

Trasmar: Vehículo robotizado para transporte de materiales radiactivos

Segovia De Los Ríos José Armando ** Martínez Jiménez Luis +

*Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

+Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Inst. Tecnológico s/n, C. P. 11801, Metepec, Edo. México



MX0200061

Resumen

Tradicionalmente los robots han sido usados para aplicaciones industriales, aunque otra área en la cual estos dispositivos han tenido un profundo impacto es en la industria nuclear. El ININ es un instituto que debe manejar y trabajar con sustancias radiactivas. El ININ es el encargado también del almacenamiento y supervisión de desechos radiactivos en el país, por lo que las aplicaciones de los sistemas robóticos en el instituto tienen el objetivo principal de reducir la exposición y el contacto del personal con el material radiactivo. Para tal fin, se ha propuesto el proyecto de Transportación Asistida de Material Radiactivo (TRASMAR).

Introducción

Tradicionalmente los robots han sido usados para la pintura atomizada, estampados, ensamble y manejo de materiales. Otra área en la cual estos dispositivos han tenido un profundo impacto es en la industria nuclear, que es donde esta ciencia tuvo su origen. El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) es un empresa que maneja y debe trabajar con sustancias radiactivas. Esto es debido a la naturaleza de sus investigaciones, así como al hecho de que el ININ es también el encargado del almacenamiento y supervisión de los desechos radiactivos en el país.

Una de las operaciones actualmente realizadas en el ININ relacionadas con la radiactividad es la de producción de ^{131}I . La demanda de ^{131}I para el diagnóstico y la terapia de enfermedades de la glándula tiroides es constante en todo el mundo. En el ININ, el ^{131}I es producido por decaimiento radiactivo de ^{131}Te y $^{131\text{m}}\text{Te}$, los cuales son obtenidos a partir de TeO_2 irradiado en su reactor nuclear[1]. Una vez irradiado el TeO_2 , el producto obtenido es depositado en un recipiente cilíndrico de plomo de aproximadamente 250 kg. de peso. Posteriormente, este contenedor es colocado en un carro de tres ruedas para ser transportado hasta las celdas de producción, las cuales tienen las condiciones de blindaje necesarias. La longitud del recorrido es de aproximadamente 200 metros a través de corredores del reactor y del área del Departamento de Química.

Actualmente el transportador es jalado por un operador y empujado por otro, lo cual, dada la sustancia que es transportada, no es adecuado, puesto que la distancia de seguridad es mínima.

Como una forma de incrementar la seguridad de la mencionada operación de transporte, se propone la utilización de un vehículo a tres ruedas teleoperado. Específicamente, se propone que la plataforma sea capaz de ejecutar los comandos de desplazamiento recibidos mediante la teleoperación, pero contando adicionalmente con ciertas capacidades de autonomía. El objetivo de estas capacidades será de ofrecer al operador un mayor confort y una mayor seguridad en la operación.

Las características del vehículo propuesto, así como sus principales ventajas serán mencionadas en las siguientes secciones.

Antecedentes

Dadas las condiciones en las cuales el transporte del material radiactivo es realizado (ambientes interiores, corredores, etc.), la utilización de un sistema semi-autónomo es una elección aconsejable. En este caso, el sistema es un vehículo del tipo AGV (Automatic Guided Vehicle), con una estructura de tipo triciclo, con un sistema de tracción-dirección delantero y dos ruedas libres montadas en una flecha posterior.

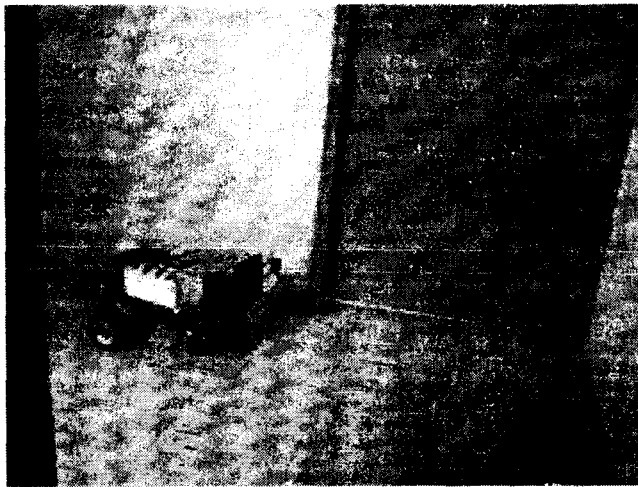
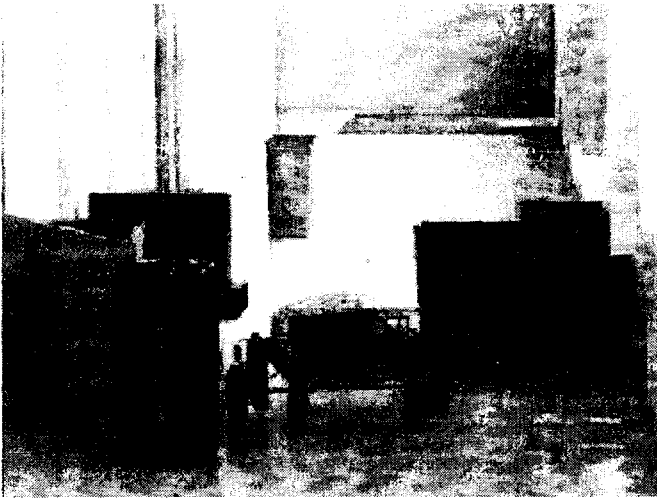


