

2. La Navegación Distribuida Híbrida

La solución propuesta en el presente documento, se basa en la inclusión de un código reactivo sobre cada agente individual, capaz de arbitrar el uso del espacio global de forma distribuida y respaldado por un Sistema de Navegación Deliberativo¹¹.

Dicha solución está diseñada para ser ejecutada en tiempo real en los computadores embarcados de los diferentes agentes que transitan el entorno compartido, sin que ello suponga un incremento muy alto en la necesidad de potencia computacional de los mismos.

Para el Sistema de Navegación Reactivo, se establecerán una serie de premisas y reglas que permitirán a una máquina de estados interna generar respuestas en función del entorno de cada agente, detectadas por sensores asociados a los mismos en cada instante de tiempo.

Con ello, la solución del problema global se alcanzará gracias a la resolución local que cada individuo realice en cada lapso temporal, consiguiendo gracias a ello una solución escalable, capaz de soportar un número indefinido de agentes coexistiendo en un mismo plano.

2.1 Sistema de Generación de Trayectorias por Capas

Para poder hacer uso de un sistema reactivo como algoritmo de resolución principal, sin que ello conlleve a la problemática del robot errante, se ha postulado el uso de una Arquitectura Jerárquica.

Para ello, se ha diseñado un sistema de capas en el que cada nivel provee de servicios a su nivel inmediatamente superior y utiliza los servicios ofrecidos por su nivel inmediatamente inferior.

En nuestro caso, el sistema consta de tres capas:

- Sistema de Movimiento Global: ésta capa usará la información relativa a los obstáculos estáticos del mapa y al posicionamiento aproximado del agente para aplicar un algoritmo de Navegación Deliberativo. Con él, se trazará una ruta hacia la posición destino basada en WayPoints distanciados entre sí de

¹¹ Véase: 1.1.2 El problema de la Navegación Autónoma.

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

forma importante¹² y carente de restricciones temporales. La velocidad de ejecución de éste algoritmo no será crítica dado que se encargará principalmente de mejorar la eficiencia en el recorrido del agente, permitiéndole en todo caso converger a una solución conforme a la misión que al mismo se le adjudique.

- Sistema de Esquiva Reactivo: el sistema se encargará de alcanzar los WayPoints generados por la capa superior al tiempo que basándose en la información provista por sus sensores y por los agentes colindantes generará respuestas puramente reactivas para esquivar a estos últimos y a los obstáculos estáticos. El mecanismo resolverá localmente su problema de navegación para conseguir en conjunto una solución global. Para ello, ha de incluir unas reglas de actuación sencillas, dado que su velocidad de ejecución es crítica.
- Controlador del Sistema Físico: dadas las referencias en velocidad y orientación generadas por su sistema predecesor, se encargará de actuar sobre el sistema de tracción del agente.

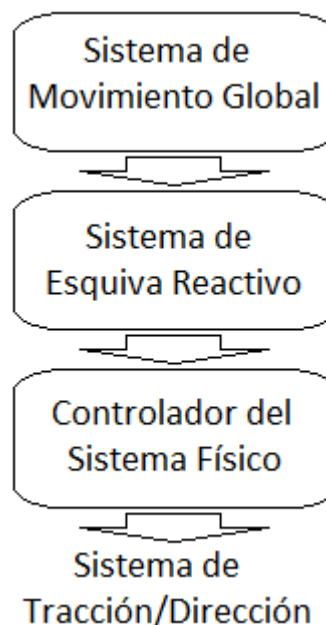


Figura 2.1: Arquitectura Jerárquica del Sistema

2.1.1 Sistema de Movimiento Global

Como ya se ha mencionado, el sistema utiliza un algoritmo de Navegación Deliberativo que tendrá en cuenta únicamente los objetos estáticos del mapa.

Su principal misión es la de mejorar la eficiencia del algoritmo reactivo ante determinadas situaciones, sin que ello suponga un costo computacional muy elevado.

Por ello, sobre dicha solución no postulará necesario el conocimiento implícito de la localización de cada agente en cada instante temporal, aunque ello no descarte la posibilidad de incluir un mecanismo capaz de evitar zonas saturadas.

¹² Los WayPoints sólo se usarán para orientar al algoritmo sobre rutas indirectas, por lo que han de ser posicionados exclusivamente en los extremos relevantes de las mismas.

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

Dado que el sistema reactivo será el encargado de realizar la esquivas pura, éste algoritmo puede ejecutarse embarcado en el procesador del robot, haciendo uso exclusivamente de los tiempos muertos del sistema; permitiendo de ésta forma una solución adaptativa a los cambios en la configuración del mapa a la vez que eliminando la necesidad del uso de un procesador más potente embarcado en el agente.

