

Navegación cooperativa de equipos de robots en red

Contenidos

1. Planificación y asignación de tareas
2. Navegación cooperativa
3. Mantenimiento de la comunicación en equipos de robots
4. Experimentos en escenarios reales



Navegación cooperativa de equipos de robots en red

Contenidos

1. Planificación y asignación de tareas
2. Navegación cooperativa
3. Mantenimiento de la comunicación en equipos de robots
4. Experimentos en escenarios reales



Equipos multi-robot

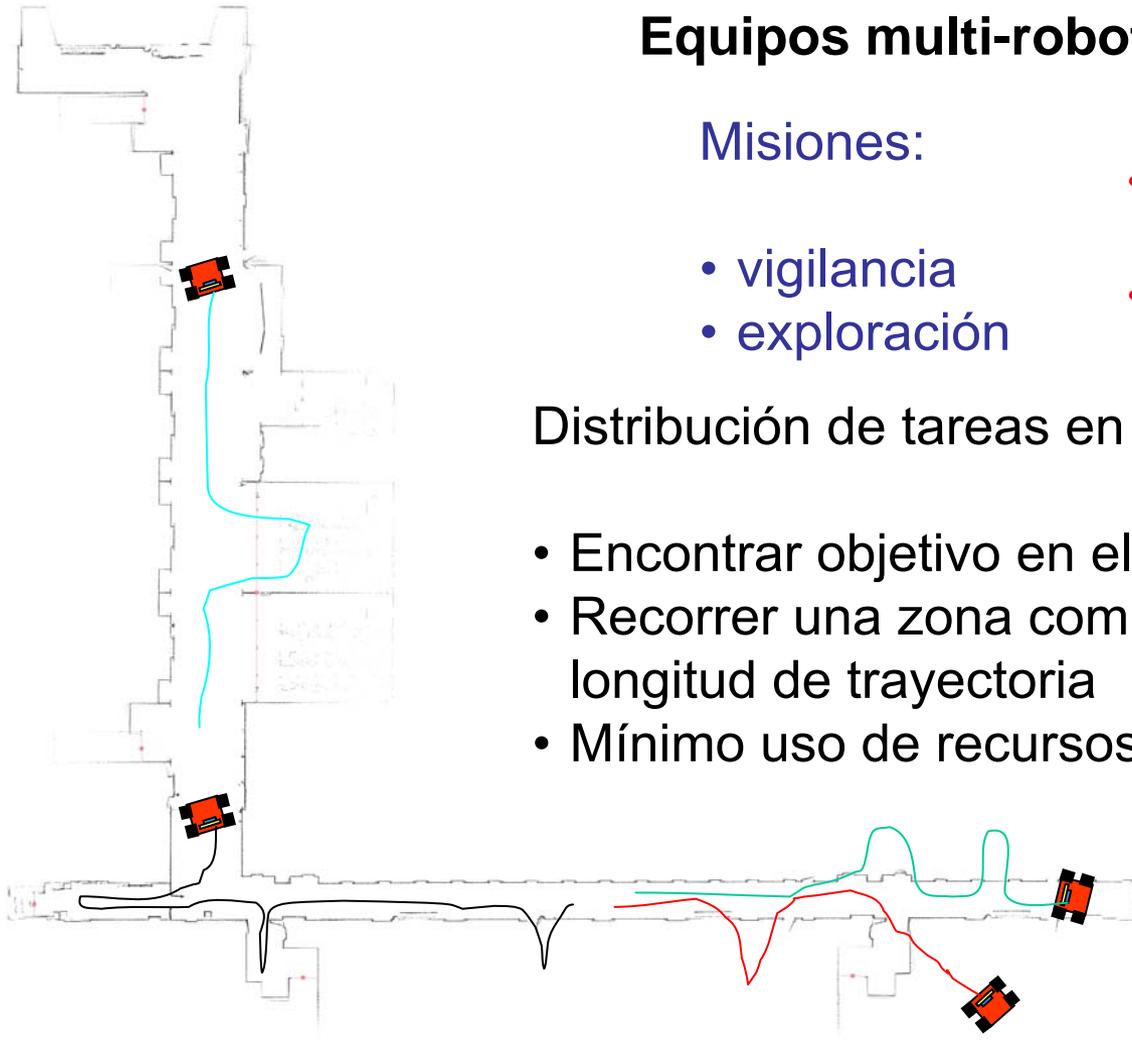
Misiones:

- vigilancia
- exploración

- Planificación de tareas
- Asignación de tareas

Distribución de tareas en robots con objetivos:

- Encontrar objetivo en el menor tiempo
- Recorrer una zona completamente con mínima longitud de trayectoria
- Mínimo uso de recursos



