

Índice de Contenidos

Capítulo 1. Introducción.....	12
1.1 La Navegación Autónoma	12
1.1.1 Antecedentes	12
1.1.2 El Problema de la Navegación Autónoma	13
1.1.2.1 Localización	15
1.1.2.1 Localización de Obstáculos.....	16
1.1.2.3 Seguimiento de Ruta	16
1.1.2.3 Planificación de Rutas	16
1.1.3 La Navegación Autónoma ante Obstáculos Dinámicos.....	18
Capítulo 2. La Navegación Distribuida Híbrida	20
2.1 Sistema de Generación de Trayectorias por Capas.....	20
2.1.1 Sistema de Movimiento Global.....	21
2.1.2 Sistema de Esquiva Reactivo	22
2.1.2.1 Premisas y Restricciones del Sistema de Esquiva.....	22
2.1.2.1.1 Colisiones: El Reserved Disk	22
2.1.2.1.2 Encuentros: El Safety Disk	24
2.1.2.1.3 Sensores y Comunicaciones	25
2.1.2.1.4 Potencia de Cálculo	26
2.1.2.1.5 Diferencias entre Obstáculos Estáticos y Dinámicos	26
2.1.2.2 Modelo de Comportamiento del Sistema Reactivo.....	28
2.1.2.2.1 Sistema Libre	29
2.1.2.2.2 Objetivo Alcanzado	29
2.1.2.2.3 Estado “Rencontre”	30
2.1.2.2.4 Estado “Rendezvous”	31
2.1.2.2.5 Estado “Sin Solución”	32
2.1.2.2.5 Estado “Libre Forzado”	33
2.1.2.3 Comportamiento a Escala Global.....	33
2.1.2.4 Limitaciones	34

Capítulo 3. El Simulador	36
3.1 Interfaz Hombre Máquina.....	36
3.2 El Simulador en Matlab	38
3.3 El Modelo en Simulink	42
3.3.1 Sistema de Movimiento Global.....	42
3.3.2 Sistema de Esquiva Reactivo	43
3.3.2.1 Sistema Libre y Libre Forzado	45
3.3.2.2 Sistema en estado Rencontre	47
3.3.2.3 Sistema en estado Rendezvous	48
3.3.3 Controlador del Sistema Físico	49
3.3.4 Modelo de la Dinámica del Vehículo.....	50
3.4 Análisis de Resultados en Matlab	51
Capítulo 4. Simulaciones	54
4.1 Distribuciones espaciales en WorstCase.....	54
4.1.1 Agente rodeado	55
4.1.2 Cruce en el origen	55
4.1.3 Cruce avanzado en el origen	56
4.1.4 Cruce en anillo	57
4.1.5 Anillos concéntricos.....	57
4.1.6 Conclusiones sobre los WorstCase	58
4.2 Distribuciones Aleatorias.....	59
4.2.1 El Generador de Escenarios Aleatorios.....	59
4.2.2 Distribuciones Aleatorias Rápidas	60
4.2.3 Distribuciones Aleatorias de Parámetros Reales.....	61
4.2.4 Conclusiones sobre los Experimentos Aleatorios	65
4.3 Conclusiones Generales	65

Capítulo 5. Adaptación a Experimentación Real.....	67
5.1 El TestBed.....	67
5.1.1 Descripción del TestBed	68
5.1.2 Robots Móviles	69
5.1.3 Arquitectura del Software Implicado	70
5.2 Sistema Reactivo aplicado sobre el TestBed	71
5.3 Software de Soporte.....	75
5.4 Software de Extracción de Resultados.....	76
Capítulo 6. Experimentos en TestBed	83
6.1 Ajuste del Simulador	83
6.1.1 Evita Columnas	83
6.2 Experimentos simples	87
6.2.1 Cinco Agentes en Círculo	87
6.2.2 Cinco Agentes Confrontados	91
6.3 Experimentos Complejos	95
6.3.1 Cruce con Columnas	95
6.3.2 En Formación con Columnas	99
Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos Futuros	103
7.1 Conclusiones	103
7.2 Trabajos Futuros	103
Bibliografía.....	105