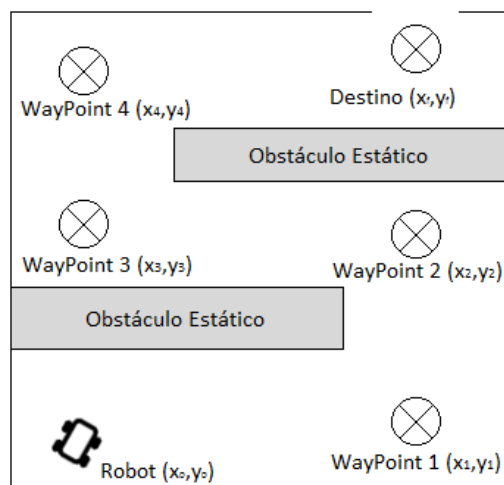


Figura 2.2: Ejemplo de Optimización de Ruta ante Obstáculos

El objetivo del presente documento es demostrar las capacidades de reacción y la convergencia ante cualquier situación que el Sistema Reactivo posee y al cual esta capa alimenta; por ello se presupondrá una secuencia de puntos conocida.

2.1.2 Sistema de Esquiva Reactivo

Para poder alcanzar los objetivos impuestos por el Sistema de Movimiento Global a la vez que asegurando la integridad del agente, se han impuesto sobre este sistema una serie de premisas y restricciones que ayudan al cumplimiento de las funciones especificadas sin que ello repercuta en un aumento excesivo de los recursos que haya de disponer el sistema que lo utilice.

2.1.2.1 Premisas y Restricciones del Sistema de Esquiva

2.1.2.1.1 Colisiones: El Reserved Disk

Debido a las existentes indeterminaciones del sistema de posicionamiento y los tiempos de procesamiento que determinan nuestra capacidad de reacción, se hace necesario definir una zona reservada donde pueda asegurarse la presencia del robot y en la cual el mismo sea capaz de parar completamente de forma segura tras la detección de un obstáculo.

Para ello, será necesario un estudio individual de la probabilidad máxima de error en posición de cada agente adquiriendo de esta forma una Zona de Máxima Probabilidad de Existencia donde pueda asegurarse la presencia del mismo.

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

Sobre dicha zona, que se definirá circular, se incluirá un segundo anillo que rodee a la misma y que definiremos como Zona de Reacción. Su radio superior ha de ser la suma de su radio inferior, determinado por la Máxima Probabilidad de Existencia, más la distancia derivada del tiempo que tarda el computador embarcado en detectar una amenaza por la velocidad máxima alcanzable por el agente.

Por último se definirá a su alrededor una Zona de Frenado cuyo radio menor será equivalente al radio mayor de la Zona de Reacción y que tomará como radio mayor dicho valor más la distancia que requiere el agente para frenar completamente partiendo de una situación de velocidad máxima.

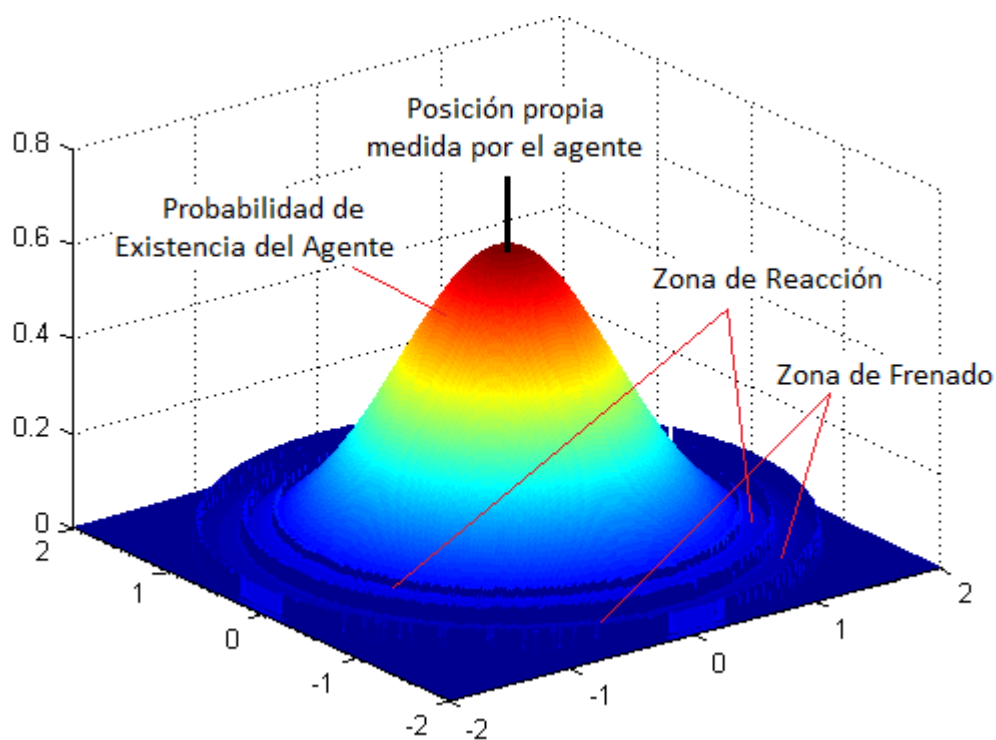


Figura 2.3: Esquema de distribución de zonas básicas dentro de un Reserved Disk

Todos los agentes implicados en el sistema han de disponer de una zona que respete como mínimo éstas condiciones, y que definiremos como Reserved Disk.

