

## RACE: Robot Autónomo para Corte de Césped

Flavio E. Spetale<sup>1</sup>, Pilar Bulacio<sup>1</sup>, Elizabeth Tapia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UNR-FCEIA, CIFASIS-CONICET, Argentina

[fspetale@iram.org.ar](mailto:fspetale@iram.org.ar)

{bulacio, tapia}@cifasis-conicet.gov.ar

**Resumen.** El rendimiento de robots que deben realizar tareas con tomas de decisión depende fuertemente de la inteligencia agregada a los sistemas de control. En este trabajo se presentan los elementos fundamentales del diseño de RACE, un robot autónomo orientado, pero no limitado, a tareas de cortado de césped. La arquitectura es genérica y modular consistiendo en un módulo de entrada que permite el disparo de acciones; un módulo inteligente que permite el análisis del contexto y la consecuente toma de decisión; y un módulo de salida, que efectiviza la realización de las acciones. El módulo inteligente es el corazón de la arquitectura, escuchando y preguntando al módulo de entrada y accionando en efecto al módulo de salida. La construcción y pruebas del prototipo muestran la consistencia de la propuesta.

**Palabras clave:** Toma de decisión, diagnóstico, control, microcontroladores, tiempo real.

### 1 Introducción

El desarrollo de sistemas robóticos autónomos o semi-autónomos requiere diseños complejos [1]. Un grado de autonomía en el comportamiento en un robot es solo posible por medio de un control inteligente alcanzable por una lógica y sistemas de percepción y acción que permitan plasmarlas en los sistemas de control [6].

El mayor logro de RACE (**R**obot **A**utónomo para **C**orte de **C**ésped) es alcanzar una solución que contemple tanto un funcionamiento dirigido por un usuario como un funcionamiento autónomo. Para ello es necesario dotar al sistema de funcionalidades de diagnóstico, de tomas de decisión, y de control.

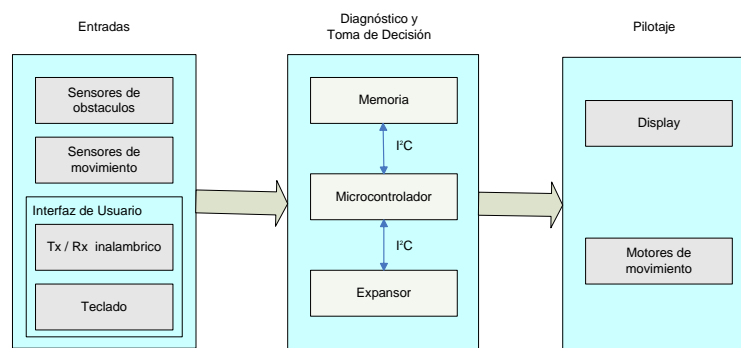
Siguiendo este objetivo, la arquitectura de RACE es compuesta por tres subsistemas: 1) *módulo de Entrada*; 2) *módulo de Diagnóstico y Toma de Decisión*; y 3) *módulos de Pilotaje*. El módulo de Entrada representa una interfaz de usuario en el caso de un funcionamiento comandado, o un punto de cruce entre el ambiente y el sistema RACE, en el caso de funcionamiento autónomo. En este último (Modo SIZE) caso, el “ambiente” formado por el espacio donde se debe desenvolver RACE es sensado para determinar obstáculos conjuntamente con la información del movimiento. El segundo módulo realiza diagnóstico a partir de la información brindada por el módulo de entrada, obteniendo un conjunto de posibles acciones. Dentro de estas acciones, toma decisiones que son enviadas al tercer módulo para

pilotear el robot mediante órdenes sobre los motores y mostrar la información acorde al modo de funcionamiento elegido en la interfaz de salida.

La organización de este trabajo es la siguiente. La Sección 2 describe la arquitectura propuesta para RACE. La Sección 3 se centra en la estructura lógica del módulo de diagnóstico y toma de decisión. La Sección 4 presenta un caso particular de esquivar un objeto fijo rectangular. Finalmente, la Sección 5 resume las conclusiones y el trabajo futuro.

