

Sistema sensorial para un robot aplicado a la detección y localización de minas antipersonales

Camilo Andrés Campo Rojas, Javier Darío Coronado Vergara, Javier Iván Rizo González;
Estudiantes en trabajo de grado del programa de pregrado en Ingeniería Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana.

Camilo A. Otálora, Carlos Alberto Parra, Ph.D.

Profesores Asociados Pontificia Universidad Javeriana, Seccional Bogotá, Colombia.

Resumen: Ante la necesidad de implementar ayudas mecánicas robotizadas para las actividades de desminado humanitario, se presenta aquí el desarrollo de los módulos sensoriales necesarios y suficientes para una aplicación de este tipo. Dada la complejidad del problema y del ambiente en el que se debe ejecutar la tarea, se propone el diseño de las soluciones para cumplir con los requisitos propios de la actividad y garantizar la seguridad de la plataforma, así como permitir la supervisión y el control por parte del usuario final. Todos los módulos presentados, se encuentran totalmente desarrollados, son de bajo costo y son completamente reproducibles.

I. INTRODUCCIÓN

Para desarrollar un sistema que se encuentre en capacidad de detectar y localizar minas antipersonales es necesaria la interacción entre dos componentes fundamentales: Un sistema supervisor remoto y una plataforma móvil capaz de movilizarse en el campo que se encuentra minado.

La naturaleza de la tarea que el móvil debe realizar implica la imperiosa necesidad de garantizar en todo momento la seguridad del mismo. Esto indica que se debe contar con todos los sensores adecuados que entreguen la información suficiente para conocer el estado del sistema. Así mismo, estos últimos deberán contribuir a la supervisión de la plataforma y al adecuado modelamiento del ambiente en el cual se desenvuelva el móvil. De acuerdo a lo anterior, y teniendo en cuenta posibles mejoras y futuras actualizaciones, se desarrolló una plataforma modular compuesta de sistemas independientes que solventan las necesidades y requerimientos de la aplicación.

En este artículo se presentan cada uno de los módulos desarrollados, explicando sus características específicas y su correspondiente desarrollo electrónico. Como un ejemplo particular de la funcionalidad de los mismos, se presenta brevemente la integración electrónica lograda en el trabajo “Sistema Móvil para la detección y ubicación de minas antipersonales”.

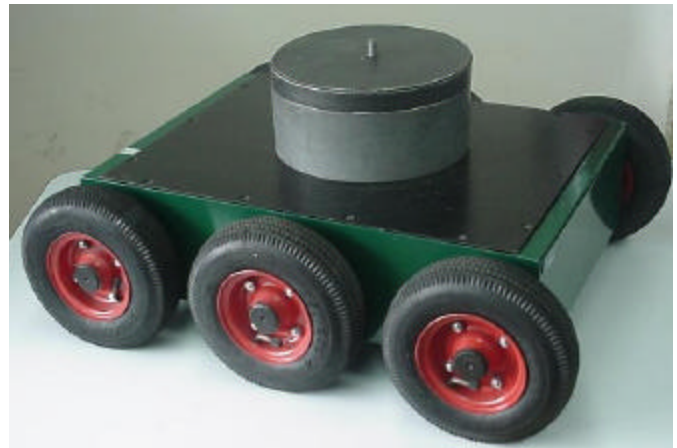


Fig 1. Plataforma mecánica sobre la cual se realizó el proyecto.

II. DESCRIPCIÓN

La tarea de detección y localización de minas, desarrollada en ambientes exteriores; naturales y hostiles, presenta un conjunto amplio de requerimientos que deben ser tenidos en cuenta para lograr el objetivo de suministrar no sólo la presencia de la mina y su localización, sino la segura navegación de la plataforma. A partir de esto, lo primero que se debe hacer es dotar de movimiento al sistema; esto implica el desarrollo de un control para los motores que se encuentre en capacidad de manejar la potencia exigida. Por ende se diseñó una tarjeta capaz de generar un movimiento controlado, es decir, una tarjeta en capacidad de ejecutar directivas básicas de desplazamiento. Otra tarea primordial para alcanzar el objetivo propuesto es la detección de minas que se logra utilizando un detector de bajo costo cuya selección va acorde con la problemática colombiana. De otro lado, para garantizar la seguridad de la plataforma, se establecen dos prioridades: la detección de obstáculos en la trayectoria del móvil y la medición de la inclinación del mismo. A partir de estas últimas mediciones es posible

generar un modelo básico del ambiente en donde se realiza el desminado.

A continuación se presenta una breve descripción de las características esenciales de los elementos diseñados y desarrollados para solucionar y cumplir los requerimientos expuestos anteriormente.

