

Agentes básicos de locomoción para un robot en exteriores

L. García-Pérez, M.C.García-Alegre, J.M.Cañas(*), A.Ribeiro, D.Guinea
Instituto de Automática Industrial (CSIC)
Arganda del Rey (Madrid)
e-mail: lia@iai.csic.es

(*)Universidad Rey Juan Carlos
Móstoles (Madrid)

Resumen

Este trabajo describe la etapa de automatización básica de un vehículo corta-césped para dotarle de la capacidad de percepción y actuación necesaria para la realización de movimientos elementales bajo control remoto. La integración de sensores se realiza de modo gradual bajo los requerimientos de la funcionalidad que debe mostrar el Agente físico, siguiendo las pautas de una arquitectura jerárquica de Agentes de comportamientos AMARA.

1 Introducción

La Robótica se enfrenta actualmente al reto de diseñar e implementar prototipos de vehículos autónomos o semi-autónomos para realizar tareas que impliquen alto riesgo, repetitividad o condiciones climáticas adversas. Sin embargo los avances no han sido hasta la fecha espectaculares debido a que la automatización de un robot de exteriores es una tarea compleja que requiere los conocimientos de un equipo de expertos en múltiples disciplinas desde la Mecánica, Electrónica, Tratamiento de Señales, Inteligencia Artificial, a las Ciencias Cognitivas o Sociales. A pesar de ello, en los últimos años se vienen dedicando cada vez más recursos a la automatización progresiva de vehículos en exteriores, a fin de disponer en las próximas décadas de sistemas que naveguen tanto en modo teleoperado como autónomo bajo control remoto. Las áreas que han experimentado un mayor auge son las relacionadas con el transporte de pasajeros o carga ya sea terrestre [1], marítimo o aéreo [2].

Sin embargo el transvase de estos conocimientos a otros campos, como es el caso de la Agricultura, se ha visto relegado fundamentalmente por razones de tipo económico relativas al valor añadido del producto a desarrollar. En la actualidad y debido a la drástica reducción experimentada por los sistemas sensoriales y de proceso, unido al creciente apogeo de las tecnologías de la información y las comunicaciones, asistimos al despegue de los sistemas semi-autónomos o autónomos para ayuda y sustitución de los operadores humanos. Algunas de las áreas que actualmente se encuentran más interesadas por estos avances son



Figura 1: Robot-tractor *Rojo*.

las de minería, ingeniería forestal, medioambiente, agricultura, horticultura o jardinería [3], [4], [5], y las relacionadas con las exploraciones en zonas heladas, desérticas o planetarias [6], [7].

Este trabajo se enmarca dentro del campo de la robótica móvil autónoma para la realización de tareas en exteriores y tiene como objetivo la automatización de un vehículo o tractor cortacésped, bajo un modelo de múltiples Agentes para su aplicación futura en tareas de fumigación. A continuación se presenta la etapa de automatización para la consecución de los Agentes básicos de locomoción.

2 Robot-tractor *Rojo*

El vehículo automatizado es un cortacésped convencional, de dimensiones 2.0 (m)x 0.7 (m) con tracción a dos ruedas y motor de explosión alimentado con gasolina, de bajo coste y fácil acceso para la sustitución y manipulación de los elementos de control del giro y del embrague/marcha, Figura 1.

2.1 Sistema de actuación

Una vez analizados los posibles sistemas de actuación, se decidió la incorporación al robot de dos sistemas de actuación neumática [8], uno para el control del ángulo de giro de las ruedas delanteras y otro para el pedal del embrague.

El sistema de actuación neumática consta de los siguientes elementos: una válvula electroneumática todo/nada que permite el paso de un determinado volumen de aire comprimido, proporcional al tiempo de apertura de la misma, un cilindro neumático con un sistema de acoplamiento del pistón al actuador

físico. Ambos sistemas comparten un compresor y un calderín para la generación y almacenamiento del aire comprimido, respectivamente.

