

**7º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE CONTROL AUTOMATICO**



INTERNATIONAL FEDERATION  
OF AUTOMATIC CONTROL

**XV SIMPOSIO NACIONAL DE  
CONTROL AUTOMATICO**

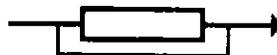
**TRABAJOS PRESENTADOS**

**Buenos Aires - Argentina  
9 al 13 de Setiembre de 1996**

**Volumen 2**

Publicado por

**AADECA**



**ASOCIACION ARGENTINA  
DE CONTROL AUTOMATICO**



**ASOCIACION ARGENTINA  
DE CONTROL AUTOMATICO**

**CONSEJO DIRECTIVO AADECA 94-96**

<b>Presidente:</b>	Ing. Jonas Paiuk
<b>Vicepresidente 1º:</b>	Ing. Aurelio T. Casucci
<b>Vicepresidente 2º:</b>	Ing. Zoltán L. Barkász
<b>Secretario General:</b>	Ing. Luis M. Buresti
<b>Prosecretario:</b>	Ing. Daniel O. Lupi
<b>Tesorero:</b>	Ing. Juan P. Weisz
<b>Vocales Titulares:</b>	Ing. Héctor A. Maceri
	Ing. Eduardo R. Rondelli
	Ing. Osvaldo H. Capino
<b>Vocales Suplentes:</b>	Ing. Sergio Szklanny
	Ing. Ricardo O. Carelli
<b>Adscripta a Consejo Directivo:</b>	Susana Terlizzi

**Comisión Internacional de Programación**

**Presidente:** Köppel, V.J. Argentina

**Miembros:**

Barkász, Z.	Argentina	Marchetti, J.	Argentina
Brignole, E.	Argentina	Miyagi, P.	Brasil
Candiani, C.	Argentina	Naranjo Pérez, F.	Colombia
Celso de Lima, W.	Brasil	Paiuk, J.	Argentina
Cipriano, A.	Chile	Pereira Caloba, A.	Brasil
Godfrid, C.	Argentina	Quijano, A.	Argentina
Gomide, F.	Brasil	Rabanillo, A.	Cuba
Ibarra Zanata, M.	México	Sánchez Peña, R.	Argentina
Kuchen, B.	Argentina	Uria de Castillo, M.	Venezuela
Lefranc, G.	Chile	Valla, M.I.	Argentina

**Comisión de Cursos**

Ing. Marinescu, Víctor F.

**7º CONGRESO LATINOAMERICANO DE CONTROL AUTOMATICO - LACC • IFAC  
9 al 13 de Setiembre de 1996 - Buenos Aires - Argentina**

095	Towards an on board path planning for a non-holonomic autonomous mobile robot towing a trailer. <i>M. Viale, T. Tsubouchi, Shin'ichi Yuta (Japón)</i>	935
112	Propuesta de una metodología para resolver la cinemática de un robot. <i>O. D. Morán, J. L. Sánchez López, R. S. Apóstoli (Argentina)</i>	942
113	Estação robótica para automação de processos de soldagem: implementação e perspectivas. <i>V. H. Casanova Alcalde, M. H. Suguieda, S. C. Absi Alfaro (Brasil)</i>	947
122	Navegación autónoma de vehículos usando lógica difusa. <i>G. Rodriguez Mir, O. Calvo (Argentina)</i>	952
136	Desarrollo de un controlador para un brazo robótico industrial. <i>E. Dolling, O. Márquez, R. Fullana, E. Zavalla (Argentina)</i>	958
151	Un método de generación de trayectoria para vehículos autoguiados. <i>E. Solimei, E. Sigampa, V. Mut (Argentina)</i>	964
153	Control adaptable de seguimiento para robots basado en visión: un algoritmo discretizado. <i>O. Nasisi, R. Carelli, B. Kuchen (Argentina)</i>	970
177	Reconocimiento del entorno mediante ultrasonido. <i>C. López, M. Maggini, F. Masson, Pablo Mandolesi, O. Agamennoni (Argentina)</i>	976
178	Manejo de fallas de sensores en vehículos autónomos. <i>M. Zambón, R. Santos, F. Masson, O Agamennoni (Argentina)</i>	981
254	Estabilidad local para un control PWM de un motor para articulaciones robóticas. <i>G. Lefranc, L. Torres, A. I. Mahla (Chile)</i>	987
256	Sistema adaptivo de iluminación para visión computarizada aplicada a robótica. <i>M. Peña, R. Osorio (México), G. Lefranc (Chile)</i>	993
258	Modelo discreto de un sistema PWM con controlador PID. <i>A. I. Mahla, G. Lefranc, L. Torres (Chile)</i>	999