## 2 Arquitectura

RACE es construido basado en una arquitectura distribuida, abierta, y modular, interconectada a través de un bus I<sup>2</sup>C con un protocolo de comunicaciones del tipo maestro/esclavo [2]. RACE implementa mecanismo de diagnóstico y control en base al estudio previo de casos de interés a resolver: 1) movimiento rectilíneo, 2) cambio de rumbo frente a un objeto, 3) detección de la presencia de una persona o animal (objeto móvil), 4) giro bidireccional, 5) distancia de avance, 6) espacio ocupado al rotar. Estas situaciones fueron resueltas por medio de lógica clásica, y programadas dentro de microcontroladores dentro del módulo de Diagnóstico y Toma de Decisión. La arquitectura (Fig. 1) es diseñada, por lo tanto, atendiendo a los requerimientos de comportamiento y a las necesidades funcionales, considerando las restricciones en el procesamiento de situaciones reales y los tiempos de ejecución requeridos.



**Fig. 1.** Arquitectura modular de RACE basada en un bus I<sup>2</sup>C

**Módulo de Entrada:** está formado por los siguientes subsistemas: sensores de obstáculos y movimientos, y como interfaz de usuario, un teclado y un transmisor-receptor inalámbrico.

- Sensores de obstáculos y movimientos. Su funciones son determinar la presencia de obstáculos frente (60° apertura de visión de sensor) y determinar si se produjo o no un desplazamiento sobre el terreno respectivamente. Para la detección de obstáculos se utilizaron sensores por ultrasonido, que detectan objetos a partir del análisis de un pulso ultrasónico: el tiempo de retardo de los pulsos reflejados es proporcional a la distancia del objeto. Para la detección de movimiento se utilizó

foto-sensores activos con un emisor de luz (LED) y un receptor de fotodiodo. El teclado matricial tiene la función de brindarle información al cerebro del RACE sobre el modo de selección y datos sobre el terreno.

- Interfaz de usuario. Está formada por un teclado y un radio control [3] usados para manejar al RACE a distancia o para entrenar al módulo de Diagnóstico y Toma de Decisión para una futura operación autónoma.

**Módulo de Diagnóstico y Toma de Decisión:** está formado por tres microcontroladores con expansores de línea para posibilitar el procesamiento (PIC) [2], [5] y una memoria EEPROM. Al ser este módulo el corazón del RACE le dedicaremos más detalle en la Sección 3.

**Módulo de Pilotaje:** realiza las tareas ordenadas por el módulo de Diagnóstico y Toma de Decisión mediante dos motores de tipo arrastre, encargados de producir el movimiento del RACE [4]. A su vez, en este módulo se presenta una interfaz de salida a través de un Display LCD para mostrar las siguientes situaciones: modos de operación (U-RC, U-REC, A-PLAY o A-SIZE), errores en la inserción de los límites del terreno (E!Rango 1-200mts.), condición de funcionamiento (Cortando, Fin de corte).

### 3 Módulo de Diagnóstico y Toma de Decisión

El módulo de Diagnóstico y Toma de Decisión es separado en unidades lógicas dependiendo de sus roles. Las unidades principales son: *inicialización, adquisición de datos, aprendizaje, diagnóstico y toma de decisión.*

**Inicialización:** Cuando el módulo de Diagnóstico y Toma de decisión se enciende, se le informa esta situación al adquirente de datos. En base a esta información, el adquirente de datos actualiza la interfaz con el usuario y solicita el ingreso de modos: en caso de ser U-RC o U-REC, RACE utilizará el radio control, los datos ingresados del terreno a través del Teclado ó buscará en la memoria los valores almacenados para ejecutarlos.

**Aprendizaje:** Cuando es seleccionado el modo U-REC, el módulo de Diagnóstico y Toma de Decisión le pide a la interfaz de usuario el ingreso de parámetros descriptivos del terreno a través del radiocontrol. La información recibida es procesada para evaluar distancias y el sentido de movimiento, y la guarda en su base de conocimiento.