Cualquier violación de un Reserved Disk se considerará una colisión en el sistema, siendo éste hecho inaceptable en cualquier caso.

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

El Sistema de Esquiva Reactivo se encargará de que el agente no infrinja dicha condición de forma activa, es decir, el agente por actuación directa no violará su Reserved Disk con ninguno de los obstáculos que le rodean.

Además de ello, es requisito que el agente pueda orientarse dentro del Reserved Disk sin salir del mismo. Por ello, puede ser interesante incluir dentro de dicha zona reservada un espacio de maniobras¹³ que permita al agente cumplir dicha condición.

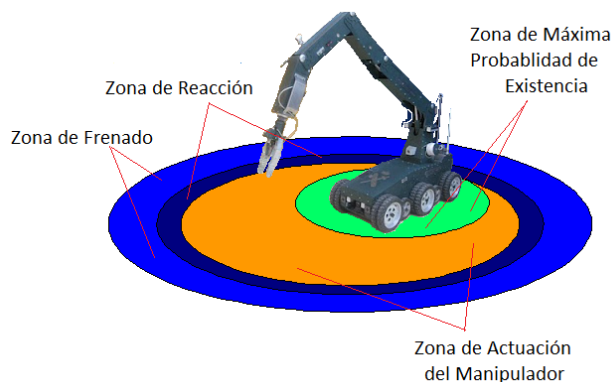


Figura 2.4: Esquema de un Reserved Disk aplicado a un Sistema Autónomo con manipulador integrado

Adicionalmente el sistema posee la capacidad de incluir otras zonas que puedan suponer una ventaja o aporten mayor funcionalidad, como por ejemplo, la posibilidad de albergar la zona de actuación de un manipulador¹⁴ o la zona de descarga de un robot marsupial¹⁵.

2.1.2.1.2 Encuentros: El Safety Disk

Dado que la intersección de dos o más Reserved Disk, o la del Reserved Disk con uno o más objetos se considera colisión y por tanto es inadmisibles, se define un segundo disco superpuesto con el Reserved Disk y de radio mayor estricto que el de éste, denominado “Safety Disk”.

La superposición de al menos dos puntos de dos Safety Disk o de la de un punto de un Safety Disk con un obstáculo lo denominamos encuentro, y una vez producido uno de éstos sucesos será cuando el control de la orientación del agente pasará a ser gobernada por el sistema reactivo que se detalla posteriormente.

¹³ Muchos de los sistemas habituales de tracción son incapaces de orientar al agente a velocidad cero. Incluir una zona de maniobras dentro del sistema posibilita al agente realizar su orientación dentro del disco dejando el mismo fijo, y por tanto, permaneciendo en una posición estática para los demás observadores.

¹⁴ Algunos robots complementan su funcionalidad con brazos y actuadores móviles. Éstos pueden requerir una zona de actuación que vaya más allá de la zona ocupada por el equipo que los porta.

¹⁵ Los robots marsupiales poseen la capacidad de cargar y transportar un segundo robot denominado “Hijo”, capaz de cumplir tareas auxiliares o independientes. La inclusión de dicha zona de descarga permite al sistema admitir de forma puntual al robot hijo una vez descargado desdoblando el Reserved Disk en dos zonas correspondientes a ambos robots.

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

El tamaño del Safety Disk ha de ser tal que una vez procesado el objeto que causa encuentro, éste no salga accidentalmente de dicho disco debido a fluctuaciones en la medida de la posición propia o del obstáculo.

Mientras el agente no detecte encuentros producidos por su Safety Disk, aplicará un algoritmo que le oriente y le haga alcanzar el siguiente WayPoint. De ésta forma, cualquier sistema libre de obstáculos podrá ser capaz de alcanzar su destino de forma eficiente.

2.1.2.1.3 Sensores y Comunicaciones

El funcionamiento global del sistema se basa en la colaboración de los agentes, aplicando sobre todos ellos el mismo algoritmo. Éste requiere un conocimiento preciso de sus vecindades inmediatas, para aplicar los pasos que permiten la reacción ante los encuentros.

Dicho conocimiento podría ser adquirido haciendo uso exclusivo del sistema de sensores que cada uno de ellos porta para realizar mediciones del mundo que le rodea. Dado que el algoritmo requiere sólo la posición del obstáculo con respecto del agente en cuestión y no con respecto del sistema global de posicionamiento, al usar dichos sensores conseguiríamos eliminar gran parte del ruido de localización generado por el desconocimiento de la posición propia.

