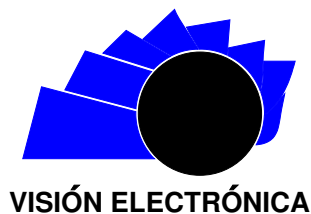




Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/index>



VISIÓN INVESTIGADORA

Agente móvil para transporte de información mediante enlaces ópticos

Mobile agent to transport information through optical links

Róbinson Jiménez M.¹, Rafael Bocanegra A.², Rubén D. Hernández B.³

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: 03/03/2016

Recibido: 23/04/2016

Aceptado: 30/05/2016

Palabras clave:

Agente robótico

Comunicación óptica

Robótica colaborativa

Sistemas complejos



Keywords:

Robotic agent

Optical communication

Collaborative robotics

Complex systems

RESUMEN

Este estudio expone el desarrollo de un agente robótico (AR) capaz de desplazarse en trayectorias cerradas sobre superficies planas no regulares. Se dota al AR con un sistema de comunicación óptica para transferencia de información en el medio en el que se desenvuelve. El AR, igualmente, mide parámetros ambientales y transfiere dicha información a una fuente remota a fin de proyectarlo para trabajar colaborativamente con agentes de la misma naturaleza en un sistema complejo. Se realizan pruebas de navegabilidad y retorno a la fuente, así como de transferencia de información, a partir de lo cual se obtiene un agente capaz de cumplir eficazmente con las capacidades propuestas

ABSTRACT

This study shows the development of a robotic agent (RA) capable of moving autonomously in closed paths on non-planar surfaces exposed to irregularities. The RA is equipped with an optical communication system to transfer information from the environment in which it operates. The RA makes the measuring of environmental parameters and transfers this information to the particular case, to a remote source, projecting it for collaborative work with agents of the same nature in a complex system. Seaworthiness tests and return to the source are made, as well as information transfer, obtaining an agent capable of meeting the targets efficiently

¹Ingeniero electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia; MSc. en Automatización Industrial, Universidad Nacional de Colombia. Lugar de trabajo: Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Correo electrónico: robinson.jimenez@unimilitar.edu.co

²Ingeniero en Mecatrónica (c), Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Lugar de trabajo: Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Colombia. Correo electrónico: u1802087@unimilitar.edu.co

³Ingeniero en Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. MSc. en Ingeniería Mecánica con especialidad en Mecatrónica, Universidade Estadual de Campinas, Brasil. Lugar de trabajo: Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, programa de Tecnología en Electrónica y Comunicaciones, Colombia. Correo electrónico: ruben.hernandez@unimilitar.edu.co

1. Introducción

Los esquemas de robótica colaborativa adoptan comportamientos de enjambres de diverso tipo de especies animales, donde cada agente robótico aporta una simple tarea que, en conjunto, genera una inteligencia de grupo. La interacción entre estos agentes se torna en un sistema complejo, tal cual se observa en la naturaleza; ejemplo de ello son los enjambres de hormigas o abejas.

Este comportamiento natural, ya estudiado [1], tiene réplicas en simulación [2] y ha inspirado su aplicación en agentes robóticos [3]. Algunas simulaciones como las presentadas en [4] y [5] demuestran cómo se pueden implementar reglas sencillas en agentes robóticos con comportamiento de enjambre. En [6] y [7] se desarrollaron aplicaciones en relación con el desplazamiento de agentes robóticos en enjambre, bajo ambientes simulados.

El presente trabajo tiene como objeto diseñar el hardware y software de un agente robótico de bajo costo y capaz de trabajar en enjambre. Hacia futuro se busca poder evaluar en la práctica los comportamientos descritos mediante los modelos teóricos y sus respectivas simulaciones, según las posibles interacciones emergentes propias de un sistema complejo de esta naturaleza y empleando el tipo de agente por desarrollar.

Diseños previos como el presentado en [8] tienen arquitecturas relativamente complejas, dado el uso de más de un sistema de microcontrol. Aunque el diseño presentado en [8] es más económico que algunos de los desarrollos comerciales, como los presentados en [9] y [10], está orientado a transferir información de la ubicación entre agentes, lo cual limita su interacción con el medio. Para el caso particular, se busca desarrollar un agente móvil capaz de transferir algún tipo de información del ambiente mediante una transmisión óptica. De esta forma, en una segunda etapa de la investigación se pueda intercomunicar con otros agentes.