**Diagnóstico y toma de decisión:** Pide datos en forma constante (intervalos de 100mseg.) al módulo de Pilotaje, con esta información procesada infiere sobre la base de conocimiento las tareas que debe realizar y las envía en forma de lista de acciones al módulo de Pilotaje.

En lo que sigue, describiremos los modos de funcionamiento e ilustraremos como resuelve un caso de uso particular.

### 3.1 Funcionamiento

RACE consta de cuatro modos de funcionamiento con la posibilidad de actuar ante obstáculos fijos y modos de seguridad para objetos en movimiento (personas y mascotas): *U-RC*, *U-REC*, *A-PLAY* y *A-SIZE*

#### 1- Modo U-RC:

En este modo los movimientos realizados en el control remoto son reproducidos por el robot. A través de una función de la unidad de adquisición de datos (*LeerRx*) se produce la detección de la recepción del radio control [3]. Posteriormente, con otras dos funciones de la unidad de diagnóstico y toma de decisión (*VerificaGiro* y *VerificaAvance*) se determina cual ha sido el movimiento realizado por la persona sobre el control. Una vez detectado el desplazamiento se procede a reproducirlo.

#### 2- Modo U-REC:

Al igual que en el modo U-RC los movimientos de RACE son replicados de acuerdo al control remoto, pero este modo permite aprender la geografía del terreno para una futura operación autónoma. Para ello, todos los movimientos y distancias recorridas son almacenados en registros de la memoria por medio del módulo de Diagnóstico y Toma de muestra (*Mov-RC* y *Dist-RACE*).

#### 3- Modo A-PLAY:

En este modo se reproducen todo los movimientos que fueron almacenados por el adquisidor de datos en memoria durante el modo U-REC. La lectura de datos por la unidad de diagnóstico es comenzada cuando el adquisidor le ordena. Cada movimiento es realizado por el módulo de pilotaje y ordenado por la unidad de diagnóstico y toma de decisión. Cabe acotar que si al leer la memoria encuentra la bandera de fin que fue colocada en el modo U-REC; el módulo de diagnóstico avisa a la interfaz de usuario que escribirá "Fin Corte" y dejará de moverse. Caso contrario, seguirá reproduciendo los sucesivos movimientos grabados. En relación a la capacidad de esquivar obstáculos, se describe en la Sección 4.

#### 4- Modo A-SIZE:

Este modo es totalmente autónomo. A diferencia de los otros, no utiliza el radio control como entrada indicadora de movimiento, sino que se vale del conocimiento que guardado del terreno: medidas en metros ingresadas por el usuario. En lo que sigue, describiremos el algoritmo usado para el funcionamiento autónomo, recorrido en forma de zig-zag y esquivando obstáculos, de RACE (ver Fig. 2).

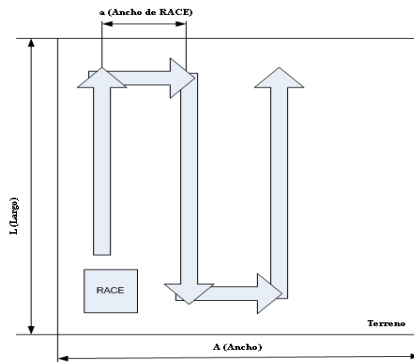
Algoritmo de Movimiento Autónomo

Entradas: Ancho (A) y largo (L) del terreno, ancho del robot (a), posición del robot (P; G).

1. Avanzar hacia delante longitudinalmente hasta que la unidad de diagnóstico detecte que avanzó L.  
Recalcula P, G.

2. Realizar un giro de 180° hacia derecha o izquierda dependiendo de G y se desplaza una distancia a.  
Queda en posición de retorno. Recalcula P, G.
3. GO TO step1. Recalcula P, G.
4. BREAK cuando avanzó A(fin del terreno)  
Salida:
5. Display: "Fin Corte"
6. Detener motores.