Sin embargo, dicho sistema sólo sería capaz de funcionar si tratamos con agentes capaces de orientarse a velocidad cero (necesario para que se mantengan en el centro de su Reserved Disk), y sería inevitable el uso de un tamaño estandarizado de Safety Disk que permita al agente asumir la distancia de seguridad que ha de mantener con sus vecinos.

Con todo ello, sería necesario un estudio de la sensorística usada, dado que la mayoría de los sensores de los sistemas robóticos suelen concentrar sus esfuerzos en la dirección hacia la que el agente está encarado generando zonas ciegas que podrían desembocar en colisión.

Por ello, y dado que hoy día suele ser una característica generalizada el uso de sistemas de comunicación radio, el sistema se apoyará en el uso de un medio de comunicación entre equipos, que permita a los agentes

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

informar a sus vecinos de su posición actual y las características de la misma¹⁶, así como el tamaño de su Safety y Reserved disk.

2.1.2.1.4 Potencia de Cálculo

Debido a que el sistema propuesto es totalmente reactivo, es necesario que se cumplan una serie de especificaciones temporales en el sistema que permitan al agente reaccionar a tiempo ante cualquier encuentro. Por ello es necesario que el computador que rijas el comportamiento del agente reserve una parte de sus recursos al uso continuado del algoritmo, sólo pudiendo ser interrumpido en caso de que el mismo decida permanecer de forma continuada en la misma posición, pasando de ésta forma de obstáculo dinámico a obstáculo estático.

Por otra parte se considerará el uso de un algoritmo de búsqueda de rutas a un nivel superior¹⁷, no sometido a restricciones temporales (puede ser ejecutado en los tiempos muertos de la computadora) y que no tiene por qué ejecutarse en la misma máquina que rige el comportamiento del agente. Dicho algoritmo puede ser aplicado a priori en caso de conocer las características del mapa.

2.1.2.1.5 Diferencias entre Obstáculos Estáticos y Dinámicos

El algoritmo reactivo hará uso de los obstáculos estáticos y dinámicos para realizar su función de esquivas. Para ello tendrá en cuenta su posición relativa, la orientación con la que el mismo ve a los obstáculos y la distancia a los mismos en función de su Safety Disk.

Los obstáculos dinámicos podrán ser identificados tanto por los sensores externos del agente como por el sistema de comunicaciones. Todos se supondrán colaborativos y se esperará de ellos un seguimiento riguroso del patrón de actuación que se detallará posteriormente.

Los obstáculos estáticos, por el contrario, se definirán como aquellos objetos pertenecientes al mapa carentes de la capacidad de movimiento

¹⁶ El agente puede hacer uso del sistema de comunicaciones para informar de que se encuentra en el centro de su Safety Disk, de forma que los agentes colindantes pueden usar sus sensores para mejorar dicha localización, o puede informar de la posición en la que se encuentra anclado dicho disco, pudiendo permanecer estático para el resto mientras él realiza las maniobras que sean necesarias. Véase 2.1.2.1.1: Colisiones, El Reserved Disk.

¹⁷ Véase 2.1: Sistema de Generación de Trayectorias.

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

autónoma. Es decir, se incluirán en éste grupo tanto objetos inanimados como limitaciones físicas.

Dichos objetos, una vez detectados por los sensores del sistema, han de ser posicionados con respecto al mismo y enmarcados en una Reserved Zone que abarque al menos la parte del objeto detectada¹⁸ junto con los

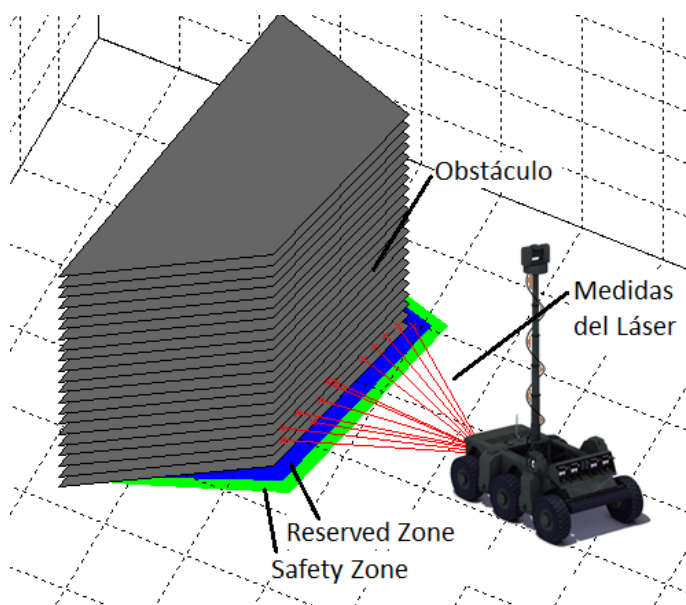


Figura 2.5: Esquema de Zonas asociadas a Obstáculos Estáticos

posibles errores en posicionamiento del sistema de medición. Dicha zona compartirá las características de exclusividad de los Reserved Disk, es decir, su violación se definirá como una colisión.