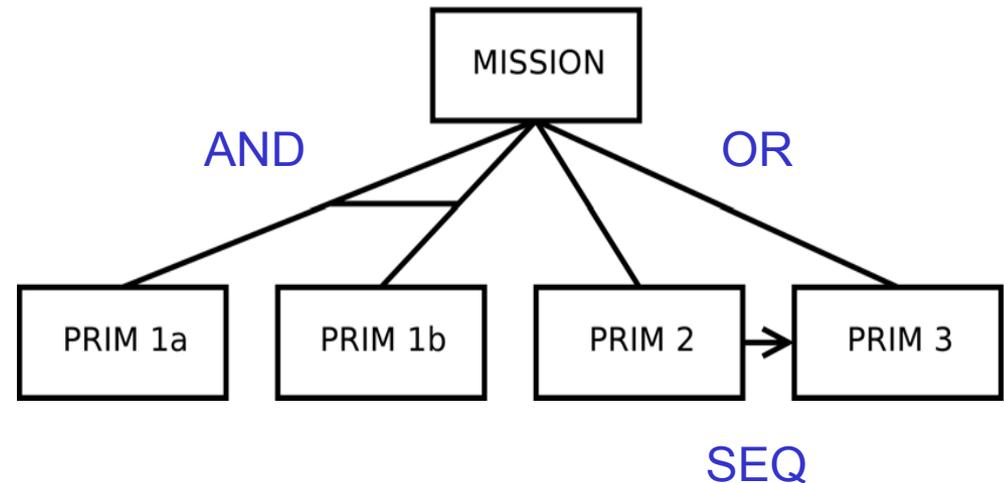
Ejemplo:
encontrar objetivo en un aparcamiento

The image shows a screenshot of a simulation environment. The main window, titled 'Stage: ficticio1b.world', displays a top-down view of a parking lot with a grid of spaces. A blue arrow points to a robot at the top center. A 'General view' window on the right shows a path planning diagram with colored lines (red, blue, green, purple) representing different paths or robot trajectories. At the bottom, a status bar shows 'Time: 0:0: 8:51. 0 (sim:1000 real:508 ratio:1.97)'.

- Situación inicial óptima de los robots
- Objetivo en menor tiempo

Planificación de tareas

Jerarquía de tareas



Guiding
SEQ
OR

SEQ

Go to request area (if first robot to guide the person)
Search by gesture

SEQ (if robots is to replace another one in guiding)
Go to transfer point
Wait for synchronized transfer