Al igual que en el modo anterior ante la presencia de un obstáculo RACE lo esquivará y luego continuará con su recorrido. Si el objeto se encuentra a distancia inferior a 1 metro RACE se quedará inmóvil hasta que este obstáculo no sea retirado del alcance de los sensores de obstáculos.



**Fig. 2.** Recorrido de RACE en el terreno

### 3.2 Caso de uso: Detección del movimiento

Una restricción que ha surgido durante el proceso de adquisición de datos fue poder realizar reproducir en tiempo real los movimientos realizados por el radio control, para ello se ha implementado una lógica con instrucciones rápidas (poco tiempo de duración), tecnología con poco retardo y se optimizó la captación de datos recibidas del transmisor.

Algoritmo Detección de Avance o Retroceso:

Entrada: Señal de salida del Rx (A)

1. Determinar señal: ruido, avance, retroceso, stop.
2. Generar señal para el movimiento de los motores (M)
3. IF ( A != ruido)  
A ? avance, retroceso, stop

Salida:

- ```

IF (A = avance)
    Generación de señal (M = Motores hacia delante)
IF (A = retroceso)
  
```

```

        Generación de señal (M = Motores hacia atrás)
    IF (A = stop)
        Generación de señal (M = Detención de Motores)
    ELSE
        Generación de señal (M = Detención de Motores)

```

#### 4 Tratamiento de Obstáculos

A continuación se muestra un ejemplo simple de cómo RACE es capaz de esquivar un obstáculo y continuar su recorrido en forma autónoma (caso de interés 2 y 3, Sección 2). Supongamos que RACE viene avanzando y ha detectado la presencia de un objeto fijo o móvil.

De acuerdo a este razonamiento, y siguiendo la referencia de la Fig. 3 el módulo de Diagnóstico y Toma de decisión infiere el conocimiento en forma de reglas lógicas. Para el caso en cuestión, por. Ej., la siguiente regla conformaría a la base de conocimiento.

|                                                                  |                    |
|------------------------------------------------------------------|--------------------|
| SI: Sensor Izquierdo                                             | SD: Sensor Derecho |
| MI: Motor Izquierdo                                              | MD: Motor Derecho  |
| P: Posición                                                      |                    |
| SI P es alto, SI es bajo, SD es bajo LUEGO prende MI y MD,       |                    |
| SI P es bajo, SI es bajo, SD es bajo LUEGO prende MI y MD        |                    |
| SI P es alto, SI es alto, SD es alto LUEGO apaga MI y MD,        |                    |
| SI P es bajo, SI es alto, SD es alto LUEGO apaga MI y MD,        |                    |
| SI P es alto, SI es alto, SD es bajo LUEGO apaga MD y prende MI, |                    |
| SI P es alto, SI es bajo, SD es alto LUEGO apaga MI y prende MD, |                    |
| SI P es bajo, SI es bajo, SD es alto LUEGO apaga MI y prende MD, |                    |
| SI P es bajo, SI es alto, SD es bajo LUEGO apaga MD y prende MI. |                    |