**TELECONTROL**

228	Sistemas de telecontrol: protocolos de transmisión de datos. <i>R. Pellizzoni (Argentina)</i>	1005
257	Solução do problema de fluxo de potencia ótimo com restrições de segurança em cluster de computadores. <i>O. R. Saavedra Mendez (Brasil)</i>	1012

**TEORIA EN CONTROL**

008	Síntesis de controladores utilizando el criterio de estabilidad de Lyapunov. <i>E. Granado, W. Colmenares, O. Pérez (Venezuela)</i>	1019
-----	--	------

**7º CONGRESO LATINOAMERICANO DE CONTROL AUTOMATICO - LACC • IFAC**  
**9 al 13 de Setiembre de 1996 - Buenos Aires - Argentina**

- 174 Transformaciones no lineales de distribuciones de probabilidad. Aplicación al filtro de información. 1116  
*F. Masson, G. Bortolotto, A. Desages (Argentina)*
- 176 Control adaptivo de sistemas inestables de fase mínima con modelo inverso. 1122  
*M. A. Jordán, O. A. Orqueda, A. C. Desages (Argentina)*
- 182 Detección de bifurcación de doble período en sistemas de control no lineales. 1128  
*D. W. Bernsl, J. L. Moiola (Argentina)*
- 183 Control paramétrico de bifurcaciones utilizando sistemas realimentados. 1134  
*J. L. Moiola (Argentina)*
- 184 Control of uncertain piecewise linear systems. 1140  
*P. S. Mandolesi, P. M. Julian, A. C. Desages (Argentina)*
- 185 Sistemas discretos lineales a tramos: control por estructura variable. 1146  
*P. Julián, H. G. Chiacchiarini, H. Sira Ramirez, A. C. Desages (Argentina)*
- 186 Control por modos deslizantes de alto orden: diseño nominal. 1152  
*H. G. Chiacchiarini, A. C. Desages (Argentina)*
- 149 Control por matriz dinámica: propuesta de modificaciones al algoritmo de control DMC. 1158  
*S. Matilde Piñón, M. Rodriguez (Cuba), B. Kuchen (Argentina)*
- 235 Controlador de Dahlin de variância mínima auto-ajustável modificado. 1164  
*G.L.F. Vaz, A. R Coelho (Brasil)*
- 116 Sistema global de posicionamiento: Convertidor de potencia para un transmisor de DGPS. 1170  
*S. A. González, H. E. Lorente, C. H. Muravchik, M. I. Valla (Argentina)*
- 104 Linealización y desacoplamiento exactos entrada-salida del motor asincrónico mediante inversión causal. 1176  
*S. Junco (Argentina)*
- 105 Linealización exacta entrada-salida vía inversión causal de diagramas de bloques. 1183  
*S. Junco (Argentina)*

## MANEJO DE FALLAS DE SENSORES EN VEHICULOS AUTONOMOS

M. Zambón \*, R. Santos \*, F. Masson \*\* y O. Agamennoni \*\*\*

\**Dto. Ing. Eléctrica Universidad Nacional Del Sur*

\*\**CONICET, Dto. Ing. Eléctrica, Universidad Nacional Del Sur*

\*\*\**C.I.C, Comisión de Investigaciones Científicas P.B.A. y Dto. Ing. Eléctrica, Universidad Nacional Del Sur*

**Abstract.** En este trabajo se desarrolla un estudio sobre la posibilidad de disponer de técnicas de tiempo real, para soportar problemas inherentes a sensores, comúnmente encontrados en Vehículos autónomos. Se presenta como caso de estudio el sensado ultrasónico

**Key Words.** Vehículos autónomos, Sensado ultrasónico, tiempo real, tolerancia a las fallas

### 1. INTRODUCCION

La característica básica de los vehículos autónomos es la capacidad de operar independientemente en ambientes desconocidos o parcialmente conocidos. El término autónomo, implica por lo tanto, que el vehículo debe ser capaz de reaccionar a obstáculos estáticos o eventos dinámicos impredecibles los que pueden impedir el éxito de alguna tarea. Para lograr este nivel de robustez, se necesita desarrollar un sistema que provea soluciones para la localización, construcción de mapas del entorno y problemas de navegación con obstáculos. Estas características hacen de los vehículos autónomos un sistema interesante debido a que presenta la necesidad de utilizar una multiplicidad y variedad de sensores que permitan, no sólo el control del movimiento de los motores u otras partes constitutivas del sistema, sino además adquirir información del medio en que éste se mueve, como sensores acústicos, cámaras, etc. Así, además de adquirir la información para su utilización en algoritmos de control implementados en computadoras dedicadas, se debe extraer de aquella la necesaria. Esto último se conoce en la literatura como fusión de la información. Como se puede intuir, la necesidad de cálculo es importante, al punto de que existen implementaciones reales que utilizan sistemas de procesamiento en paralelo como transputers.