Lista de Figuras

Figura 1.1 Robot Aspiradora Roomba 555.....	12
Figura 1.2 UGV Militar MQ1 Predator	13
Figura 1.3 Arquitectura de un Sistema de Navegación Autónoma	14
Figura 1.4 Esquema de Control por Realimentación de la Posición	16
Figura 1.5 Robot esquivando un obstáculo gracias al uso de Way Points	17
Figura 2.1 Arquitectura Jerárquica del Sistema.....	21
Figura 2.2 Ejemplo de Optimización de Ruta ante Obstáculos.....	22
Figura 2.3 Esquema de distribución de zonas básicas dentro de un Reserved Disk	23
Figura 2.4 Esquema de un Reserved Disk aplicado a un Sistema Autónomo con manipulador integrado	24
Figura 2.5 Esquema de Zonas asociadas a Obstáculos Estáticos	27
Figura 2.6 Diagrama de Estados del Sistema Reactivo	28
Figura 2.7 Comportamiento en Sistema Libre.....	29
Figura 2.8 Subdivisión de Zonas ante un encuentro.....	30
Figura 2.9 Subdivisión de Zonas ante múltiples encuentros	31
Figura 2.10 Tendencia rotacional del sistema ante encuentros	31
Figura 2.11 Configuración con Zona Accesible finita	32
Figura 2.12 Agente en estado Libre Forzado	33
Figura 2.13 Comportamiento de Enjambre provocado por el Sistema Reactivo	33
Figura 2.14 Sistema en bucle infinito por inactuación del Sistema Deliberativo de nivel superior	34
Figura 2.15 Sistema salvando obstáculos no puntuales por acción del Sistema Deliberativo de nivel superior	34

Figura 3.1 Ejemplo de representación de la función Simula ejecutando 10 Agentes	39
Figura 3.2 Sistema de Generación de Trayectorias por Capas adaptado al Simulador ...	42
Figura 3.3 Diagrama de Estados Implementado en el StateFlow	44
Figura 3.4 Bloques en uso en el estado Libre y Libre Forzado	45
Figura 3.5 Bloques en uso en el estado Rencontre	47
Figura 3.6 Esquema de cálculo de error en orientación del sistema.....	49
Figura 3.7 Bloques del Simulador concernientes a la Dinámica del Vehículo	50
Figura 3.8 Representación de la posición del agente en el Simulador	50
Figura 3.9 Representación de un agente en el Simulador.....	51
Figura 3.10 Fotograma del video de una Simulación con 15 agentes	52
Figura 3.11 Representación .png de un agente simulado	53
Figura 4.1 Distribución de Agente Rodeado en el Origen	55
Figura 4.2 Distribución de Agente Rodeado en el Destino	55
Figura 4.3 Distribución inicial de Cruce en el Origen.....	55
Figura 4.4 Distribución final de Cruce en el Origen	55
Figura 4.5 Distribución inicial de Cruce avanzado en el origen para 18 agentes.....	56
Figura 4.6 Distribución final de Cruce avanzado en el origen para 18 agentes	56
Figura 4.7 Distribución inicial de Cruce avanzado en el origen para 100 agentes.....	56
Figura 4.8 Distribución final de Cruce avanzado en el origen para 100 agentes	56
Figura 4.9 Distribución inicial de Cruce en anillo.....	57
Figura 4.10 Distribución final de Cruce en anillo	57
Figura 4.11 Distribución inicial de Cruce en 3 anillos concéntricos.....	57
Figura 4.12 Distribución final de Cruce en 3 anillos concéntricos	57
Figura 4.13 Comparación de dos constelaciones.....	60
Figura 5.1 Distribución general del Integrated TestBed.....	68
Figura 5.2 Robot Pioneer 3-AT	69
Figura 5.3 Esquema general de Player para el uso en los robots móviles.....	71

Figura 5.4 Interfaz de Posicionamiento de agentes para la realización de los experimentos.....	75
Figura 5.5 Representación de los agentes viajando en el laboratorio.....	77
Figura 5.6 Representación del recorrido de los agentes con y sin encuentros y de la distancia al destino.....	78
Figura 5.7 Representación del recorrido de los agentes reales y virtuales.....	79
Figura 5.8 Representación del recorrido de un agente real contra uno virtual.....	79
Figura 5.9 Representación .png de los datos del recorrido de un agente.....	80
Figura 5.10 Representación de un agente y sus obstáculos.....	81
Figura 6.1 Escenario inicial del Sortea Columnas.....	83
Figura 6.2 Escenario final del Sortea Columnas.....	84
Figura 6.3 Recorrido real y virtual del sistema.....	85
Figura 6.4 Recorridos de los agentes de no existir conflictos.....	87
Figura 6.5 Resultado del Experimento.....	88
Figura 6.6 Recorridos real y virtual de los sistemas.....	90
Figura 6.7 Recorridos de los agentes de no existir conflictos.....	91
Figura 6.8 Resultado del Experimento.....	92
Figura 6.9 Recorridos real y virtual de los sistemas.....	94
Figura 6.10 Recorridos de los agentes de no existir conflictos.....	95
Figura 6.11 Resultado del Experimento.....	96
Figura 6.12 Recorridos real y virtual de los sistemas.....	98
Figura 6.13 Recorridos de los agentes de no existir conflictos.....	99
Figura 6.14 Resultado del Experimento.....	100
Figura 6.15 Recorridos real y virtual de los sistemas.....	102