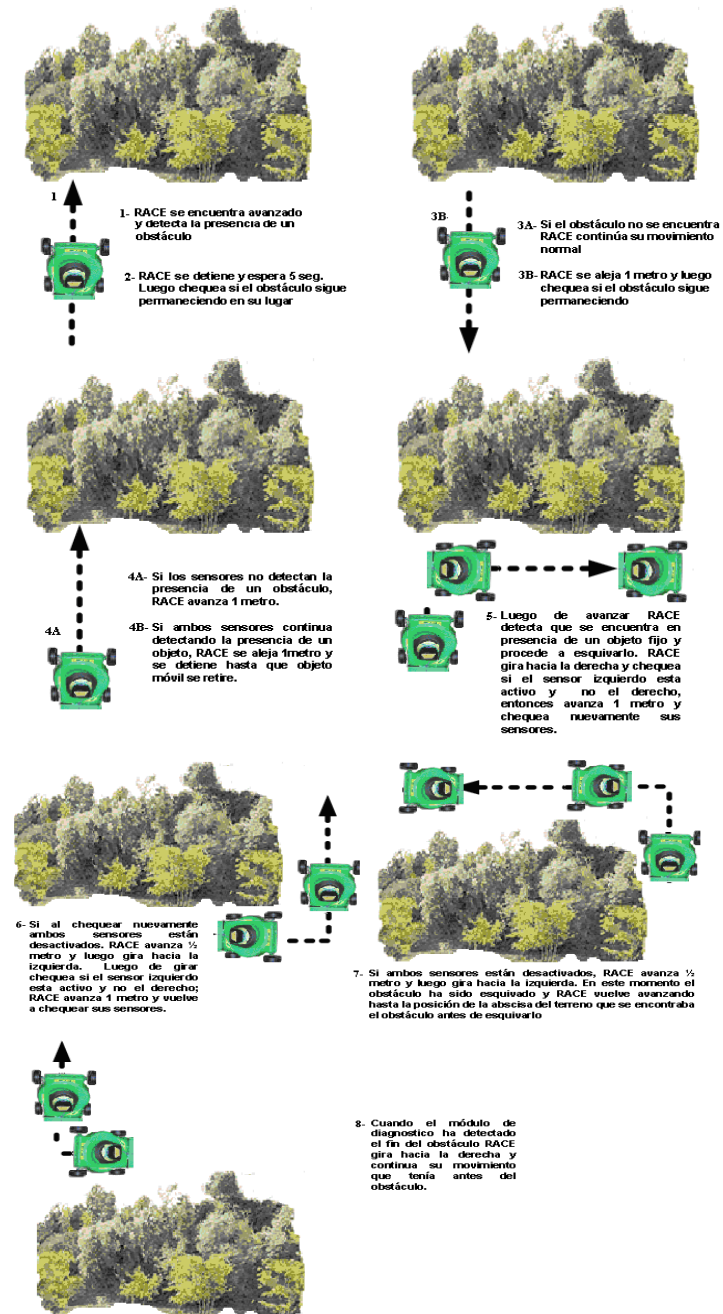


Fig. 3. Ejemplo de RACE esquivando obstáculos.

## 5 Conclusiones

RACE permite realizar el corte del césped de su terreno en forma autónoma, según el conocimiento con que se haya entrenado, o en forma comandado mediante un radiocontrol. Para ello, RACE tiene la virtud de aprender la forma del terreno e inferir las acciones más apropiadas de acuerdo al razonamiento sobre la base de conocimiento con la información sensada.

Asimismo, una de las mayores ventajas es su posibilidad de discernir entre un objeto fijo y móvil y poder esquivar los objetos fijos.

Como trabajo futuro, las posibles mejoras pueden ser regular altura de corte o implementar una función dentro del Módulo de Diagnostico y Toma de decisión para lograr el apagado automático del motor a explosión de RACE.

## Referencias

1. Yan Guo, Jiatong Baa and Aiguo Song: Designed and Implementation of a Semi-autonomous Search Robot. IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, China (2009)
2. Palacios, E., Remiro, F., López. L.: Microcontrolador PIC16F84. Desarrollo de Proyectos. 2º Ed. Alfaomega, Ra-Ma., 2006.
3. Haykin, S.; Communication Systems. 4º Ed. John Wiley& Sons Inc., 2001.
4. Chapman, S.: Máquinas Eléctricas. 3º Ed. Mc Graw Hill, 2000.
5. Verle, M.: PIC Microcontrollers. 1º Ed. MikroElektronika, 2008
6. Sahin, H. Guvenc, L.: Control Systems Magazine, IEEE: Household robotics: autonomous devices for vacuuming and lawn mowing. In: Control Systems Magazine, IEEE, vol. 27, pp. 20-96, 2007