Sobre el exterior de dicha zona y rodando a la misma, se definirá una Safety Zone, con propósito similar al del Safety Disk de los agentes, pero adaptado a la zona en cuestión para abarcar la misma de forma más eficaz.

Estas definiciones permitirán a efectos prácticos tratar a los obstáculos estáticos y dinámicos de la misma forma. Siendo sólo necesario un algoritmo capaz de identificar en todo momento si se ha producido un encuentro por superposición del Safety Disk del agente en cuestión, con la Safety Zone de cualquier otro obstáculo.

¹⁸ A efectos prácticos del algoritmo, es más importante el conocimiento del punto más cercano del obstáculo en cuestión que el conocimiento de la forma del mismo.

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

2.1.2.2 Modelo de Comportamiento del Sistema Reactivo

El sistema de esquivas reactivo consta de una máquina de estados finita que gobierna la orientación y la velocidad que el sistema ha de tomar como referencia en todo momento.

Las transiciones entre estados se realizan gracias a las medidas realizadas por los sensores junto con el apoyo del sistema de comunicaciones, que tras ser procesado determinarán en todo momento el estado del agente. Dichos posibles estados son los siguientes:

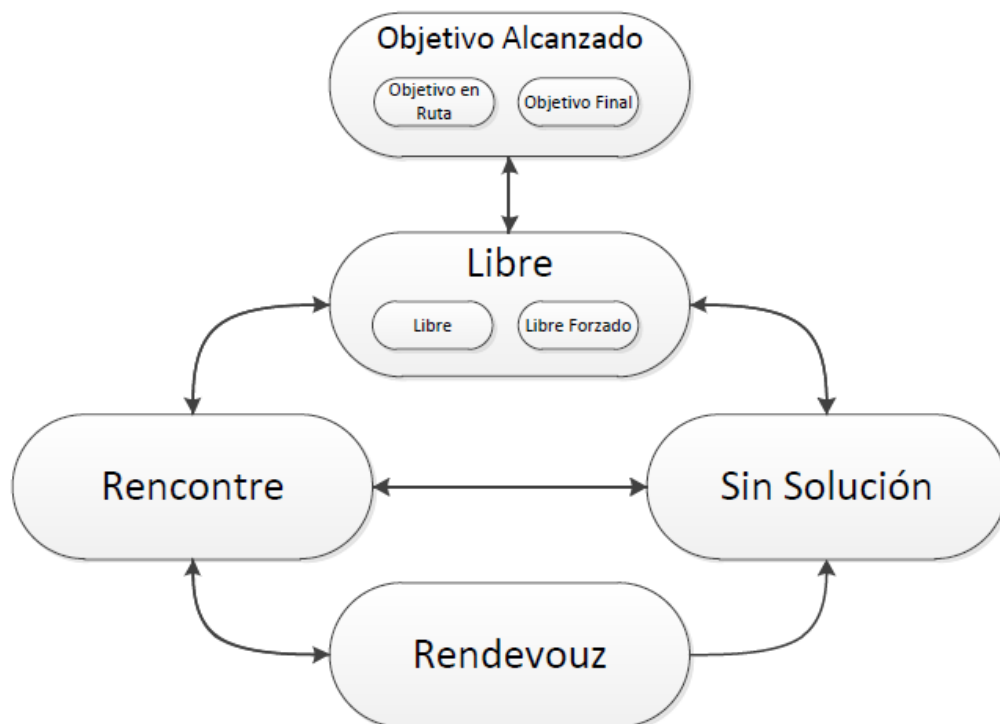


Figura 2.6: Diagrama de Estados del Sistema Reactivo

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

2.1.2.2.1 Sistema Libre

Se define activo el estado “Libre” en caso de que no exista ningún obstáculo o agente que provoque un Encuentro¹⁹, abandonándolo en el momento que dicha condición no se cumpla o se llegue al destino fijado.

En éste estado se permitirá la maniobrabilidad completa del agente para que el mismo pueda alcanzar la orientación determinada, que será en cualquier caso, la del vector que une el punto del plano en el que se encuentra el agente y el objetivo definido por el sistema de movimiento global.

La velocidad referencia a priori será la máxima alcanzable por el agente, haciendo que el mismo llegue al destino lo antes posible.



Figura 2.7: Comportamiento en Sistema Libre

Existe un caso de sistema Libre degenerado, que denominaremos “Sistema Libre Forzado”, que admitirá la posibilidad de permanecer en éste estado aun existiendo encuentros y que se detallará posteriormente.

2.1.2.2.2 Objetivo Alcanzado

Éste estado es alcanzable únicamente desde el estado libre y sólo se transitará a él en caso de que se determine que el agente está lo suficientemente cerca de la posición objetivo como para poder considerar que ésta ha sido alcanzada²⁰.