La medición de las variables que intervienen en un proceso es distinta de acuerdo al tipo de sensor utilizado y a las características propias de la variable sensada. Hay por lo tanto mediciones que se pueden efectuar periódicamente encuestando al sensor, cuando las variaciones en la variable sensada son conocidas de antemano y se sabe la forma de su evolución; por ejemplo sensores de tempe-

ratura. Otras en cambio son de naturaleza esporádica y el sensor es el encargado de interrumpir el proceso cuando la variable por él medida se va de un rango predeterminado (e.g. alarmas). Hay otras mediciones que sin ser de característica esporádica tampoco son periódicas. Un caso como este lo constituye la localización por eco, donde la recepción del eco por parte del sensor de ultrasonido no es un fenómeno periódico pero tampoco esporádico porque se puede preveer un intervalo de tiempo en el cual se recibirá el eco en caso de existir. Otro ejemplo con la misma problemática lo pueden constituir sistemas de visión utilizando cámaras, entendiéndose por sistemas, el conjunto de la cámara con un preprocesador de información que nos permita obtener sólo lo que es útil de la imagen. Así el tiempo de procesamiento, variará substancialmente, por ejemplo, entre una imagen con una pared lisa y otra con personas, animales, etc. en movimiento.

Por otra parte, el estudio de los sistemas de tiempo real (STR) analiza la problemática en la cual los resultados no sólo deben ser correctos desde un punto de vista aritmético-lógico sino que además deben ser producidos antes de un determinado instante de tiempo llamado tiempo de vencimiento o simplemente vencimiento (Stankovic, 1988). Cuando el sistema no puede perder ningún vencimiento se dice que es de tiempo real duro (STRD), si en cambio se permite que algún vencimiento se pierda se dice que es un sistema de tiempo real blando (STRB). Los STR se utilizan para controlar una gran variedad de procesos físicos que varían en complejidad desde la ignición de los motores de combustión interna hasta los controladores de vuelo o las plantas nucleares.

Todo sistema de control precisa sentir el estado de las variables que controla en forma periódica. Si el control es de tiempo real, no alcanza con garantizar los vencimientos en el conjunto de tareas que realiza el controlador, debido a que la validez de éstas está sujeta a la información que los diferentes sensores deben brindar al controlador en forma correcta y a tiempo. La confiabilidad de los sensores es por lo tanto un tema de suma importancia, ya que la experiencia demuestra que la probabilidad de que un sensor o actuador falle es mayor a que lo haga el sistema de computación que implementa el controlador. Entendemos aquí por fallas, no sólo la destrucción o inutilidad física permanente o temporaria, sino además la imposibilidad de prever de antemano los tiempos en que el sensor obtiene la información que le es requerida. Por lo dicho, en el presente trabajo supondremos que los errores que se produzcan en el sistema se deberán únicamente a fallas en los sensores.

En la literatura la tolerancia de los sistemas a las fallas en los sensores y la diagramabilidad en tiempo real se tratan en general como problemas separados. Sin embargo, se puede encontrar una interrelación entre los dos problemas ya que el análisis del cambio de estado debe comenzar con la actualización de la lectura del sensor y concluir cuando el conjunto de tareas que responde a ese cambio termina su ejecución. Dado que los sensores pueden sufrir fallas de temporizado (por ejemplo en una llave térmica el uso reiterado modifica su sensibilidad) los cambios de estado pueden ser observados por el controlador antes de tiempo, tarde o no ser observados en absoluto (Poledna, 1995).

Si la activación de la tarea es temprana no se optimiza la performance del sistema como pareciera. Esto se debe a que se viola una norma básica de diagramabilidad de los STR, que es el mínimo tiempo de interarribo. Esto puede producir bloqueos en otras tareas que pierden así su vencimiento. Si la activación es tardía o simplemente no ocurre, no sólo se puede perder el vencimiento de esta tarea sino de otras que estuvieran relacionadas con ellas. Como la actualización del modelo computacional no puede realizarse hasta que las tareas asociadas a los sensores hayan concluido, es probable que las sucesivas transiciones se efectúen en base a resultados incorrectos. Esto puede tener consecuencias catastróficas para el sistema. El temporizado de los sensores es, como se ve, un tema crítico.