OR

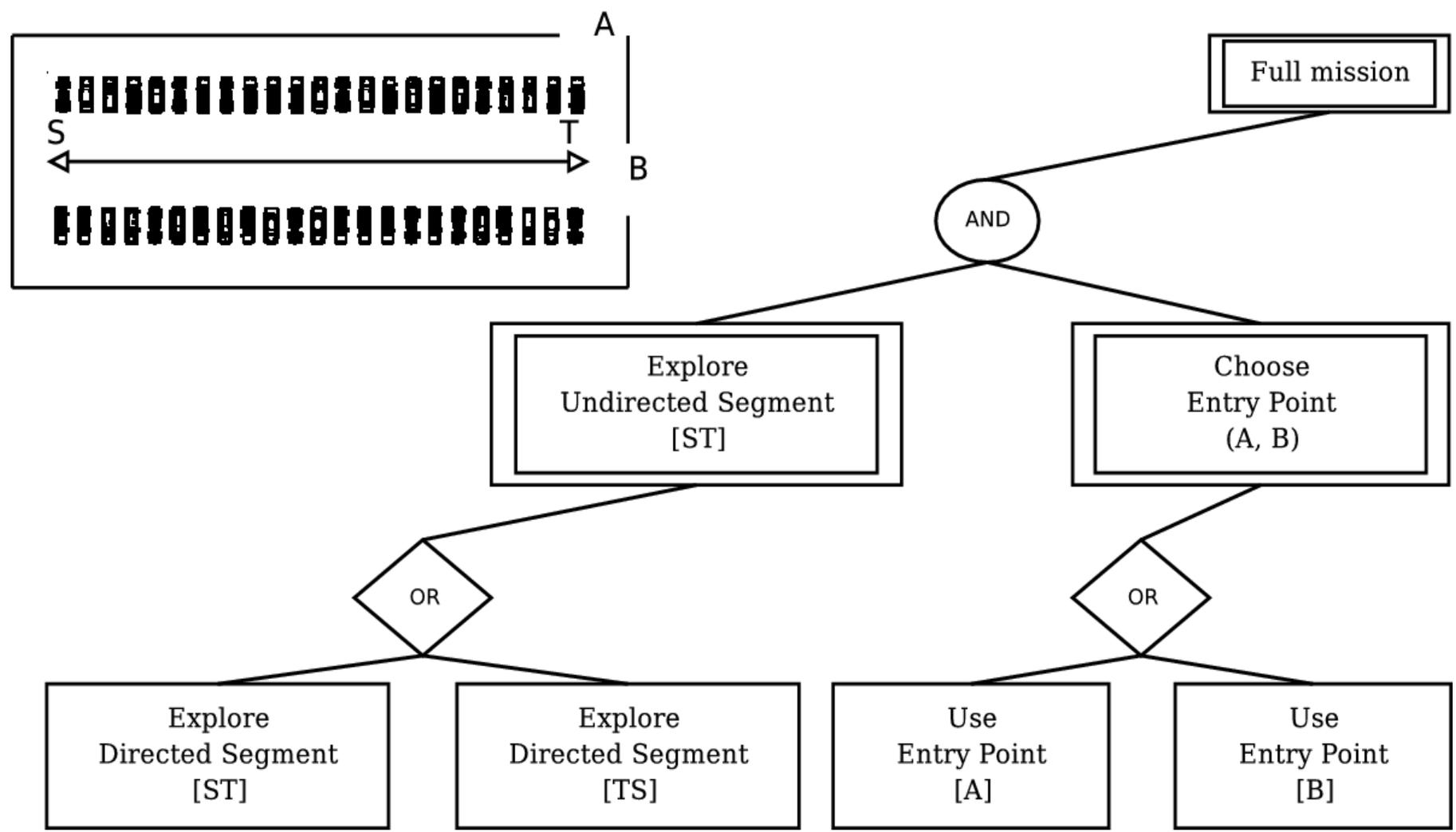
SEQ

Human leading to destination (if reachable)
Notify arrival and release

SEQ

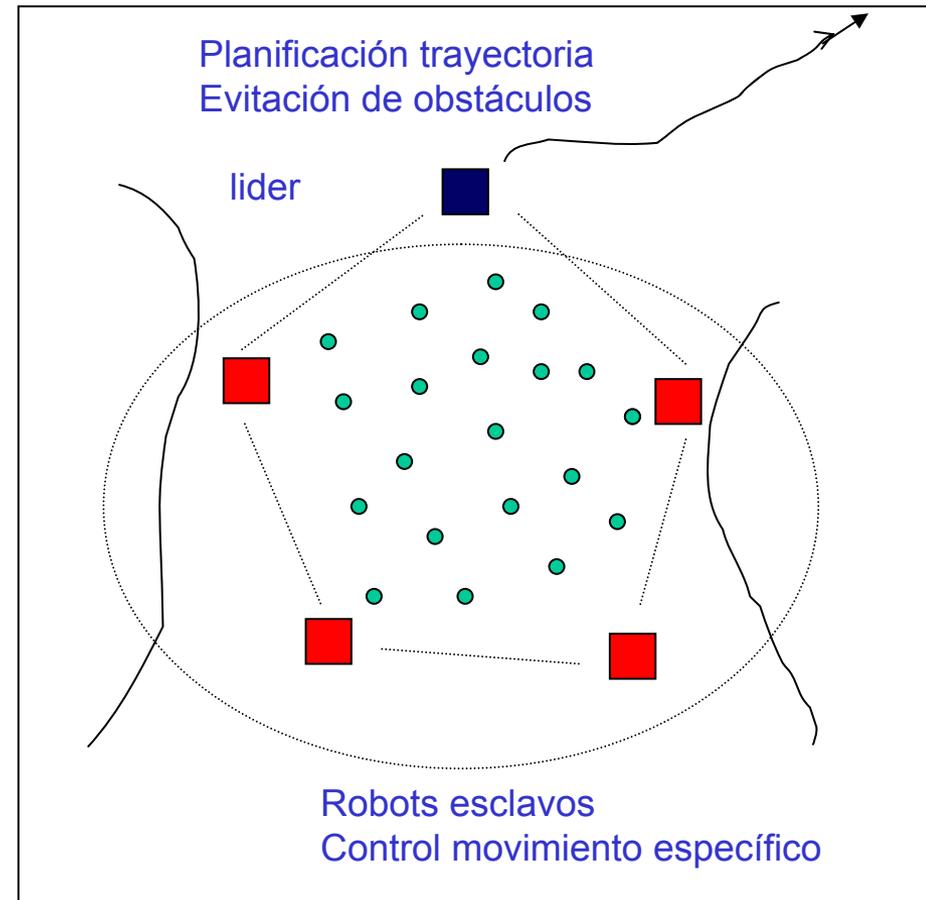
Human leading to new transfer point (if destination out of reach or unknown)
Synchronized transfer