Tras dicha transición entrará en juego el sistema de movimiento global, que informará al agente del nuevo WayPoint a alcanzar devolviéndolo al estado Libre u ordenará la parada del vehículo en caso de haber alcanzado su objetivo.

El sistema de movimiento global puede ejecutarse sin restricciones temporales en el tiempo que el objetivo alcanza éste estado. Si dicho sistema

¹⁹ Véase apartado 2.1.2.1.2: Encuentros.

²⁰ Debido a los errores en posicionamiento del sistema de localización, es necesario determinar como objetivo una zona circular y no un único punto.

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

no está preparado en el momento en el que se alcanza el objetivo, el vehículo habrá de parar en la posición determinada a la espera de dicha información.

En caso de encontrar un nuevo candidato a WayPoint, que debido al mapa de obstáculos sea de mayor utilidad para alcanzar el objetivo, el Sistema de Movimiento Global puede informar al Sistema Reactivo antes de alcanzar este estado, sustituyendo de ésta forma el objetivo previo por el actual.

2.1.2.2.3 Estado “Rencontre”

El estado Rencontre²¹ podrá ser alcanzado directamente por todos los otros estados del sistema excepto por el estado de Objetivo Alcanzado.

Se transitará a dicho estado en caso de que se produzca un Encuentro²² entre el agente que porta el sistema y uno o más agentes o uno o más obstáculos colindantes.

Por cada encuentro, el sistema subdividirá el espacio en dos regiones, utilizando como frontera una línea definida sobre el punto de intersección más cercano al agente y perpendicular al vector definido entre dicho punto y el centro del agente.

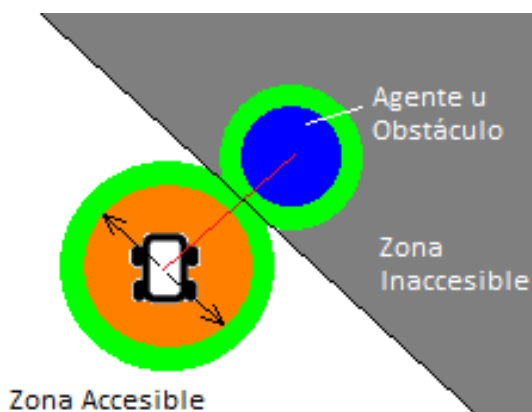


Figura 2.8: Subdivisión de Zonas ante un encuentro

Se definirá como inaccesible la región en la que se encuentra el obstáculo o el agente que ha provocado el Encuentro.

Tras evaluar cada Encuentro se determinará la Zona Accesible total del agente. En caso de que la misma no sea finita²³, se definirán dos orientaciones de escape, paralelas a la o las rectas de división de zona que se extiendan

hacia el infinito y apuntando en dicha dirección.

²¹ Rencontre: vocablo francés que se traduce por “ir al encuentro de alguien” (rencontre quelequ’un).

²² Véase apartado 2.1.2.1.2: Encuentros.

²³ En caso de que la Zona Accesible sea finita, el sistema no hallará solución. Véase apartado 2.1.2.2.5: Sin Solución

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

De entre ambas, se elegirá como referencia aquella que una vez alcanzada permita dejar al agente u obstáculo que ha causado el encuentro y ha motivado dicha referencia, a la izquierda exacta del sistema.

El Reserved Disk será anclado al punto en el que el agente se encuentre en el momento de la transición a éste estado, permitiendo al vehículo maniobrar dentro de dicho disco para alcanzar la referencia otorgada.

El estado permanecerá activo hasta el momento en el que el sistema no encuentre una solución al problema de las zonas, el agente se oriente completamente hacia la referencia dada o se produzca un caso de sistema Libre Forzado.

2.1.2.2.4 Estado “Rendezvous”

El estado Rendezvous²⁴ puede ser alcanzado desde cualquier estado del sistema excepto desde Objetivo Alcanzado. Para ello, es necesario que el equipo haya detectado un encuentro y esté orientado en la dirección de referencia que permita la esquivada del mismo.

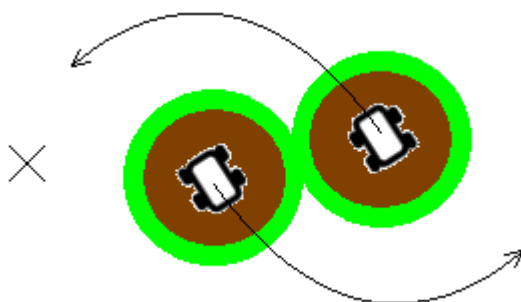


Figura 2.10: Tendencia rotacional del sistema ante encuentros.

