante a fallos en sensores (Tesis de maestría), Sevilla, Sevilla, 2013.

BIOGRAFÍA DE AUTOR

Autor. – **Wilson Andres Vaca Paredes.** Nació el 23 de febrero de 1991 en el cantón Antonio Ante. Realizó sus estudios secundarios en el colegio Tecnológico Superior Otavalo obteniendo el título de Técnico Industrial en Electrónica y especialidad de Informática. Actualmente es egresado de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra. Área de interés: Automatización y control industrial, programación microcontroladores, electrónica y robótica.