## 2. METODOS DE ATENCION DE TAREAS EN TIEMPO REAL

Para manejar en tiempo real las situaciones anteriormente descritas, se describen tres modelos distintos llamados *activación de tareas por tiempo*,

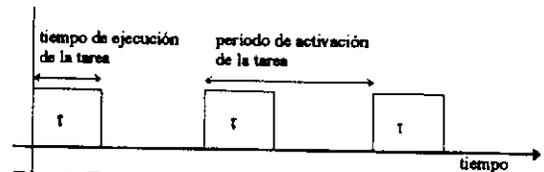


Fig. 1. Esquema del método de activación por tiempos

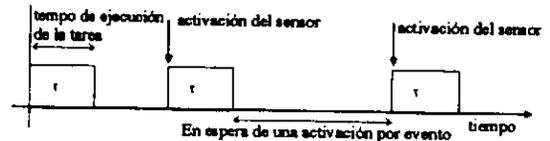


Fig. 2. Esquema del método de activación por eventos

### *activación de tareas por eventos y el modelo de tareas particionadas.*

El modelo de activación de tareas por tiempo (Fig. 1) es sencillo de implementar en sistemas donde la evolución de las variables es lenta en relación a la velocidad de procesamiento del controlador y donde la cantidad de variables tampoco es grande. El controlador posee un esquema de prioridades y tiempos y de acuerdo a ellos va encuestando a los diferentes sensores y procesando la información que ellos le entregan (Kopetz, 1994). Para diagramar un sistema activado por tiempos es preciso conocer todas las combinaciones de estado que se puedan dar y en especial el peor caso, y ante éste el sistema debe ser capaz de responder correctamente y antes del vencimiento. Dadas estas características no es apropiado para sistemas en los cuales continuamente hay variaciones importantes.

En el método de activación de tareas por eventos (Fig. 2), el sistema controlado le "avisa" al controlador de un cambio de estado mediante los sensores, por ejemplo, mediante alguna línea de interrupción. De esta forma, el controlador puede ser aprovechado al máximo, ya que únicamente tiene que responder a los llamados que son dictados externamente a él. Tiene la desventaja de ser completamente susceptible a las fallas de los sensores.

El método de activación por tareas particionadas (Fig. 3) es una combinación de los dos anteriores. Divide la tarea en tres partes: una función predictora (FP) que se ejecuta apenas termina la atención de los sensores y que establece un intervalo de tiempo durante el cual debiera ocurrir la próxima activación; fuera de ese intervalo cualquier cambio en los sensores será igno-

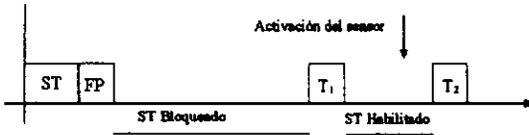


Fig. 3. Esquema del método de activación por tareas particionadas

rado; una función de tiempo (FT) que habilita la atención de los sensores en el instante en que comienza el intervalo predicho por la FP, y una función de cierre del intervalo, tal que si para ese momento la tarea no ha sido activada se activa; finalmente un servidor de tarea (ST) que se encarga de ejecutar la tarea asociada al cambio de estado en el sensor.

Si el sensado se produce antes de tiempo, el ST permanece bloqueado hasta el comienzo del intervalo predicho. Si al finalizar el intervalo no se produjo el cambio de estado, significa que el sensor "falló". Por lo tanto produce automáticamente la activación de la tarea en ese instante. Este método es mucho más robusto que el anterior, ya que minimiza el efecto de las fallas de los sensores (Poledna, 1995).

Formalmente, dado un conjunto de sensores  $S = \{s^1, s^2, \dots, s^n\}$  asociados a  $n$  variables de estado  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , esto suponiendo que las variables de estado son medibles a fin de simplificar la presentación pero que no quita generalidad a la solución. Llamamos *entidad de tiempo real* (E) a la variable de estado y *objeto de tiempo real* (O) a la representación en el modelo computacional de ésta. Supongamos un sistema en el que se quiere controlar la altura de una columna de líquido. Para hacerlo se sensa la altura con un sensor que mide la diferencia de presión entre los extremos de la columna que es proporcional a la altura y la transforma en una tensión que es adquirida por el controlador a través de un conversor A/D. En este caso la E es la altura de la columna, y el O es el valor numérico que representa la altura de la columna en el controlador. Cada sensor tiene por lo tanto una entidad y un objeto de tiempo real asociado. El sistema se representa en forma discreta por:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + Bu(k) \\ y(k+1) &= Cx(k) + Du(k) \end{aligned}$$

Cuando un sensor detecta una variación en la entidad asociada a él, inicia un proceso de actualización del objeto. La tarea de actualización del objeto tiene un vencimiento y este no debe ser superado para que el sistema no entre en crisis.