Figura 1. (a) ROMIC navegando por un espacio poblado de obstáculos, y (b) ROMIC realizando un seguimiento de pared mediante sus sensores infrarrojos.

Los AGV'S pueden ser considerados como un sub-producto de los robots móviles autónomos, los que han sido usados desde los años 50's en la industria [6]. Los AGV'S frecuentemente usan motores eléctricos para la tracción alimentados mediante baterías, y los más modernos son vehículos controlados por computadora con uno o más microprocesadores a bordo. Varios métodos de navegación y guiado han sido implementados. Los primeros AGV'S fueron seguidores de un alambre de guía inductivo o una línea ópticamente visible, pintada o hecha mediante papel celofán en el piso. El alambre de guía inductiva es aún el método más usado. Los AGV'S más modernos utilizan frecuentemente comunicación a radiofrecuencias para transmitir datos hacia y desde el vehículo.

Como resultado de las investigaciones hechas en Robótica Móvil en el ININ un vehículo tipo AGV se ha propuesto para transportar material irradiado. El vehículo es un triciclo con una capacidad de carga de hasta 600 kg. La operación del vehículo es semi-autónoma, con una distancia de teleoperación de hasta 11 m; su autonomía es suficiente para ofrecer condiciones de seguridad en presencia de obstáculos. El vehículo es conducido mediante un control remoto infrarrojo; este mismo control sirve para iniciar la operación en modo autónomo.

La teleoperación es para la realización de las cinco funciones principales: Avance, Reversa, Vuelta a la Derecha, Vuelta a la Izquierda y Paro. También se tienen las facilidades para la selección de velocidad.

Para la operación en modo semi-autónomo una estrategia de "seguimiento de línea", semejante al método de "seguimiento de pared" [7] pero que no usa sensores ultrasónicos, está siendo usada, de tal manera que el vehículo es desplazado en forma autónoma y adaptada a los corredores. En previos experimentos, usando el robot móvil ROMIC del ININ [2, 3], se determinó que la utilización de sensores infrarrojos podía ser una buena solución para la detección de muros y la ejecución de la tarea de "seguimiento de muro". También se comprobó en estas experimentaciones que mediante este tipo de sensores se podía realizar el "evitamiento de obstáculos". La figura 1(a) muestra que ROMIC es capaz de atravesar un ambiente muy poblado de obstáculos sirviéndose para esta tarea de solamente sus sensores infrarrojos y la lógica del programa contenido en su microcontrolador embarcado. Después de lograr franquear todos los obstáculos, él puede continuar desplazándose mediante la realización de la tarea de seguimiento de pared usando para ello este mismo tipo de sensores (figura 1(b)).

Para el evitamiento de obstáculos y el seguimiento de pared ROMIC está equipado con dos sensores infrarrojos OMRON E3V3 en sus esquinas frontales. Estos sensores son del tipo On/Off, y el umbral de distancia de detección es de 70 cm. Esta distancia es suficiente para permitir al robot girar a la derecha o a la izquierda cuando un objeto es detectado. Adicionalmente, la huella del haz infrarrojo emitido permite al robot detectar lateralmente una pared cuando se está moviendo paralelamente a ésta. En caso de que el robot esté muy cercano a la pared, el sensor correspondiente detecta esta situación y produce una aceleración de la rueda necesaria para alejar el robot.

El Sistema Propuesto

La cinemática seleccionada para el transportador de materiales peligrosos corresponde a una plataforma a tres ruedas (figura 2).