Cuando la válvula se encuentra en el estado en el que permite el paso de corriente a través de su bobina, se desplaza una de las compuertas, permitiendo la salida del aire a presión procedente del calderín. Por cada cilindro de doble efecto se necesitan dos electroválvulas, una para cada cámara. Al ser la electroválvula un dispositivo todo/nada no es posible un control de la posición del pistón en función del voltaje, por ello la actuación se lleva a cabo mediante modulación en anchura de pulso: PWM (Pulse Width Modulation) [9].

2.2 Sistema de percepción básico

La sensorización del sistema es fundamental en el desarrollo de sistemas autónomos, ya que proporciona las claves o patrones que dirigen y modulan el sistema de control y permiten evaluar el grado de consecución del objetivo propuesto. Los sensores instalados hasta el momento en el robot-tractor *Rojo* van dirigidos a cubrir las siguientes etapas:

1. Cierre del ciclo de control de los actuadores de Giro y Marcha
2. Estimación de la posición del robot
3. Adquisición de información de estructuras del entorno

En este trabajo se presenta el desarrollo de la primera tarea. Para la automatización del robot tractor *Rojo* la mínima información necesaria para realimentar el ciclo de control de la actuación es la posición del pistón del cilindro. Para medir esta posición se han incorporado dos sensores potenciométricos lineales solidarios con el cilindro. Cuando el pistón se mueve arrastra el vástago del sensor y de esta forma es posible medir la posición en la que éste se encuentra. Estos sensores son resistencias variables de gran calidad.

2.3 Sistema de proceso y control

Tanto la acción como la percepción tienen como soporte un procesador K6 II a 233 (Mhz.), PC convencional. Permite disponer, de forma directa, de un conjunto de funcionalidades añadidas, tales como la comunicación, necesaria para el control remoto, y la visualización, muy útiles en la etapa de desarrollo del primer prototipo de control. En el desarrollo del software se han tenido en cuenta propiedades como modularidad, fácil crecimiento y ampliación del sistema, prevención y tratamiento de posibles errores y posibilidad de modulación.

3 Control del movimiento básico de ROJO.

El movimiento del robot-tractor *Rojo* se controla con el giro del volante que determina el ángulo de las ruedas y el pedal embrague que actuando sobre la transmisión hace que el tractor se mueva si éste pedal está suelto, o que esté parado si está completamente presionado. Aunque en el vehículo originalmente disponía de una palanca aceleradora, restricciones de carga y limitaciones en la automatización llevaron a considerar que el movimiento se realizaría a velocidad constante.

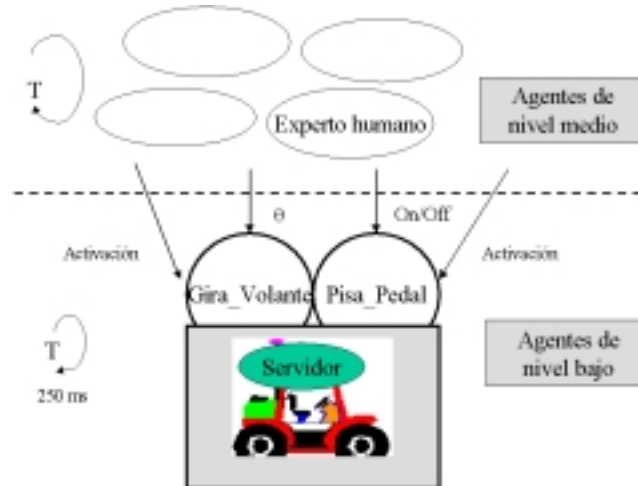


Figura 2: Esquema de los módulos de bajo nivel.

Por ello se han diseñado dos controladores encargados del movimiento básico del robot-tractor, siguiendo como Agentes básicos de movimiento, Figura 2, siguiendo las pautas de la arquitectura de control AMARA [10]. Poseen una ventana espacio temporal muy limitada con un ciclo de razonamiento y control de $T = 250 \text{ (ms)}$. Estos dos Agentes manejan un limitado numero de variables muy reducido y son activados por Agentes de nivel superior. Constituyen las bases de toda la arquitectura de control de navegación del robot.