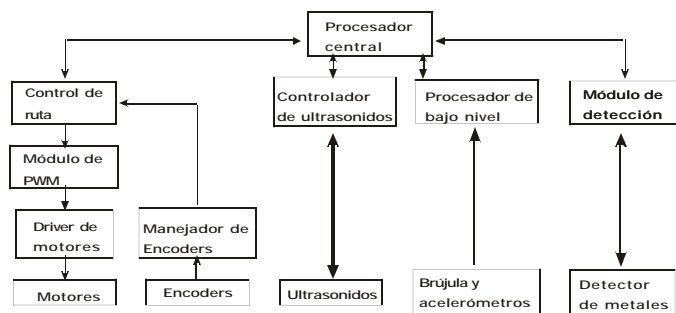


Fig 2. Diagrama en bloques del sistema sensorial.

III. MÓDULOS

A. Módulo (Drivers) de potencia.

Debido a lo irregulares y accidentados que pueden resultar los terrenos minados, fue necesaria la implementación de una plataforma dotada con motores de potencia (DC) que permitiesen la movilidad del sistema en dichos ambientes. El manejo de los motores fue elaborado mediante un módulo que combina un PWM (LM3524) y un circuito integrado en configuración puente H (L6203), que permite el manejo de la dirección utilizando solo una fuente. Con el circuito PWM se controla la velocidad del motor mediante una referencia dada, así mismo, las señales digitales de dirección son aplicadas al circuito puente H. Dadas las exigencias en el consumo de corriente en situaciones especiales (durante giros o avance en terreno inclinado), fue necesario desarrollar una configuración en paralelo de los puente H (implementación propia), de esta manera se garantiza la correcta operación de la plataforma en diversas situaciones y se eliminan problemas por consumo de potencia.

B. Módulo Control de Ruta.

Dentro del concepto modular manejado, una parte crucial para el desarrollo de la plataforma, consistía en diseñar un sub-sistema encargado de ejecutar las directivas para la navegación autónoma del móvil. El módulo desarrollado concentra todas las actividades necesarias para realizar, de manera controlada, los desplazamientos de la plataforma y permitir una interacción simple entre el nivel de proceso y autonomía y los controladores de los motores. De tal forma, el Control de Ruta recibe directivas específicas en código ASCII a través del puerto escogido (serial, paralelo, I²C, etc) y se encarga de ejecutarlas. Las directivas incluyen entre otras, Avanzar un determinado número de metros, Girar n grados, Retroceder, Detenerse o incluso entrar y ejecutar acciones en modo telecomandado. Para realizar estas acciones dicho sub-sistema se ayuda de un pequeño circuito implementado para el manejo de los encoders de los motores. El circuito logra doblar la resolución de los mismos y a partir de los dos canales entregados determina la dirección de avance. Mediante este

circuito, el control de ruta logra la retroalimentación de distancia recorrida y se cerciora de la dirección del movimiento.

De una forma muy específica, este módulo puede controlar y ejecutar de manera independiente las directivas para 4 motores, incluyendo el control de posición y velocidad de cada uno de ellos a través de una estrategia PID digital implementada dentro del microcontrolador.

Finalmente, dentro del Control de Ruta se han incluido 12 canales análogos en donde se tienen disponibles diversas mediciones de seguridad tales como temperatura y corriente de los motores, temperatura ambiente y unos canales dedicados a los sensores de posición.

C. Sensores de Posicionamiento y Orientación.

Para el posicionamiento se utilizan encoders que permiten mediciones de posición relativa del móvil valiéndose del método de la odometría. Se utilizaron encoders de baja resolución (100 pulsos por vuelta) y se elaboró un circuito mediante un dispositivo PLD (GAL) que permitiese duplicar la resolución del encoder y por ende obtener una medición más precisa de la posición del sistema. Igualmente, usando la diferencia de fase de los canales del encoder, se logra obtener la dirección de avance de los motores. Para la corrección del error incremental sugerido por la odometría, se estableció la utilización de un sensor complementario que fue implementado mediante una brújula electrónica. La orientación de la brújula nos permite estimar la desviación del móvil conforme al trayecto recorrido por el mismo. El posicionamiento preciso del móvil se le atribuye a la interacción complementaria entre estos dos tipos de sensores, el de posicionamiento (encoder) y el de orientación (brújula electrónica).