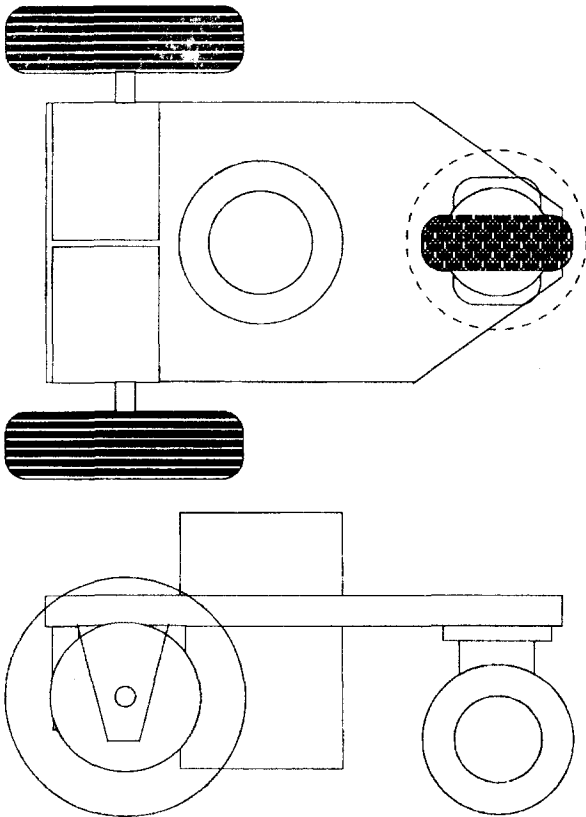


Figura 2.- Cinemática del vehículo a tres ruedas.

Las ruedas traseras giran libremente y están fijadas a una flecha, y la tracción y dirección del vehículo son brindadas por la rueda delantera, la cual cuenta con dos grados de libertad. El sistema de la rueda delantera es un conjunto de tracción y dirección Schabmuller con una capacidad de carga de hasta 900 kg. El motor de tracción (o principal) es de 0.5 kW, y el de dirección de 0.15 kW.

El núcleo del sistema de control es un microcontrolador MC68HC811 de Motorola [4, 5], que se encarga de la comunicación serial con el operador, el control de la velocidad mediante dos señales PWM (Pulse Width Modulation) y el manejo de los sensores. Los sensores utilizados en TRASMAR para la detección de obstáculos son ultrasónicos; esta elección estuvo influenciada por la cinemática de este vehículo, la cual es bastante diferente a la de la familia ROMIC (ROMIC, ROMIC2 y ROMIC-i2). Los sensores ultrasónicos son tres, y los cuales se encuentran colocados en el parachoques frontal del vehículo (figura 3). Los sensores ultrasónicos usados son el Senix 134105, los cuales brindan un voltaje proporcional a la distancia entre el transductor y el objeto. El escalamiento de los sensores es fijo, donde 0 VDC representan un blanco a 15 cms o menos y 10 VDC un blanco a 152



Figura 3. TRASMAR, el vehículo robotizado propuesto para el transporte de material radiactivo.

cms, con un voltaje proporcional entre estos límites para objetos dentro de estas distancias.

La generación de las señales de PWM es mediante programación en el microcontrolador utilizando las facilidades brindadas por un temporizador interno y los "output compare". La energía aplicada a los motores es obtenida de un puente H controlado por la razón Ton/(Ton + Toff) mediante las señales PWM generadas de acuerdo a las velocidades deseadas. El puente H está compuesto por cuatro transistores de potencia de efecto de campo MTP50N06V TMOS. Los cuatro transistores son manejados mediante dos High and Low Side Drivers IR2110 de International Rectifier.

Dado que los dispositivos de potencia tienen una capacidad de conducción de corriente finita, se deben considerar los efectos de la operación del motor sobre ellos. Usualmente la corriente del motor depende del par de carga y el comando de aceleración. Las condiciones más demandantes sobre la electrónica de potencia son cuando el motor se encuentra bloqueado o en el arranque, o a máxima aceleración con carga inercial. Si el ancho del pulso de potencia es incrementado abruptamente para acelerar rápidamente el motor, corrientes transitorias muy altas pueden fluir. Esto causará un indeseable jalón en el motor y el sistema mecánico. Peor aún, eso podría exceder los rangos permitidos de corriente en los dispositivos de potencia, con un consabido daño. La limitación de la razón de aceleración es una tarea bastante sencilla para el microcontrolador, sin embargo, un simple límite de la razón de aceleración no protege los MOSFETs bajo una condición de motor bloqueado o de cortocircuitado. Un límite de corriente ciclo a ciclo limitará de mucho mejor manera la corriente e indirectamente el límite de acelera-

ción [8]. Esto permite la completa utilización de los dispositivos de potencia. En un sistema trabajando a dos cuadrantes un simple resistor puede ser usado para detectar la corriente que en el momento está siendo aplicada por el circuito de potencia al motor, por lo tanto, el circuito se ha modificado para incluir esta protección. El voltaje a través de la resistencia es aplicado a un amplificador operacional trabajando en configuración de comparador, en el cual la otra entrada está conectada a una señal de referencia que sirve para fijar el nivel máximo de la corriente. La salida del OpAmp se conecta a las entradas SD de los dos IR2110 para apagar los dispositivos de potencia que están conduciendo cuando se alcanza el límite de corriente prefijado.