3.1 Gira_Volante

El Agente Gira_Volante tiene como misión el control del actuador de la dirección del tractor. Los sistemas electroneumáticos están recomendados en aplicaciones de moderada carga y moderada precisión. Las posibles perdidas de aire no ensucian el entorno y proporcionan una buena relación potencia/coste. Sin embargo poseen la desventaja de ser difíciles de controlar debido a las fugas de aire y al limitado conocimiento de las interacciones entre los distintos parámetros del sistema de actuación [8]. En esta aplicación a esta fuente de incertidumbre se une aquella derivada del propio sistema de dirección del tractor por las holguras en la unión del actuador con el eje. De ahí la gran dificultad en el desarrollo de un modelo analítico clásico. Por ello la propuesta de un modelado fuzzy en el cual mediante un conjunto intuitivo de heurísticos de control se engloba el conocimiento experto de control de todo el sistema de dirección. Se diseñó un controlador *PD* borroso [9], que presenta un funcionamiento suave en todo el espacio de estados del sistema, con un número reducido de variables y de reglas.

3.2 Pisa_Pedal

El Agente Pisa_Pedal implementa el controlador encargado de la parada y puesta en marcha del tractor. Dicho controlador posee una salida binaria pues sólo existen dos posiciones posibles: pedal_suelto que permite el movimiento del

robot a una velocidad, en este caso 0.4m/s, y pedal_presionado que genera la parada del mismo. La salida del controlador a la válvula electroneumática es una señal, para que se abra una u otra cámara, presionando el pedal hasta su posición final y manteniéndolo allí.

4 Control remoto del robot *ROJO*.

El desarrollo de un robot autónomo requiere un gran esfuerzo, incluso en las etapas básicas. La investigación en telerobótica pretende disminuir esfuerzos y costes, haciendo que el operador humano actúe únicamente cuando sea necesario. Se trata de extender las capacidades de manipulación y percepción humanas a lugares inaccesibles y/o incómodos, dejando cierta autonomía local al robot para reducir al mínimo la intervención humana [11]. El control remoto puede verse como un fin en sí mismo o como un paso intermedio en la consecución de la autonomía. Todo los procesos se han desarrollado en C++ Borland Builder y el interfaz de comunicación está basado en WinSockets. En el estado actual de la arquitectura, existe un único Agente Cliente/Humano que dirige el movimiento elemental de Avance (dirección, distancia) y de Marcha/Parada (0,1) del robot. Su comunicación se realiza mediante el paso de mensajes predefinidos.

El diseño del inicio de la arquitectura de control se ha guiado por los principios: -Modularidad, de modo que sea sencillo incorporar nuevas funcionalidades - Accesibilidad, al tratarse de un robot móvil es fundamental el acceso remoto a la información suministrada por el dispositivo sensorial - Reusabilidad de los recursos, que permita reutilizar Agentes básicos en el diseño de futuros Agentes, para el desarrollo de una arquitectura de varios niveles.

4.1 Programa Servidor Rojo

El programa Servidor:Rojo cumple dos objetivos primordiales:

1. Adquirir todas las señales sensoriales de los dispositivos físicos para enviarlas a los clientes que las soliciten.
2. Cerrar el ciclo de control de bajo nivel del movimiento del robot.