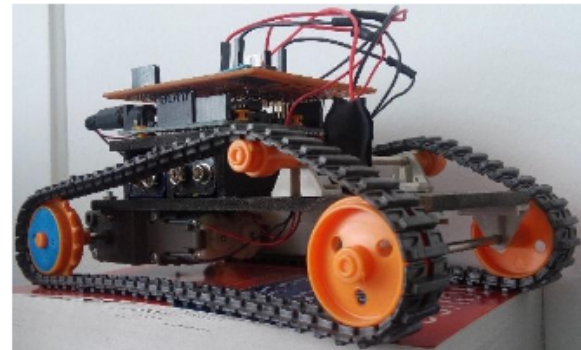
El presente artículo está compuesto por cuatro secciones: la primera presenta las características de hardware encargadas de dar movilidad al agente robótico; la segunda muestra el sistema de comunicación empleado; la tercera presenta el análisis de resultados; y, finalmente, en la cuarta se comparten las conclusiones.

2. Diseño del agente móvil

De las características del sistema de prueba, en el cual un agente puede explorar el entorno cercano, desconocido

o no para él, se evidencia la necesidad de que pueda salvar ciertos tipos de obstáculos para exploración autónoma. Para ello, se implementa el cuerpo del agente mediante un sistema tipo oruga, el cual se compone de dos motores de corriente continua independientes, con engranajes reductores de una relación de transmisión de 58:1. Cuenta además con un control de dirección que le permite girar en su propio centro y una configuración de oruga (Figura 1), la cual le permite abordar terrenos levemente inclinados con relativa facilidad. Las dimensiones de cada agente en esta plataforma robótica son de 10,6 cm y 17,4 cm de ancho; emplea una alimentación de 9 V y un control de giro mediante puente H.

Figura 1: Agente tipo oruga



Fuente: elaboración propia.

El desplazamiento del agente se realiza mediante una secuencia programada temporizadamente; es decir, se desplazará en determinada dirección durante cierto tiempo y luego girará. La configuración de la trayectoria que ha de seguir es realizada al operar los dos motores y un circuito puente H para cada uno, lo que determina el movimiento mediante las señales de control dadas en la Tabla 1; allí, H corresponde a un estado lógico alto (5 V) y L corresponde a uno bajo (0 V). Las trayectorias del robot son planeadas de forma cerrada para que este pueda siempre retornar a la fuente.

Tabla 1: Señales de control del agente

Señal puente H Motor 1	Señal puente H Motor 2	Movimiento agente
H-H	H-H	No se genera
H-L	H-L	De frente
L-H	L-H	Retrocede
H-L	L-H	Giro izquierda
L-H	H-L	Giro derecha
L-L	L-L	Se detiene

Fuente: elaboración propia.

El sistema de medición implementado inicialmente está basado en un sensor de temperatura LM35, el cual cuenta con una resolución de 10 mV de variación por cada grado centígrado en el cambio de la temperatura del medio. La digitalización de esta señal y la generación de la señal de control para los motores se realizan mediante una tarjeta microcontrolada Arduino Uno, que se puede apreciar en la parte superior de la Figura 1. Esta tarjeta cuenta con un conversor análogo digital que es capaz de identificar cambios de voltajes de mínimo 4,886 mV y asociar cada cambio a un código binario de 10 bits (1024 combinaciones). Mediante (1) se obtiene la conversión del voltaje leído del sensor a la temperatura del ambiente, la cual ha de ser medida en puntos diferentes en el recorrido del agente.

$$Temp = \frac{codigo(10bits) * 4,486mV}{10mV/^{\circ}C} \quad (1)$$

La temperatura es transmitida mediante comunicación serial una vez el agente retorna a la fuente. En la sección siguiente se aborda este tema.

3. Diseño del sistema de comunicación

Dado que se proyecta implementar un enjambre de robots colaborativos, en escala de 10 a 20 agentes, el uso de sistemas inalámbricos por radio frecuencia no ofrece una solución viable, entre otras razones por la interferencia que se produciría entre distintos agentes que se comunican simultáneamente. De igual forma, emplear diferentes canales de transmisión generaría un sistema innecesariamente más complicado, al tener que ubicar qué agente está cerca y en qué canal se comunica. Sumar a esto una comunicación por radiofrecuencia exigiría mayores requerimientos de potencia.