A continuación se detallan los pasos que implementan los algoritmos de activación por eventos y el de tareas particionadas, dejando de lado el de activación por tiempos por ser de aplicación trivial.

*Método de activación por eventos*

1. Se produce un cambio en la variable del sistema asociada al sensor  $s^i$ , en el tiempo  $T_k$ , y éste toma el valor  $s_k^i$ , donde el subíndice  $k$  indica el momento de la transición.

2. El controlador detecta inmediatamente la activación del sensor y actualiza el objeto por medio de una función  $f(\cdot)$  que relaciona a la medida del sensor con la representación computacional de la misma.

$$O_k = f(s_k^i)$$

3. En base al nuevo valor del objeto, se actualiza el modelo.

*Método de tareas particionadas*

1. Si  $T_k < T_k^1$  entonces  $F_k = 1$ , donde  $T_k$  es el tiempo de activación de la tarea y  $F_k$  es una bandera. Como ST está bloqueado, la ejecución de la tarea queda congelada.

2. En  $T = T_k^1$  habilito ST.

3. Si  $F_k = 1$  ir a 6.

4. Si  $T_k < T_k^2$  ir a 6.

5.  $F_k = 1$ . Actualizo el valor de  $s_k^i$  de acuerdo a un criterio preestablecido (por ejemplo  $s_k^i = s_{k-1}^i$ )

6.  $O_k = f(s_k^i)$ , anulamos la atención al sensor.

7. Actualizo el modelo. Si  $F_k = 1$  hubo una falla en el sensor.

8. Hallo los nuevos tiempos  $T_{k+1}^1$  y  $T_{k+1}^2$  con la función predictora FP

$$\begin{aligned} T_{k+1}^1 &= FP(O_k, O_{k-1}, \dots, O_{k-m}); \\ T_{k+1}^2 &= FP(O_k, O_{k-1}, \dots, O_{k-m}); \end{aligned}$$

9. Bloqueo ST.

10. Habilito al sensor para que vuelva a sensar.

En el paso 8 se ejecuta la función predictora en la que se calcula el intervalo de tiempo en el cual se espera se produzca la nueva activación. Los puntos 2, 3 y 4 se refieren a la tarea de temporizado. El punto 5 se ejecuta solamente cuando la activación no se produce antes del cierre del intervalo, indica la falla en la bandera F y le otorga un valor a  $s_k^i$  de acuerdo algún criterio preestablecido. Los puntos 6 y 7 se refieren al servidor de tareas. La bandera F indica si hubo una falla de temporizado en el sensado, por lo que podría ser un desperfecto en el sensor o alguna señal espúrea que apareció fuera de tiempo. A esta altura, si quisiéramos revisar el sensor nos daría igual si fue una activación temprana o tardía o una no activación por lo que

no haremos discriminación entre ellas. La indicación de falla del temporizado del sensor tendrá distintas consecuencias según el sistema sobre el que se esté trabajando, pudiendo tolerarse la falla o disparando un proceso de alarma.

### 3. CASO DE ESTUDIO

Tomemos como caso de estudio el control de un vehículo autónomo (VA) que debe moverse en un ambiente cerrado y con posibilidad de obstáculos. Nos interesa que el vehículo monitoree periódicamente el ambiente y obtenga toda la información del medio utilizando sensores para moverse seguro. Uno de los problemas de sensado consiste en la elección del método de monitoreo del ambiente (selección del tipo, cantidad y disposición física de los sensores) y otro el manejo de la información. Esto es, elegir un método de temporizado de la lectura de los sensores y la activación de las tareas necesarias para el control de la posición y velocidad del VA (independientemente de los procesos que éstas impliquen) de forma de no perder información y cargar al mínimo al procesador.

Con una gran variedad de sensores y modelos de los mismos, los desarrollos se concentran en dos áreas, uno la construcción de un mapa basado en la ocupación y otro el seguimiento y reconocimiento de *balizas*. Las dos aproximaciones no son mutuamente exclusivas y en realidad se complementan. En el caso de la construcción de mapas basados en la ocupación, es una técnica muy útil para la navegación y evasión de obstáculos debido a que desarrolla modelos explícitos del espacio libre. Una de los mecanismos para obtener estos mapas es utilizando sensores ultrasónicos, muy populares debido probablemente a su disponibilidad y bajo costo además de sus propiedades que lo hacen inmunes a agentes externos como luz y ruido audible así como su buena resolución.