D. Sensores de Proximidad.

Pensando en solucionar el problema de una posible colisión del móvil contra un obstáculo, se diseñó un módulo de detección de proximidad valiéndose de sensores de ultrasonido. El sistema contempla un sensor transmisor y un receptor, el cual solo percibe la señal reflejada en un obstáculo cercano al móvil. La pareja de sensores es manipulada electrónicamente mediante un microcontrolador el cual hace posible la emisión de la señal transmitida y el procesamiento de la señal recibida, previamente amplificadas. El módulo permite la manipulación de dos salidas, una digital y otra análoga, ésta última resultado del filtrado (pasabajos) de la primera. La salida digital es una señal modulada en ancho de pulso la cual varía proporcionalmente con la distancia a la que se encuentre el obstáculo en el cual se refleja la señal emitida de ultrasonido. La manipulación de estas dos señales permite no solo la detección del obstáculo sino la estimación de la distancia a la cual se encuentra.

E. Módulo de medición de aceleración.

En aras de lograr lecturas de la inclinación del móvil se realizó un módulo de medición utilizando un acelerómetro. Este se encuentra en capacidad de percibir las variaciones de la aceleración en relación a unos ejes X y Y establecidos respecto a su empaque. Mediante la manipulación matemática de las salidas de ancho de pulso variables del acelerómetro

(eje X y eje Y) en un microcontrolador es posible establecer medidas proporcionales de inclinación basados en las mediciones de aceleración del sensor.

Igualmente, si así se desea, este módulo puede ser usado para realizar navegación inercial.

F. Módulo de detección de metales.

El problema de la detección 100% confiable de minas antipersonales no ha sido aún resuelto, debido a la gran variedad en composición y forma de estas mortíferas armas. Aún así, se han realizado numerosos esfuerzos sobre diferentes tecnologías, tales como Timed Neutron Detector (TND), Ground Penetrating Radar (GPR), Infrarrojo, etc, que han logrado un alto índice de confiabilidad. Sin embargo, estas novedosas tecnologías se encuentran en desarrollo además de ser demasiado costosas y difíciles de conseguir. Por esta razón y de acuerdo a la problemática específica de Colombia, se decidió desarrollar un detector de metales.

Luego de un estudio detallado del comportamiento electromagnético de diversos bobinados, se llegó a la conclusión que la bobina emisora adecuada para la aplicación es aquella cuyo diámetro no sea muy amplio (15 cm).

Todo ello obedece a que, a menor diámetro del bobinado y mayor número de vueltas, mayor es la radiación de campo, además si el calibre del alambre es el mencionado anteriormente, el consumo del detector disminuye puesto que los picos de conmutación se pueden eliminar cuando ésta es alimentada con un voltaje AC (onda cuadrada).

Para el bobinado receptor, se elaboró un bobinado de menor diámetro (10 cm). Con la interacción de este par de bobinados es posible anular la magnitud del campo radiado y la del campo recibido mediante el acople mecánico de un transformador. Una vez logrado este acople, se hace crítica la condición de oscilación del sistema (como se muestra en la figura 3). Cuando un objeto metálico se encuentra cercano al bobinado (20 cm), hace que los campos ya no se anulen, logrando una oscilación que se refleja en el bobinado receptor. Esta señal oscilatoria es posible manipularla electrónicamente mediante un circuito integrado. La manipulación consta de la amplificación y rectificación de la señal recibida y la generación de la señal digital de salida mediante la comparación con un nivel de detección mínimo.



Fig 3 Configuración y forma de las bobinas de transmisión y recepción usadas en el detector de minas.

El módulo de detección fue posible reducirlo a un solo circuito integrado. Éste cuenta con una salida análoga, producto de la amplificación y rectificación de la señal oscilatoria recibida y la señal digital explicada anteriormente. La generación de la señal análoga permite la comparación de los niveles de salida con niveles de referencia establecidos por software, además del establecimiento de un patrón de radiación del objeto metálico que genera la variación del campo en el transformador.

G. Integración multisensorial.

De acuerdo a la arquitectura escogida para la plataforma, es necesario dotar al móvil de un cierto grado de autonomía, suficiente para realizar un barrido del terreno, detectando minas y evadiendo las posibles colisiones. De esta manera, se desarrolló toda la integración de módulos y sensores usando un microcontrolador comercial de bajo costo. En este microcontrolador se concentraron las actividades de inteligencia y autonomía del sistema, así como la comunicación con el nivel de control y supervisión.