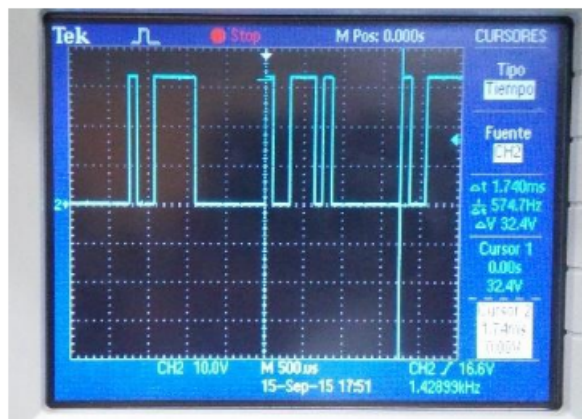
La siguiente opción es realizar la comunicación mediante un enlace óptico que emplea diodos infrarrojos. Para este caso se requiere menos potencia de transmisión a costa de un enlace direccional; el ángulo de cobertura de un diodo infrarrojo es de aproximadamente 120°. Debido a que los diodos se ubicarían en la parte frontal y central del agente, se tendría un ángulo de 60° a izquierda y derecha, para lograr establecer una comunicación efectiva, lo cual no sería un inconveniente. A la par, la detección frontal de un enlace de comunicación entre dos agentes permite establecer las condiciones necesarias para el transporte de información de forma colaborativa.

Escogido el enlace óptico, se establece una trama de datos modulada de 8 bits, dado que la tarjeta microcontrolada empleada posee un bus de datos y un buffer de recepción serial de este orden. La modulación obedece a la necesidad de reducir la interferencia

de fuentes de luz infrarroja que pueda afectar la información. Como caso puntual se tiene el Sol, que emite radiación de este tipo, al igual que otras fuentes de iluminación artificial hechas por el hombre.

La frecuencia de modulación escogida es de 620 Hz, donde el tiempo de bit empleado es de 100 μs. Durante el tiempo en alto de la portadora se enmascara la información por transmitir y se simula un tiempo en bajo adicional para ejecución de los procesos de medición y conformación de la trama. Este tiempo se estima cerca a los 150 μs. En la Figura 2 se aprecia la trama generada para transmitir los bits del número binario b10011101 y se muestran los tiempos en alto, en bajo y el tiempo asumido para procesamiento.

Figura 2: Señal transmitida



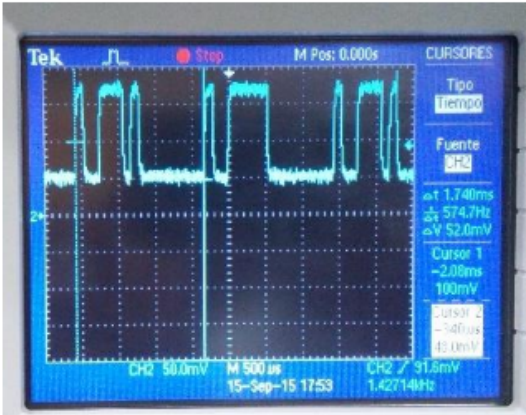
Fuente: elaboración propia.

La Figura 3 ilustra la degradación de la señal en el receptor, lo cual se debe a factores como la distancia entre transmisor y receptor, el ruido del ambiente y no tener un canal ideal. Se aprecia que a pesar de la degradación, los bits se pueden identificar, así como la frecuencia de la señal, por lo que la información es recuperada satisfactoriamente.

En este esquema de comunicación se establecen cuatro tipos de trama: una de inicio o establecimiento de la comunicación (que permanentemente se está transmitiendo), una de reconocimiento, una de retransmisión y otra de transferencia de información. Se emplea un bit de inicio (bit 1) y uno de parada (bit 8), ambos en estado lógico alto y se emplea un sistema simple de detección de error basado en cálculo de paridad (bit 7). La magnitud de la temperatura por medir, mediante los 5 bits restantes, será máximo de 30°. La condición de transmisión b11111101 representa la trama de inicio o establecimiento de la comunicación;

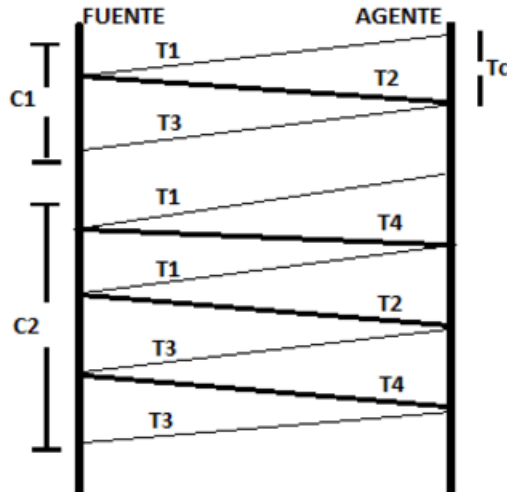
una repuesta del tipo b10000011 representa la trama de reconocimiento o enlace establecido, y una b10000001 significa retransmisión. El flujo de la comunicación se ilustra en la Figura 4.