azul: asignable



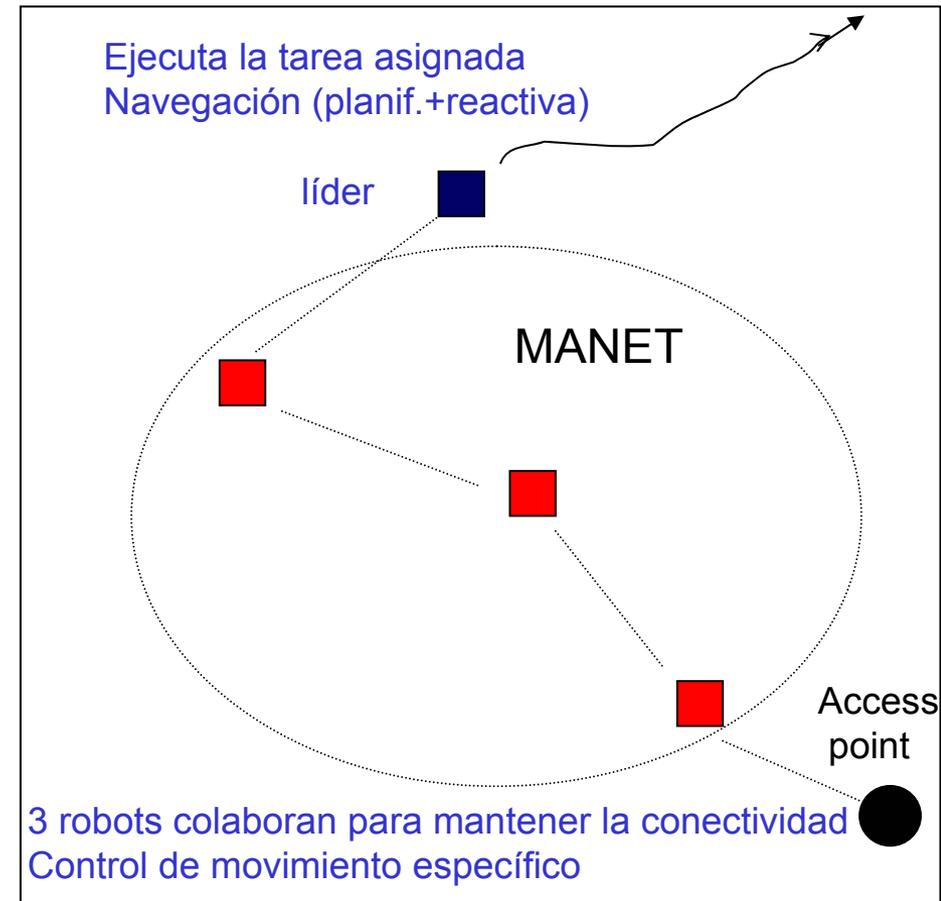
Navegación cooperativa: formaciones flexibles

- 1 líder
- Robots esclavos en formación
- Topología flexible (obstáculos)
- Navegación cooperativa
- Localización relativa



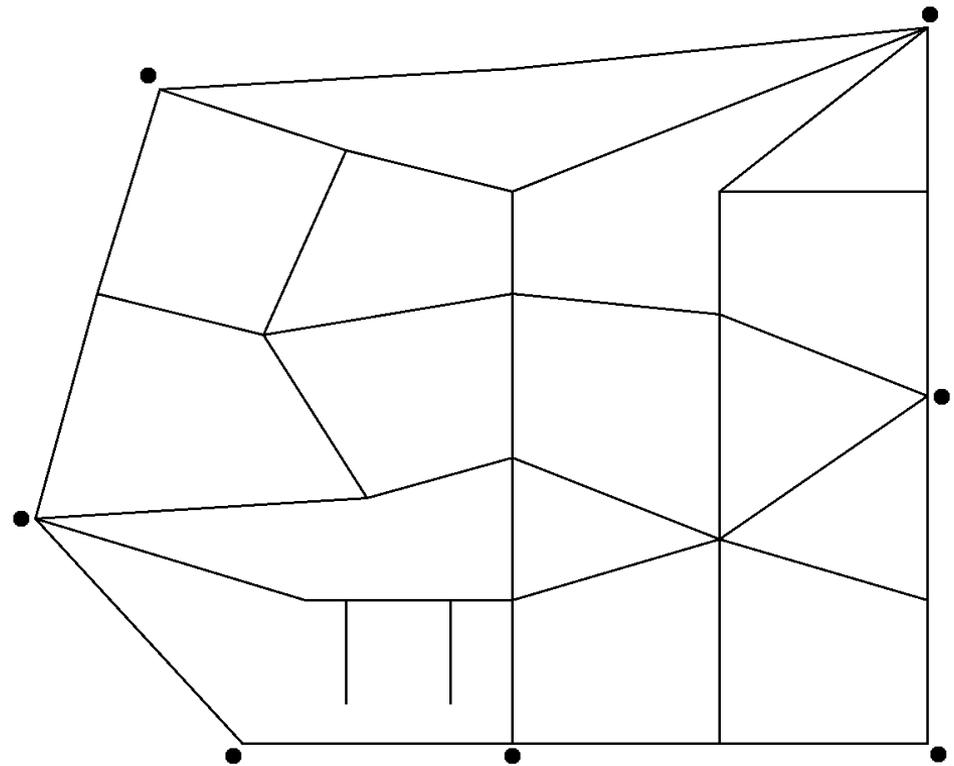
Mantenimiento de conectividad

- 1 líder realiza la tarea (navegación: planificación + reactiva)
- Esclavos mantienen conectividad (MANET)
- Control específico de esclavos (asegurando conectividad)
- Esclavos “abandonan” temporalmente tareas