Para cada uno de los módulos se estableció un canal de comunicación de acuerdo a la capacidad del microcontrolador. Por esta razón, con los sensores de proximidad y el detector de minas se usaron los canales análogos disponibles. Con el control de ruta y el módulo de aceleración se estableció una comunicación a través de un puerto paralelo de 8 bits con dos bits de control para cada dispositivo. Finalmente, con el módulo de orientación se implementó una comunicación serial sincrónica. Dentro del microcontrolador se diseñaron unas rutinas temporizadas que leen los datos de cada uno de los sensores, significando esto diferentes tasas de muestreo y adquisición, que dependen directamente de la prioridad asignada a cada sub-sistema. Igualmente, cada vez que sea necesario, el procesador genera unas directivas de movimiento que escribe en el control de ruta y éste a su vez reporta todas las variables de interés para el microcontrolador. Todo el proceso completo toma menos de 1ms lo que representa 1000 actualizaciones por segundo, suficientes para un intercambio de información adecuado.

Aunque el microcontrolador escogido carece de grandes recursos computacionales, la integración se facilita gracias a la forma en la que fueron diseñados cada uno de los subsistemas. Los resultados son satisfactorios y se comprobó una gran facilidad en la implementación, así como una completa compatibilidad entre todos los módulos.

Durante la implementación, fue necesario construir un tablero de conexiones para manejar de forma segura todas las señales de datos y de potencia exigidas por la integración. Esto se justifica desde el punto de vista de la confiabilidad y portabilidad del sistema.

El nivel de procesamiento desarrollado posee un enlace bidireccional inalámbrico para la comunicación con el nivel de control y supervisión. Desde allí se originan las órdenes de telecomando y se presentan al usuario todos los datos originados en la plataforma.

Adicionalmente a todos los módulos desarrollados que interactúan en la plataforma, se utilizó una cámara de video y un enlace de video inalámbrico entre el móvil y la estación remota. Esto, como una herramienta esencial para las

operaciones de telecomando y supervisión del sistema. Igualmente, esto permite trabajos futuros en el área de procesamiento de imágenes y navegación basada en la visión.

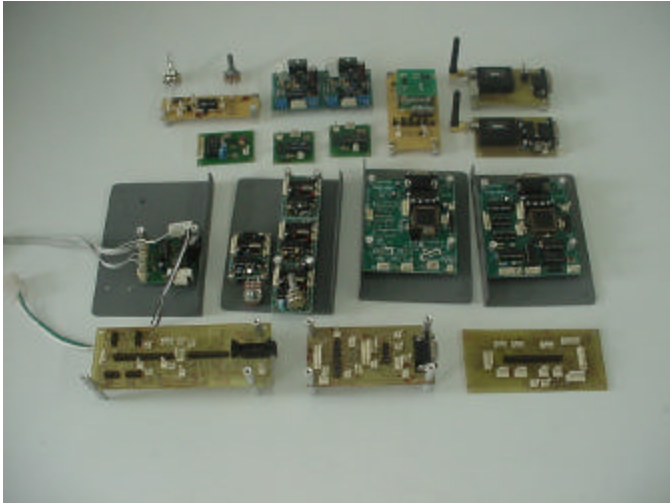


Fig 4. Aspecto final de los módulos desarrollados.

IV. CONCLUSIONES

Es importante reconocer que el desarrollo de módulos genéricos, independientes y reproducibles proporciona una gran facilidad en la manipulación y optimización del móvil y brinda la posibilidad de realizar futuras actualizaciones al proyecto.

A su vez, lograr la integración entre todos los módulos propuestos brinda una solución suficiente a los requerimientos exigidos por la aplicación, a muy bajo costo puesto que comparativamente hablando, los módulos comerciales resultan más costosos y que los desarrollados para el prototipo.

Finalmente, uno de los logros más grandes lo constituye el dejar una base establecida de hardware y software, sobre la cual elaborar proyectos de investigación en el área de electrónica y de robótica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen a la Pontificia Universidad Javeriana y al Departamento de Electrónica por el apoyo económico y logístico brindado al proyecto “Sistema móvil para la detección y localización de minas antipersonales”

Este proyecto hace parte de la acción ECOS-NORD C00M01.

REFERENCIAS

[1] Borenstein Johann, Navigating Mobile Robots. A.K. Peters. Wellesley, Massachussets.

[2]Lahr William, COINSHOOTER Metal Detector.

[3] Claudio Bruschini. Metal Detectors for Humanitarian Demining: from Basic Principles to Modern Tools and

Advanced Developments. EPFL-LAMI, Lausanne, Switzerland.

[4] Hap Hambric. Technology for mine mine clearance operations: “New approaches to mine detection”. International conference on mine clearance technology. Copenhagen, Dinamarca

[5] Johann Borenstein and Liqiang Feng. Measurement and Correction of Systematic Odometry Errors in Mobile Robots The University of Michigan.