Figura 3: Señal en el receptor



Fuente: elaboración propia.

Figura 4: Flujo de datos



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4 se identifican los cuatro tipos de tramas empleadas: la trama T1 para el establecimiento de la comunicación, la T2 para el reconocimiento o validación, la T3 para la transferencia de información y la T4 para la solicitud de retransmisión. Las tramas T1 y T3 son generadas por el agente, mientras que las tramas T2 y T4 lo son por la fuente. En la Figura 4 se identifican además dos casos de comunicación: por un lado, el ideal (C1), en el que el agente encuentra la fuente y esta le responde a la trama T1 con una T2, y el agente puede

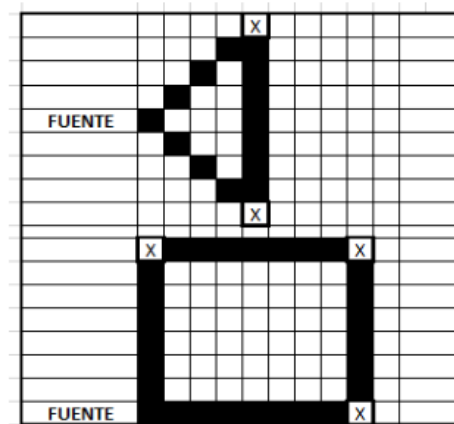
transmitir su información (trama T3) satisfactoriamente; por otro, el peor caso (C2), en el que la fuente debe solicitar retransmisión al agente, sea por mucho ruido en el medio o porque la trama llegó con un bit de paridad erróneo, tanto para la recepción de la trama T1 como de la trama T3. Tc representa el tiempo requerido para la comunicación entre fuente y agente.

4. Análisis de resultados

A fin de validar el desempeño del agente en la labor asignada, se establecieron dos tipos de trayectorias cerradas: una triangular y una cuadrada (Figura 5). Cada lado de la cuadrícula interna representa 10 cm de longitud; los puntos extremos demarcados con X indican los puntos de medición de la temperatura ambiente.

A fin de asegurar la precisión en la medición, se realizan cinco muestras en cada punto y se promedian; estas son almacenadas en el agente hasta que logra entregarlas a la fuente. Para evaluar el desplazamiento del agente y retorno al medio, cada trayectoria se realiza de forma repetitiva cinco veces. Las formas de dichas trayectorias permiten evaluar el retorno del agente a la fuente desde diversos ángulos y así determinar la efectividad en la comunicación semidireccional.

Figura 5: Trayectorias de medición



Fuente: elaboración propia.

La Tabla 2 resume los resultados obtenidos. Se puede apreciar que el resultado de la comunicación obedece a dos esquemas: exitosa o fallo; el primero se refiere a que en la fuente se logró extraer un valor de temperatura válido en el rango de 5°C a 30°C, en tanto la condición de fallo indica que no logró hacerlo.

Tabla 2: Trayectorias realizadas

N	Trayectoria	Distancia final	Ángulo final	Comunicación
1	Triangular	7 cm	10°	Exitosa
2	Triangular	2 cm	3°	Exitosa
3	Triangular	5 cm	13°	Exitosa
4	Triangular	2 cm	20°	Exitosa
5	Triangular	3 cm	12°	Exitosa
1	Cuadrada	7 cm	50°	Exitosa
2	Cuadrada	6,6 cm	39°	Exitosa
3	Cuadrada	3 cm	60°	Fallo
4	Cuadrada	2,59 cm	64°	Fallo
5	Cuadrada	7 cm	46°	Exitosa

Fuente: elaboración propia.

La distancia y el ángulo final obtenidos en cada trayectoria permiten inferir que el móvil logra retornar a la fuente, pero no se puede asegurar una distancia única o fija en el punto de retorno. Esto afecta la comunicación, dado el ángulo de incidencia con el que queda el frente del móvil respecto a la fuente. Para el caso 3 de la trayectoria cuadrada (Tabla 2), en que el ángulo es justo el límite del campo visual del diodo, la comunicación falla al no haber línea de vista entre transmisor y receptor; lo mismo ocurre para el caso 4 de esta trayectoria.