Para llevar a cabo los dos objetivos anteriores ha de implementarlas siguientes tareas:

- Lectura de las señales sensoriales recogidas por la tarjeta de adquisición PCLab y procesamiento de las mismas para extraer la información sensorial deseada. Los sensores leídos mediante esta tarjeta son: los potenciómetros, los odómetros y los inclinómetros.
- Lectura de la señal del láser, enviada por puerto serie. Esta señal no requiere ningún tipo de proceso.
- Atención a los mensajes de los clientes.
- Interpretación de los mensajes recibidos, i.e. los mensajes de suscripción y de-suscripción de los clientes.
- Envío a cada cliente de los datos a los que está suscrito.

| Mensajes del cliente | | Mensajes de de-suscripción | |
|---------------------------------|------------------|----------------------------|------|
| Mensajes de suscripción. | | | |
| Válvulas | 0002 | Válvulas | 0102 |
| Odometría | 0003 | Odometría | 0103 |
| GPS | 0004 | GPS | 0104 |
| Giroscope | 0005 | Giroscope | 0105 |
| Láser | 0006 | Láser | 0106 |
| Voltajes | 0011 | Voltajes | 0111 |
| Datos giro | 0012 | Datos giro | 0112 |
| Freno | 0099 | | |
| En marcha | 0096 | | |
| Mensajes especiales. | | | |
| GiraVolante | 17GiroObjetivoIn | | |
| Reset odometría | 96 | | |

Figura 3: Mensajes del cliente al servidor.

| Mensajes del servidor | |
|-----------------------|--|
| Control | 12 't Tpo 's GiroVolante 't ErroR 't ErroAnt 't PWM 't Vln |
| Válvulas | 02 't Tpo 't VálvulaDirección 't VálvulaVelocidad 't Vln |
| Odometría | 03 't Tpo 't x 't y 't Theta 't Desplazamiento 't Vln |
| GPS | 04 't Tpo 't Lon 't Lat 't Alt 't NumSat 't Modo 't Vln |
| Giroscope | 05 't Tpo 't Theta 't Vln |
| Láser | 05 't Tpo 't MD 't MI 't ... M90 't Vln |
| Voltajes | 11 't Tpo 't v1 't v2 't v3 't v4 't v5 't Vln |

Figura 4: Mensajes del servidor al cliente.

- Activación de los módulos Gira_Volante y Pisa_Pedal.
- Control de los posibles errores.

Cliente y Servidor se comunican mediante una serie de mensajes predefinidos con una estructura muy similar para facilitar su proceso y interpretación, Figuras 3 y 4.

4.2 Programa Cliente: Control Remoto

Bajo la denominación de programa cliente agrupamos a todos aquellos Agentes que se comuniquen vía Socket con el Servidor ROJO para hacer uso de alguno de los servicios que éste ofrece. Estos Agentes o programas Cliente estarán especialmente diseñados para la realización eficaz de una determinada tarea, por ejemplo Evitar_Obstáculos. Sin embargo existen determinados procesos que van a ser comunes a todos los programas Cliente:

- Establecimiento de comunicación
- Envío de las solicitudes de suscripción y de-suscripción
- Lectura de los datos que envía el servidor.

Control remoto El Agente Control remoto simula un joystick y es capaz de guiar al tractor como si fuese un coche teledirigido. Es manejado sobre la pantalla por un operador humano con la finalidad de desplazar tractor de una nave a otra en el IAI-CSIC. Este cliente consta de dos partes bien diferenciadas:

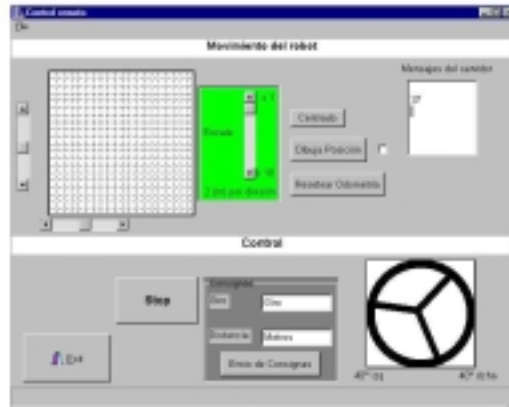


Figura 5: Programa Cliente: Control Remoto.

1.-La de visualización de la posición del robot mediante la información de los odómetros y 2.- El joystick para control remoto del volante del vehículo, Figura 5.

La parte de visualización se encarga de representar la trayectoria seguida por el robot mediante la lectura de los odómetros. Los datos son enviados via Radio-Ethernet desde el robot hasta cualquier nodo de proceso de la red interna del IAI, una vez que se ha solicitado la suscripción a los mismos.