La energía para el funcionamiento del vehículo es obtenida de dos baterías de 12 V/75 A conectadas en serie para obtener los 24 volts necesarios para el funcionamiento de los motores de tracción y dirección. El circuito de control y los sensores son alimentados desde fuentes de 5 y 12 V obtenidas de la energía principal.

Resultados y conclusiones

El algoritmo para realizar el desplazamiento del vehículo en "seguimiento de muro" se ha probado exhaustivamente en ROMIC y se ha encontrado una muy buena funcionalidad, sin embargo, se ha encontrado que en TRASMAR la estabilidad es más difícil de conseguir. Esta diferencia se puede deber a que la cinemática de los dos vehículos son muy diferentes. Por lo tanto, se ha optado por utilizar el "seguimiento de camino" para desplazar a TRASMAR en el modo autónomo. Para la detección del camino, el cual está marcado por una cinta negra, se utilizan dos sensores infrarrojos colocados al frente. Inicialmente se implementaron los sensores en base a dos pares emisor-receptor reflectivos (como los de ROMIC-i2), los cuales brindan un rango de operación de aproximadamente entre 4 y 8 mm. El sistema funcionó adecuadamente cuando el piso no tenía desniveles importantes, sin embargo, dado que las imperfecciones son muy frecuentes se optó por cambiar los sensores. Por esta razón, en TRASMAR se están utilizando dos sensores WE-R3AL, los cuales se usan generalmente para la detección de objetos a una distancia 200 mm o menos; en este caso, como la cinta empleada absorbe la luz infrarroja, y el piso en el cual el robot evoluciona es reflejante, se usan para la detección del camino. El sistema de seguimiento de camino es auxiliado por tres sensores ultrasónicos colocados en la defensa, a fin de brindar la funcionalidad de "detección de obstáculos". Ya sea en modo teleoperado o autónomo, el robot para frente a cualquier obstáculo detectado, a fin de facilitar la operación y brindar una adecuada seguridad tanto a los humanos presentes en su ambiente como a los objetos y a él mismo.

El vehículo robotizado aquí presentado es el producto de anteriores experiencias tratando de obtener un robot autónomo. Para la solución del problema aquí discutido, una plataforma robotizada, como un AGV, será suficiente para mejorar grandemente las condiciones de trabajo actuales. Varias mejoras pueden ser hechas sobre el sistema propuesto, como la utilización de un sistema remoto de vídeo, aunque en este momento éste no es el objetivo de este proyecto.

Agradecimientos

El sistema propuesto surgió como resultado de algunas discusiones sostenidas con el Dr. José Alanís, en las cuales se le mostraron una serie de logros en Robótica Móvil hasta ese momento obtenidos en el Departamento de Automatización e Instrumentación por parte del autor principal de este manuscrito. Por esta razón, se le agradecen las ideas que haya podido aportar para la concepción del sistema. Los autores desean agradecer al grupo de técnicos del Departamento de Automatización e Instrumentación, y específicamente a Simón Cárdenas Montes y Paulino Rojas Nava, todo el apoyo que han brindado en las actividades necesarias para la obtención del sistema hasta el estado actual. El agradecimiento es también para el M. C. Marcial Carmona Castillo por su participación en el diseño del chasis a partir del sistema existente.

Referencias

- [1] J. Alanis & M. Navarrete, *Optimal Parameters to Produce ^{131}I by Neutron Irradiation and Melting of Sintered Tellurium Dioxide*, *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A* 422 (1999) 10-15.
- [2] Armando Segovia, Mayra Garduño, Arquímides Díaz, "Kinematic Design and Control of a Mobile Robot", *Journal of Instrumentation and Development*, Vol. 4, No. 1, 1999.
- [3] J. Armando Segovia De Los Ríos, Mayra P. Garduño Gaffare, "Seguimiento de Pared mediante la utilización de Sensores Infrarrojos", *Congreso Nacional de Robótica CONAR'99*, Cd. Juárez, Chih., México, Diciembre 1999.
- [4] M68HC11 E Series, *Technical Data*, Motorola, (1995).
- [5] M68HC11, *Reference Manual*, Motorola, 10.34 – 10.36, (1995).
- [6] www.agve.se/School/agvch.htm
- [7] P. Van Tourenhout, G. Honderd y L. J. Van Schelven, *Wall-following Control of a Mobile Robot*, *Proceedings of the 1992 International Conference on Robotics and Automation*, Nice, France, May 1992. Pp. 280-285.
- [8] Motorola, *Application Note AN1317*