De igual forma, se habría podido presentar fallo para la trayectoria triangular si la distancia final del móvil hubiese sido cercana a cero y con algún desplazamiento lateral respecto a la fuente. La forma de solventar este problema fue la reducción de la velocidad del agente, donde al aproximarse más lento a la fuente logra transmitir y ser identificado; de esta forma, al recibir la trama de reconocimiento de la fuente, el móvil se detiene.

5. Conclusiones

Se diseñó un agente móvil robótico con la capacidad de desplazarse por un medio en trayectorias cerradas y retornar a la fuente de la que partió. Superficies planas, aunque no de forma regular, no afectan significativamente el recorrido programado. Además se logró validar que el esquema de comunicación a diferentes distancias próximas a la fuente es efectivo en el rango de cobertura del diodo. La velocidad de desplazamiento al acercarse a la fuente es fundamental para asegurar dicho ángulo.

Finalmente, el esquema de desplazamiento, la estructura del móvil y el sistema de comunicación dan al agente la versatilidad de interactuar en diferentes ambientes y con otros móviles de la misma naturaleza. Esto lo hace proyectable a trabajo colaborativo.

6. Reconocimientos

Este proyecto fue financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada con el código PIC-ING-2146 y desarrollado en el interior del grupo de investigación Gi-ITEC, del programa de Tecnología en Electrónica y Comunicaciones. Los autores agradecen a la universidad por el apoyo e interés para el desarrollo de este tipo de proyectos.

Referencias

- [1] R. Cárdenas J. “La vida en la Tierra, hormigas y enjambres”. 23 de mayo de 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.cienciorama.unam.mx>.
- [2] A. Gutiérrez M y F. Monasterio-Huelin. “Algoritmos de rastreo inspirados en colonias de hormigas”, en *XXVII Jornadas de Automática*, pp. 299-305, 2006.
- [3] A. Brutschy, A. Scheidler, E. Ferrante, M. Dorigo y M. Birattari. “Can ants inspire robots?” Self-organized decision making in robotic swarms”, en *Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE/RSJ International Conference on*, pp. 272-4273, 7-12, 2012. Doi: 10.1109/IROS.2012.6386273
- [4] T. Ying, X. Songdong, Z. Jianchao, P. Jengshyang y P. Tienszu. “Effects of algorithmic parameters on swarm robotic search”, en *Information and Automation (ICIA), IEEE International Conference on*, pp.87-92, 20-23, junio 2010. Doi: 10.1109/ICINFA.2010.5512342.
- [5] K. Ohkura, T. Yasuda, y Y. Matsumura. “Analyzing macroscopic behavior in a swarm robotic system based on clustering”, en *SICE Annual Conference (SICE), 2011 Proceedings of*, pp. 356-361, 13-18.
- [6] Z. Yunlong, X. Songdong y Z. Jianchao. “Target Position Estimation Aided Swarm Robotic Search under Conditions of Relative Localization Mechanism”, *Computing, Measurement, Control and Sensor*, 2012. Doi: 10.1109/CMCSN.2012.47.
- [7] A. Dirafzoon y E. Lobaton. “Topological mapping of unknown environments using an unlocalized robotic swarm”, en *Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE/RSJ International Conference* pp. 5545-5551, 2013. Doi: 10.1109/IROS.2013.6697160.
- [8] F. Arvin, J. C. Murray, S. Licheng, Z. Chun y Y. Shigang, “Development of an autonomous micro robot for swarm robotics”, en *Mechatronics and Automation (ICMA), IEEE International Conference on*, pp. 635-640, 3-6, 2014. Doi: 10.1109/ICMA.2014.6885771

- [9] S. Kernbach, R. Thenius, O. Kernbach, and T. Schmickl. “Reembodiment of Honeybee Aggregation Behavior in an Artificial MicroRoboticSystem”, en *Adaptive Behavior*, vol. 17, no. 3, pp. 237-259, 2009.
- [10] F. Mondada, M. Bonani, X. Raemy, J. Pugh, C. Cianci, A. Klaptocz, S. Magnenat, J.C. Zufferey, D. Floreano, and A. Martinoli. “The epuck, a robot designed for education in engineering”, en *Proceedings of the 9th Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions*, vol. 1, no. 1, pp. 59-65, 2009.