Uno de los métodos más ampliamente usado para la medición de distancias es el tiempo de vuelo (conocido por su sigla en inglés TOF: time of flight). En este la distancia al objeto es calculada a través del tiempo de viaje del primer eco. Así, es capaz de detectar objetos a distancias de 4 o 5 mts. con precisión del orden del centímetro (Agamennoni, 1995). Esta técnica en si misma, implica que el arribo de la medición, una vez que esta es iniciada, varía con la proximidad del objeto donde la onda acústica incide. De esta manera, vemos que no se puede asegurar un momento preciso de arribo de la información. Esto lo hace interesante para nuestro análisis, dado que es crucial en navegación autónoma no perder datos que impliquen chocar contra un posible obstáculo. Dadas las características de las mediciones que se van a realizar vemos que la activación por tiempos no es útil ya

que el tiempo de arribo de la información es desconocido. De las otras dos posibilidades elegiremos el métodos de las tareas particionadas por ser más robusto.

En el caso de la localización por eco, la entidad asociada al sensor es el ambiente en el que se desplaza el VA y el objeto es la representación del mapa que tenemos en el sistema de cálculo.

En primer lugar supondremos que el VA sólo posee visión frontal. Esto significa que el sensor de ultrasonido está orientado en la dirección y sentido del movimiento. Debido a la dispersión del haz, la visión del VA se limita a un sector de círculo de 20° con centro en el VA y radio máximo de unos 10 m. La mayor parte de los objetos hechos por el hombre tienen características especulares para las longitudes de onda que se manejan en localización por eco. Por este motivo para detectar el eco de la señal enviada, el sensor debe encontrarse prácticamente normal al objeto sensado. Un análisis amplio de este tema se halla en Hallam (1990). Como el VA sólo puede ver aquellos objetos que se encuentran dentro de ese sector y de éstos sólo los que tengan una orientación apropiada de sus superficies, la información del ambiente que posee el VA es pobre. Este problema, en realidad, se ve minimizado si las esquinas y aristas del objeto, o la superficie expuesta al sensor, tiene alguna curvatura y el haz de señal incide sobre la misma (en este caso se demuestra en Hallam (1990), que el sensor captará una componente del eco).

En el método de las tareas particionadas la tarea más importante es la que lleva a cabo la función predictora. El servidor de tarea representa al controlador y la función de tiempos simplemente habilita o deshabilita la recepción en el sensor. Para el caso de visión frontal el cálculo de la FP es sencillo. El cálculo de la cota mínima no es muy complejo ya que sólo hay que conocer la velocidad a la que se está desplazando el VA, el tiempo y la distancia que le lleva al VA de acuerdo a su masa y sistema de frenado detenerse, además de un "intervalo ciego" de unos 40 cm (característico de los sensores de ultrasonido y que le impide detectar cualquier obstáculo dentro de este intervalo) y con esto evaluamos la cota inferior. Si un objeto está a menos de 40 cm el VA no lo detecta y, por lo tanto, puede colisionar (esta posibilidad puede evitarse con el agregado de otros sensores sencillos que nos alarmen de esta situación). Por otro lado, si la distancia es mayor, el VA frena suficientemente rápido como para que la distancia de frenado la consideremos despreciable.

La cota superior de la función predictora está dada por el reflejo de la señal en el objeto que se encuentre a mayor distancia (Fig. 4). Si no se produce ningún tipo de reflejo entonces el ST se accionará al finalizar el intervalo de habilitación. En este caso, el controlador sabrá que la señal llegó tarde

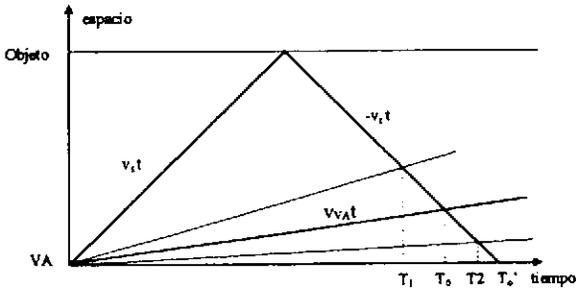


Fig. 4. Evaluación de la función predictora

o faltó, lo que implica que el obstáculo se estaba moviendo ya sea en la misma dirección que el VA pero a mayor velocidad o en una dirección distinta y simplemente el haz de ultrasonido dejó de enfocarlo. Supongamos primero que el VA se mueve a velocidad constante y que conocemos la posición actual del mismo respecto del objeto. En la figura se esquematiza el cálculo de la FP. Sobre las ordenadas se representa distancia y en las abscisas tiempo. Dada la actualización  $k$ , se considera la distancia al objeto tomada en la actualización anterior ( $d_{k-1}$ ) como cierta. Se considera al objeto quieto y al VA en movimiento con velocidad constante. A partir de ese instante se sabe el tiempo que la señal de ultrasonido tardará en recorrer  $d_{k-1}$  dos veces. Si el VA estuviera quieto se encontraría con el eco en  $T_0'$ , pero como se mueve a una cierta velocidad lo hará en  $T_0^0$ . Debido a que se consideró que el objeto no estaba en movimiento y esto puede no ser así surge el intervalo ( $T_k^1, T_k^2$ ).