La parte de control consta de un joystick y de un botón para la Parada y Marcha del tractor. Cuando el botón se encuentra pulsado el programa envía la señal de activación del controlador Pisa_Pedal con la consigna de parada; sucede lo contrario cuando el botón indica la puesta en marcha. A través de la pantalla del joystick se envían las consignas de giro del volante, decididas por el operario humano, al tractor mediante la conexión y el envío del mensaje de activación al controlador Gira_Volante.

5 Conclusiones

Este trabajo describe la automatización básica de un robot móvil para la navegación autónoma en exteriores. Su automatización permitirá, en un futuro próximo, la realización autónoma de tareas rutinarias o peligrosas para el operario humano, como el corte del césped o la fumigación de frutales u olivos.

Se ha diseñado y demostrado una arquitectura con dos Agentes de bajo nivel para el movimiento del robot, que servirán como bloques básicos en la generación de una arquitectura MultiAgente para la generación de comportamiento cada vez más complejo. Con esta finalidad se ha implementado una arquitectura Cliente-Servidor que gestiona la comunicación entre los dispositivos físicos del tractor y los diferentes Agentes.

Se han realizado pruebas de control teledirigido del tractor en el recinto del IAI-CSIC para su traslado de una nave a otra, que muestran un control suave de su movimiento y una adaptación rápida y sin oscilaciones a los cambios de dirección.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado en su totalidad por los proyectos de investigación: CICYT-TAP98-0781 "Arquitectura multiagente: Generación de comportamiento complejo para un robot de pulverización en exteriores", CICYT-TIC99-1321-CE "Supervisión inteligente del transporte multimodal de mercancías" y el Ministerio de Ciencia y Tecnología mediante becas predoctorales.

Referencias

- [1] Ernst D. Dickmanns. Vehicles capable of dynamic vision: a new breed of technical beings? *Artificial Intelligence*, 103:49–76, 1998.
- [2] Michio Sugeno and Hung T. Nguyen. *Fuzzy modeling and control: selected works of M. Sugeno*. CRC Press, 1 edition, March 1999.
- [3] A. Mandow, J. M. Gómez-de Gabriel, J. L. Martínez, V.F. Muñoz, A. Ollero, and A. García-Cerezo. The autonomous mobile robot aurora for greenhouse operation. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, pages 19–28, 1996.
- [4] N.Ñoguchi and H. Terano. Path planning of an agricultural mobile robot by neural network and genetic algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 18:187–204, 1997.
- [5] N. D. Tillet, John A. Marchant, and Tony Hague. Autonomous plant scale crop protection. In *Proceedings of the AGENG 96*, Madrid, Spain, 1996.
- [6] C. Stocker. The search for life in mars: The role of rovers. *Journal of geophysical research*, 103:28557–28575, 1998.
- [7] W. Whittaker, D. Bapna, M. W. Maimone, and E. Rollins. Atacama desert trek: A planetary analog field experiment. Technical report, Canergie Mellon University, 1998.
- [8] Britt Rorabaugh. *Mechanical devices for the electronics experimenter*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. TAB Books, 1995.
- [9] Lia Garcia, Jose Maria Cañas, Maria C. Garcia-Alegre, Pablo Yañez, and Domingo Guinea. Fuzzy control of an electropneumatic actuator. In *Proceedings of the X Congreso Español sobre tecnologías y lógica fuzzy STYLF2000*, pages 133–138, Sevilla, Spain, 2000.
- [10] Maria C. Garcia-Alegre and Domingo Guinea. Building and architecture for a farming robot. In *Bio-Robotics 97. International Workshop on Robotics and Automated Machinery for bio-Productions*, pages 255–260, Gandia, Spain, 1997.
- [11] James Trevelyan. Simplifying robotics- a challenge for research. *Robotics and Autonomous Systems*, 21:207–220, 1997.