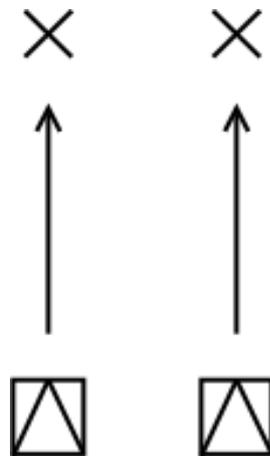
Asignación de tareas

- Problema: **explosion exponencial**.
 - 2^{43} planes posibles



Optimización de objetivos: criterios

- MinMax



$$A_{\text{MinMax}}^O = \arg \min_A \max_i C(a_i)$$

- MinSum



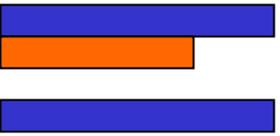
$$A_{\text{MinSum}}^O = \arg \min_A \sum_i C(a_i)$$

A : asignación global

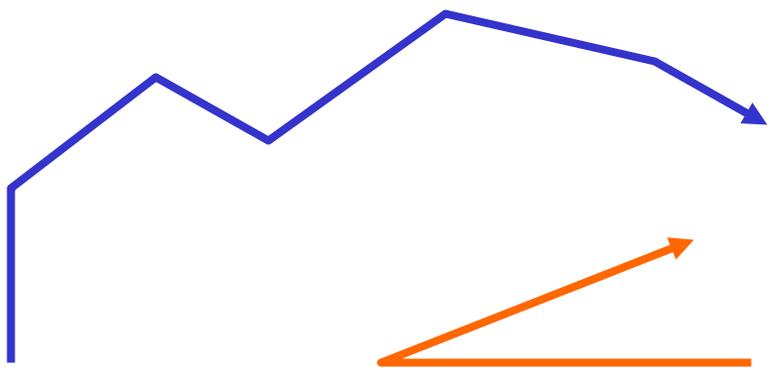
a_i : asignación de tarea para el robot r_i

Optimización de objetivos: criterios

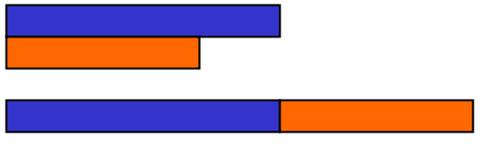
- Minimiza coste máximo [MinMax][Tiempo].

$$\max_i C(R_i)$$


- E.g.: tiempo de Mission.
- Problema: Ciego a robots no críticos.



- Minimiza coste total [MinSum][Resources].

$$\sum_i C(R_i)$$


- E.g.: Distance, potencia.
- Prob.: infrutilización de robots.



Optimización de objetivos: criterios

- Descriptor de criterio (combinado): MinMix

$$\left(\omega_{\text{MinMax}}, \omega_{\text{MinSum}} \right)$$

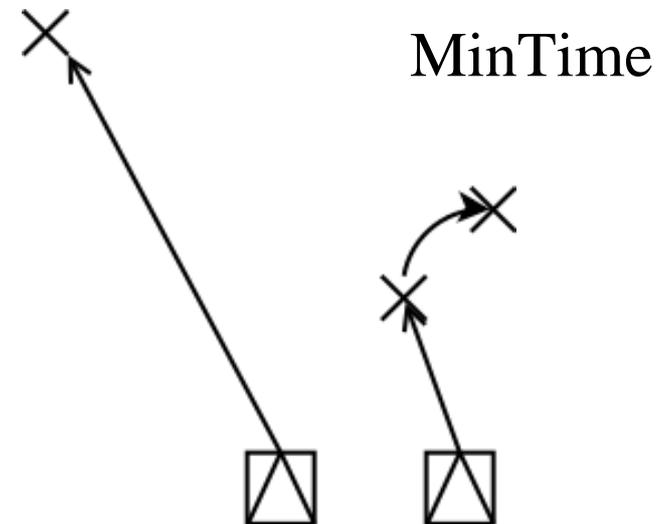
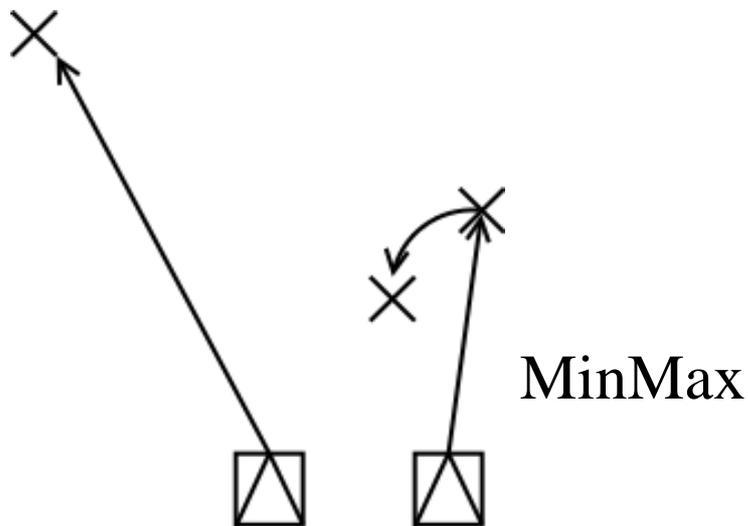
- Coste de asignación evaluado como:

$$C(\mathcal{A}) = \omega_{\text{MinMax}} \max_i C(a_i) + \omega_{\text{MinSum}} \sum_i C(a_i)$$