$$T_0' = \frac{2d_{k-1}}{v_s}, T_0^0 = \frac{2d_{k-1} - \delta}{v_s} \quad (1)$$

donde  $\delta = v_{VA} T_0^0$ , por lo tanto

$$T_0 = \frac{2d_{k-1}}{v_s + v_{VA}} \quad (2)$$

además nos resta calcular

$$T_k^1 = \frac{2d_{k-1}}{v_s + 10v_{VA}}, T_k^2 = \frac{2d_{k-1}}{v_s - 10v_{VA}} \quad (3)$$

Para el cálculo de  $T_k^1$  y  $T_k^2$  consideramos que el objeto en vez de estar quieto puede estar moviéndose hacia el vehículo o alejándose del mismo. El valor de  $10 v_{VA}$  se tomó como un margen de seguridad. En el caso en que  $T_k^1 > T_k^2$  se intercambian.

El intervalo máximo está dado por  $T_k^1 = 2.4$  ms y  $T_k^2 = 60.06$  ms, y surge a partir de las limitaciones físicas del sensor: es ciego a menos de 40 cm, y a más de 10 m la señal que recibe como eco no tiene la suficiente potencia para superar el umbral de recepción. Si en algún momento el cálculo de  $T_1$  o de  $T_2$  da valores menores a 2.4 ms o mayores

a 60.06 ms, tanto  $T_1$  como  $T_2$  tomarán el valor extremo correspondiente.

Con visión frontal únicamente, observamos que el sistema de navegación autónoma posee algunos problemas. Si algún obstáculo se estaba desplazando hacia el VA o su recorrido se cruza con el del VA y al enviar la señal este obstáculo se encuentra más cerca de lo permitido, el controlador aunque reciba el reflejo de la señal no lo atenderá hasta que la tarea de temporizado lo habilite, produciéndose la posibilidad de choque entre el VA y el obstáculo. También puede ocurrir que como dijimos más arriba el VA no llegue a detectar el objeto por aparecer éste a una distancia menor a los 40 cm desde un costado.

Para evitar esto, el VA tendría que aumentar el arco de relevamiento. De esta manera la función predictora puede pronosticar con mayor confiabilidad el intervalo de tiempo sobre el que puede recibir reflejos. Como el relevamiento de un ambiente por ultrasonido es algo que consume mucho tiempo de procesamiento, es necesario evaluar cuál sería el arco óptimo que le permite al VA moverse con seguridad. Al igual que cuando uno maneja un auto no alcanza con mirar hacia adelante sino que hay que observar hacia los costados e incluso hacia atrás, para que el VA se pueda mover absolutamente seguro de no colisionar y no ser colisionado, el relevamiento del ambiente debe ser una circunferencia.

Para sensor  $360^\circ$  en torno al VA hay en principio dos posibilidades. La primera consiste en que el sensor sea móvil y pueda ir sensando todas las direcciones. Esto vuelve al relevamiento extremadamente lento ya que en cada caso hay que enviar la señal y esperar por el eco, procesar y luego recién pasar a la siguiente posición. Si en cada posición esperamos 60.06 ms por el eco, sólo en espera al final de la vuelta habrían pasado 1.08 s. Si le agregamos el tiempo de procesamiento y el tiempo que nos lleva posicionar al sensor correctamente vemos que este método no es bueno. La característica secuencial del sensado hace imposible su implementación en tiempo real. La segunda opción consiste en tener un anillo de sensores. Un problema a resolver es como procesar los ecos provenientes de distintos sensores. En este caso la función predictora es más compleja ya que involucra el conocimiento de la actividad de varios sensores a la vez. Esto es, cada sensor calcula como en el caso anterior un intervalo de tiempo en el cual espera recibir el eco. Pero además esta información la comparte con los sensores vecinos de modo que puedan detectar el movimiento de un objeto.

Para el manejo del sistema de prioridades se debe tener en cuenta que en principio todos los sensores tienen la misma necesidad de ser atendidos. Sin embargo, el ambiente varía en forma

constante a medida que el VA se mueve o surgen nuevos obstáculos. Debido a esto el controlador deberá establecer un orden de importancia en la atención a los sensores en cada momento. La disciplina de prioridades a ser implementada es, por lo tanto, dinámica. Lo que se propone a continuación es una disciplina isomorfa a Menor Tiempo al Vencimiento que se presenta en Liu C. (1973).