Con ello, generamos de forma dinámica una referencia que permite a todos los agentes dejar a su izquierda al resto de agentes y obstáculos, y que resuelve los encuentros locales con actuaciones

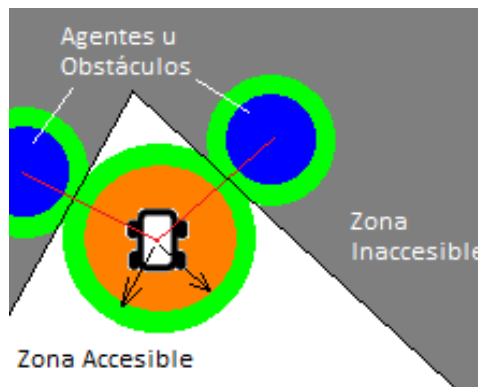


Figura 2.9: Subdivisión de Zonas ante múltiples encuentros

²⁴ Rendezvous: vocablo francés que se traduce por cita (tanto profesional como sentimental).

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

que hacen rotar a los vehículos en sentido antihorario hasta intercambiar posiciones.

En caso de que el vehículo no sea capaz de seguir dicha referencia, se retornará al estado Rencontre, dado que un intento de recuperarla de forma dinámica podría conllevar a una colisión.

Debido a las propias características del algoritmo, si mientras permanece el sistema en este estado, algún otro vehículo colindante produce un nuevo encuentro, en caso necesario²⁵ el cambio abrupto en la referencia obligará al sistema a retornar al mencionado estado.

Todo sistema en estado Rendezvous podrá retornar al estado Libre Forzado en caso de que se den las condiciones necesarias para ello²⁶.

Así mismo, si durante uso del algoritmo se detecta una Zona Accesible finita, la máquina de estados transitará hacia el estado “Sin Solución”.

2.1.2.2.5 Estado “Sin Solución”

Éste estado puede ser accedido desde cualquier otro estado a excepción del estado Objetivo Alcanzado, y se alcanza en el momento en el que el sistema de evaluación de zonas determina que la Zona Accesible en la que se encuentra el agente no es infinita.

Ésta condición implica que el agente está completamente rodeado por sus vecinos y que no existe escapatoria posible.

Por ello, al entrar en éste estado, el sistema fijará el centro de su Safety Disk y esperará a que los agentes que le rodean busquen una salida al encuentro generado.

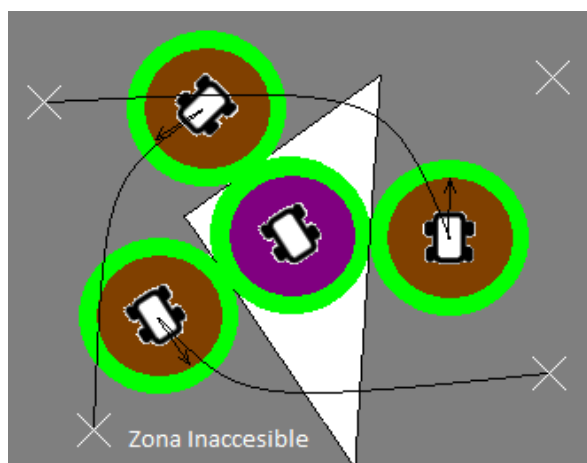


Figura 2.11: Configuración con Zona Accesible finita.

²⁵ Si el nuevo encuentro se produce desde la Zona Inaccesible, ésta no se verá modificada y por tanto la referencia no cambiará.

²⁶ Véase apartado 2.1.2.2.6: Estado Libre Forzado

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

En el momento en que dicha condición deje de cumplirse, se evaluará si su escenario local sigue generando encuentros, pasando de ésta forma al estado de Rencontre, Rendezvous o por el contrario puede transitar al estado Libre o Libre Forzado.

2.1.2.2.6 Estado “Libre Forzado”

El estado Libre Forzado no es más que una casuística especial del estado Libre en la que el agente puede viajar hacia su destino aun existiendo encuentros detectados.

Dicha casuística se da en el momento en el que la Zona Accesible detectada incluye el objetivo a alcanzar por el agente, y la orientación del mismo se encuentra entre las dos referencias paralelas a las líneas que se extienden hasta el infinito.

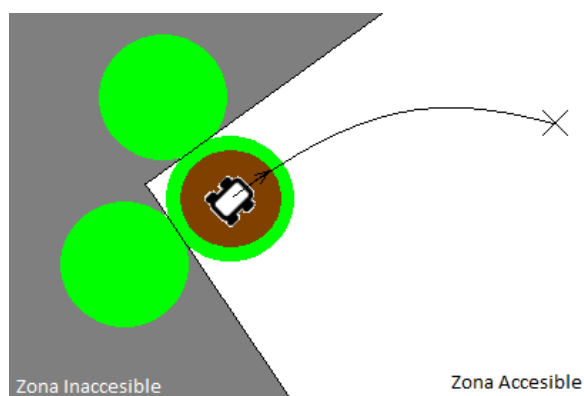


Figura 2.12: Agente en estado Libre Forzado

2.1.2.3 Comportamiento a Escala Global

El sistema se apoya en el uso de la computación distribuida para generar las múltiples trayectorias en tiempo real, lo que permite, además de la capacidad de reaccionar ante imprevistos, una alta escalabilidad, permitiendo la resolución de escenarios muy saturados.