Optimización de objetivos: criterios

- Descriptores útiles:
 - MinMax = (1.0, 0.0)
 - MinSum = (0.0, 1.0)
 - MinTime = (1.0, δ)

$$(\omega_{\text{MinMax}}, \omega_{\text{MinSum}})$$



Técnicas:

- **Óptimas:** TSP (Traveller Salesman Problem)

Complejidad exponencial

- **Subóptimas:**

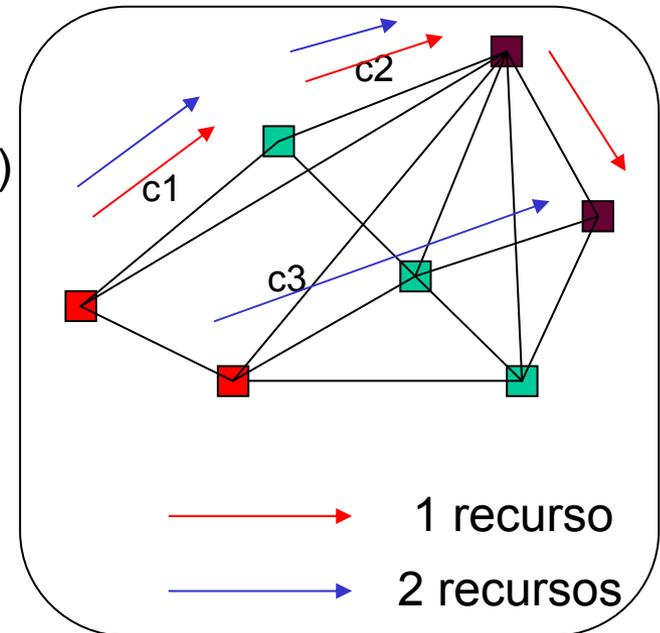
Técnicas de optimización

Heurísticas de selección de soluciones

- **Subastas (auctions):**

- lista de tareas pendientes
- recursos disponibles

eficiente / no óptimo



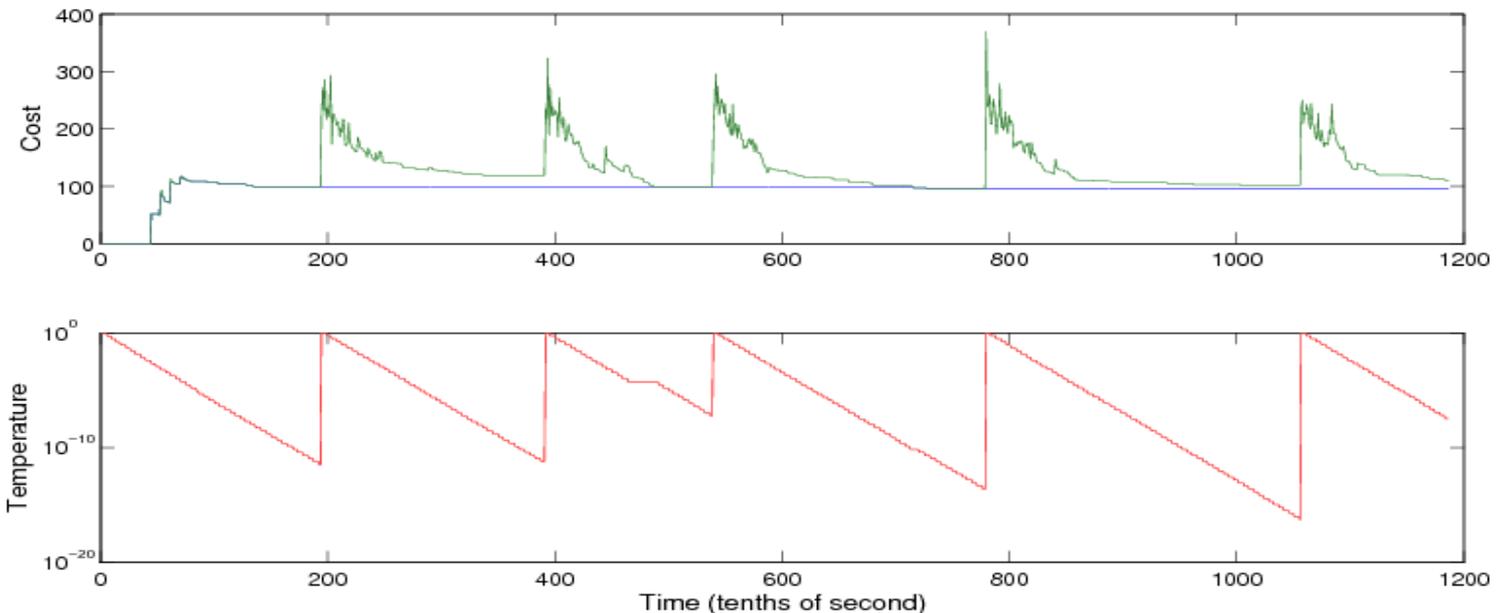
Voraz:

- Se subastan la tareas (1 por robot)
- Cada recurso puja por la tarea de menor coste para él

Heurísticas

- Simulated annealing

- Heurística aplicable para problemas intratables



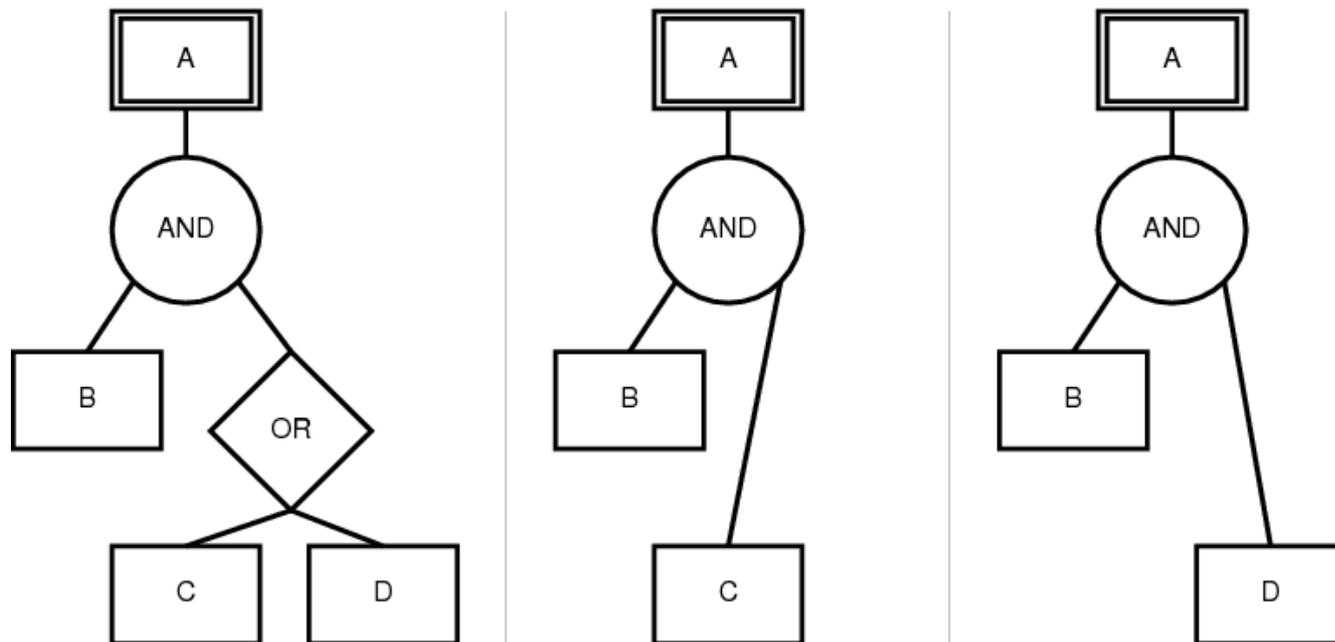
Mutaciones Annealing

- mover tareas
- intercambiar 2 tareas
- cambiar en un nodo OR
- ...