Comenzaremos suponiendo que el sistema es diagramable en forma centralizada. En este caso el sistema se resuelve con un protocolo de barra de campo. La topología es la de una estrella, con el procesador como nodo central (maestro) y los sensores como esclavos. Cada nodo (sensor) al recibir un eco almacena el tiempo medido y la envolvente del eco en un buffer y envía una interrupción al procesador para avisarle que tiene un nuevo dato. Este tiene que encuestarlo antes de un determinado tiempo para que el dato medido no pierda "actualidad". De otra forma, no se podría saber la precisión del sensado en un ambiente que está en continuo cambio. Este tiempo, llamado de precisión, varía de un sensor a otro según las características del objeto captado por cada uno, y es el que da la prioridad de un sensor por sobre los demás. Por lo tanto, en caso que dos o más sensores tengan su buffer lleno en un mismo instante se deberá decidir cuál de ellos debe ser atendido primero para no tener errores significativos.

Al comienzo de las mediciones todos los sensores emiten su señal simultáneamente y poseen el mismo nivel de prioridad. Por lo tanto se atenderá antes al que capte el eco primero. Si hubiera dos o más sensores que recibieran el eco al mismo tiempo, se resolverá en base a algún criterio, por ejemplo se atenderá primero al sensor que tenga el menor ángulo relativo al vector que indique el movimiento del VA. A partir de ese momento se le asignarán prioridades a los sensores de acuerdo a las dos mediciones anteriores. Se evalúa entonces la distancia a la que se encuentra el objeto captado y la velocidad relativa a la que se mueve el mismo. La prioridad surge de evaluar una función llamada *función prioridad*:

$$FPr = \delta_a \frac{C_1}{d(k)} + \delta_b C_2 v + p_s + \exp(C_3 \times n) \quad (4)$$

donde

$$\delta_a = \left\{ \begin{array}{ll} +1 & \text{si } -90^\circ < \text{ang}(d) < 90^\circ \\ -1 & \text{en caso contrario} \end{array} \right\} \quad (5)$$

$$\delta_b = \left\{ \begin{array}{ll} -1 & \text{si } -90^\circ < \text{ang}(v) < 90^\circ \\ +1 & \text{en caso contrario} \end{array} \right\} \quad (6)$$

donde  $p_s$  es la prioridad del sensor y  $\text{ang}(d)$  y  $\text{ang}(v)$  son los angulos de la dirección y velocidad considerados como vectores, para tener en cuenta

el movimiento del VA. Así un objeto captado en la parte trasera que se esté alejando tendrá la menor prioridad. Además las constantes  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  son empíricas y regulan la importancia que se le brinde a cada término. En caso que la suma de los dos primeros términos sea igual para más de un nodo, el tercer término produce el desempate. En el término exponencial,  $n$  es el número de veces que el sensor fue postergado en su atención. De esta manera su prioridad crece con el tiempo. Se evita así que haya grandes retardos en la atención de algún sensor.

#### 4. CONCLUSIONES

En el trabajo se han presentado los distintos algoritmos que existen en la literatura para la activación de tareas en controladores dinámicos con sus virtudes y defectos. De esta manera, se observa la importancia de aplicar técnicas de tiempo real cuando existen problemas inherentes al sistema mismo como es la falla de un sensor. Se estudió en un problema concreto como, lo es la localización por eco, y se observó que la técnica de activación de tareas más segura en el tipo de fallas que presentan estos sensores es la de tareas particionadas.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- Agamennoni, O., L. Castro, E. Paolini, J. Cousseau, S. Castro 1995. *Pattern recognition in ultrasonic sensing*. Anales VI RPIC, 2, 307-312
- Kopetz H., G. Grünsteidl, (1994). *TTP a protocol for fault-tolerant real-time systems*. IEEE Computer, 27, 14-23
- Hallam, J.C.T. y P.J. McKerrow, (1990). *An Introduction to the Physics of Echolocation*. The Australian Robot Association. Proceedings of the 1990 Third National Conference of Robotics, 1, 198-209.
- Liu C., J. Land, W. Layland, (1973). *Scheduling algorithms for multiprogramming in a hard real-time environment*. J. ACM, 19, 46-61
- Poledna, S., (1995). *Tolerating Sensor timing faults in highly responsive herd real time systems*. IEEE Tr. on Computer, 44, 181-191
- Stankovick J.A., (1988). *A serious problem for next generation systems*. IEEE Computer, 21, 10-19