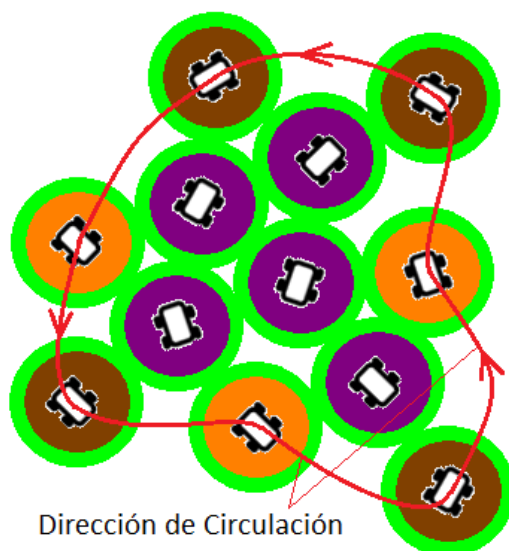


Figura 2.13: Comportamiento de Enjambre provocado por el Sistema Reactivo

La capacidad de resolución global de ambientes muy saturados se basa en la posibilidad que presenta el sistema para dejar a los agentes interiores en una posición estática mientras los agentes exteriores, que disponen de capacidad de movimiento rotan

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

alrededor de ellos.

La capa exterior de agentes, al trazar curvas que rodean a los sistemas estáticos, tienen en todo momento la posibilidad de llegar a una posición en la que puedan alejarse para alcanzar su objetivo. Conforme dicha capa límite va perdiendo agentes, va liberando vehículos del interior, de forma que se provoca una realimentación continua de dicha capa que sólo finaliza al solucionar la saturación local.

2.1.2.4 Limitaciones

Aunque el algoritmo presenta la posibilidad de ser escalable hasta el infinito, es necesario que los objetivos a alcanzar por dos o más agentes no se solapen en el espacio, dado que podría derivar en un bucle irresoluble.

Así mismo, para poder alcanzar una solución, es necesario que el escenario disponga de suficiente espacio de maniobra. El espacio reservado por el algoritmo se destina únicamente a salvaguardar al mismo de la posibilidad de colisión, siendo necesario más espacio que el reservado para converger a una solución.

Aunque de forma genérica, el algoritmo pueda sortear los obstáculos puntuales²⁷, los no puntuales como las paredes, en escenarios muy saturados pueden impedir el correcto funcionamiento del sistema. Para paliarlo, será tarea del algoritmo que rija el Sistema Deliberativo la correcta generación de unos WayPoints capaces de evitar esto.

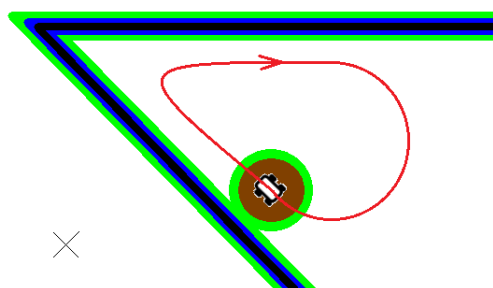


Figura 2.14: Sistema en bucle infinito por inactivación del Sistema Deliberativo de nivel superior.

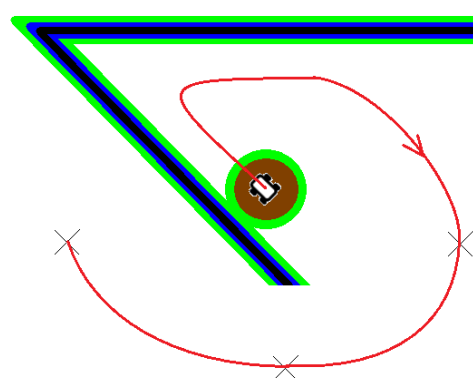


Figura 2.15: Sistema salvando obstáculos no puntuales por acción del Sistema Deliberativo de nivel superior.

²⁷ Definiremos como obstáculo puntual a todo aquel obstáculo que puede ser abarcado por una circunferencia con un radio de bajas dimensiones.

Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida

Para concluir es necesario mencionar que la característica que deja a los agentes estáticos en un punto al alcanzar la posición destino, convirtiendo a los mismos en obstáculos estáticos, puede derivar en configuraciones del mapa en la que los agentes corten determinados caminos o no permitan a otros llegar a su objetivo. Por ello es necesario situar al agente como posición definitiva en un emplazamiento alejado de otros obstáculos o coordinarse con algún tipo de algoritmo de nivel superior para alcanzar la mencionada posición tras permitir el paso de otros agentes.