Lista de Tablas

Tabla 3.1 Relación Símbolo-Dato para el vector de información de un agente en un instante puntual	41
Tabla 3.2 Relación Colores-Estado en los videos realizados por el Simulador	51
Tabla 4.1 Parámetros de configuración de los sistemas de primer orden para WorstCase	54
Tabla 4.2 Parámetros de configuración del sistema para WorstCase	54
Tabla 4.3 Tabla de simulaciones realizadas con anillos concéntricos.....	58
Tabla 4.4 Parámetros de configuración de los sistemas de primer orden.....	62
Tabla 4.5 Parámetros de configuración del sistema	62
Tabla 4.6 Media y Desviación de los porcentajes de los agentes en cada estado	65
Tabla 4.7 Media y Desviación de los porcentajes de distancia recorridos por cada agentes.....	65
Tabla 5.1 Relación Símbolo-Dato para el vector de información de un agente en un instante puntual	72
Tabla 5.2 Relación Símbolo-Dato para el vector de datos de obstáculos registrado por los agentes.....	73
Tabla 5.3 Parámetros de configuración del sistema	73
Tabla 5.4 Parámetros de configuración de los Obstáculos del sistema.....	74
Tabla 6.1 Parámetros de configuración de los sistemas de primer orden.....	84
Tabla 6.2 Parámetros de configuración del sistema	84
Tabla 6.3 Parámetros de configuración del sistema	86
Tabla 6.4 Relación de distancias recorridas	86
Tabla 6.5 Relación de distancias recorridas	89
Tabla 6.6 Media y Desviación de los porcentajes de los agentes en cada estado	89
Tabla 6.7 Relación de distancias recorridas	93

Tabla 6.8 Media y Desviación de los porcentajes de los agentes en cada estado	93
Tabla 6.9 Relación de distancias recorridas	97
Tabla 6.10 Media y Desviación de los porcentajes de los agentes en cada estado	97
Tabla 6.11 Relación de distancias recorridas	101
Tabla 6.12 Media y Desviación de los porcentajes de los agentes en cada estado	102

Lista de Gráficas

Gráfica 4.1 Representación de los porcentajes de espacio recorridos por los agentes	62
Gráfica 4.2 Representación de los porcentajes de tiempo en el estado Libre de los agentes.....	63
Gráfica 4.3 Representación de los porcentajes de tiempo en el estado Rencontre de los agentes.....	63
Gráfica 4.4 Representación de los porcentajes de tiempo en el estado Rendezvous	64
Gráfica 4.5 Representación de los porcentajes de tiempo en el estado Sin Solución.....	64
Gráfica 4.5 Representación de los porcentajes medios de cada agente en cada estado ..	65
Gráfica 6.1 Porcentajes de tiempo en los diferentes estados del sistema	86
Gráfica 6.2 Representación de la distancia al objetivo con respecto al tiempo.....	86
Gráfica 6.3 Representación de las distancias a los objetivos con respecto al tiempo	88
Gráfica 6.4 Representación de los porcentajes medios de cada agente en cada estado ..	89
Gráfica 6.6 Representación de las distancias a los objetivos de los agentes con respecto al tiempo	92
Gráfica 6.7 Porcentajes de tiempo de los agentes en cada estado	93
Gráfica 6.8 Representación de los porcentajes medios de cada agente en cada estado ..	93
Gráfica 6.9 Representación de las distancias a los objetivos de los agentes con respecto al tiempo	96
Gráfica 6.10 Porcentajes de tiempo de los agentes en cada estado	97
Gráfica 6.11 Representación de los porcentajes medios de cada agente en cada estado	97
Gráfica 6.12 Representación de las distancias a los objetivos de los agentes con respecto al tiempo	100
Gráfica 6.13 Porcentajes de tiempo de los agentes en cada estado	101
Gráfica 6.14 Representación de los porcentajes medios de cada agente en cada estado.....	102