Cost: $O(\log_2 \max(n, m))$

n: # robots

m: # tasks

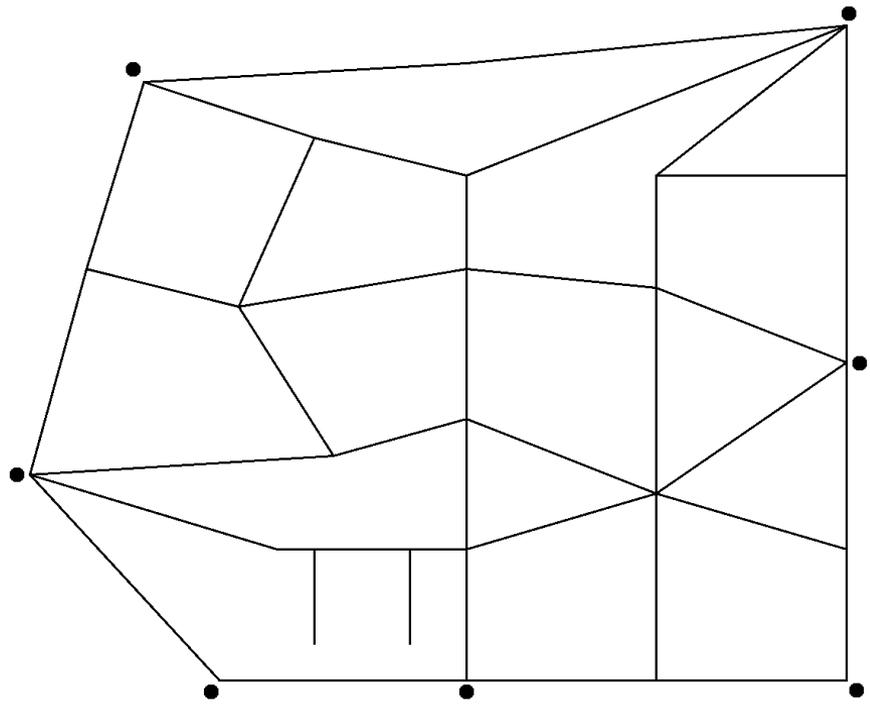
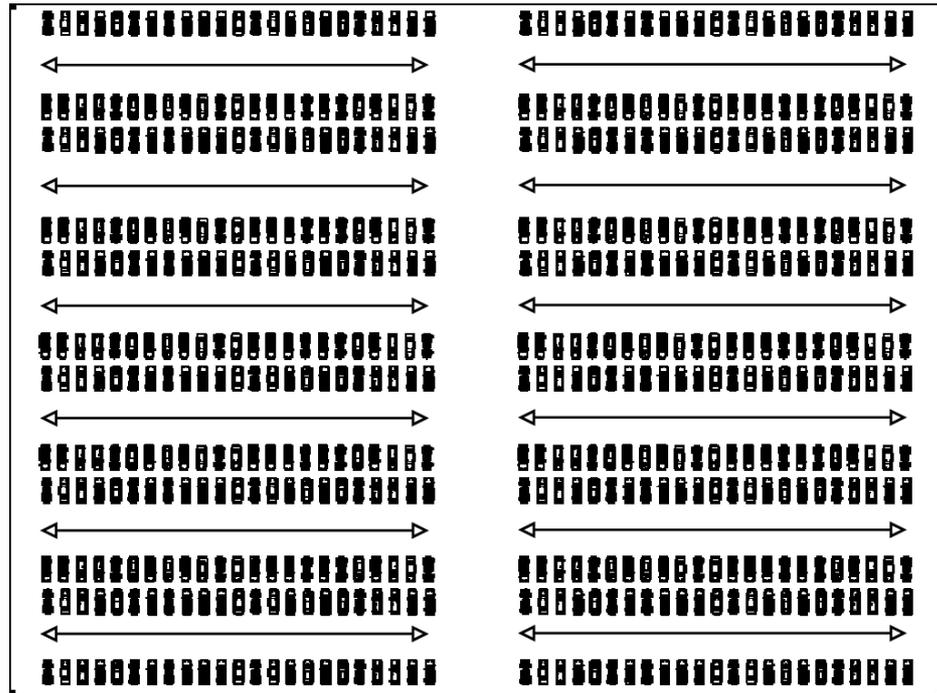


Simulaciones

- Comparaciones utilizando **MinMax**
 - **Simulated annealing**
 - **Auction**
 - Hierarchical auctions (OR nodes)
 - Best insertion point
 - Optimal TSP for a single robot
 - Greedy reallocation of own OR nodes
 - **Cuatro robots (disponibles)**
 - **Mission estática (no cambios para replanificar)**



Scenarios



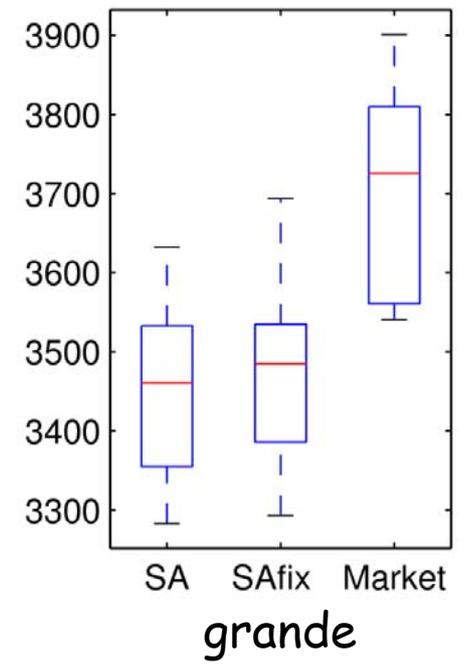
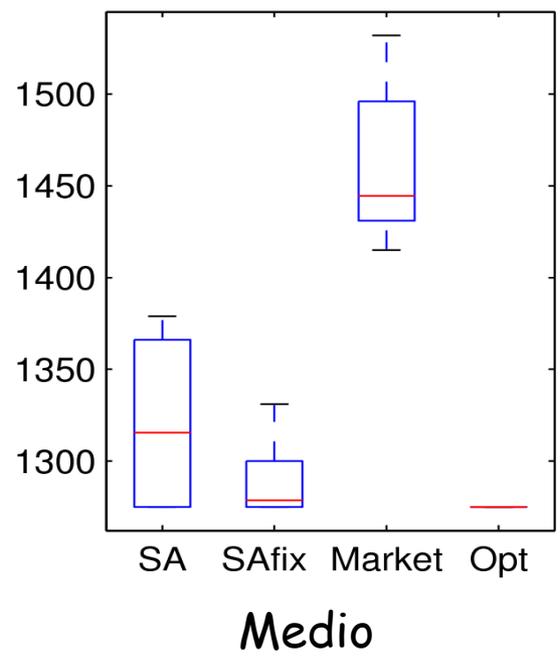
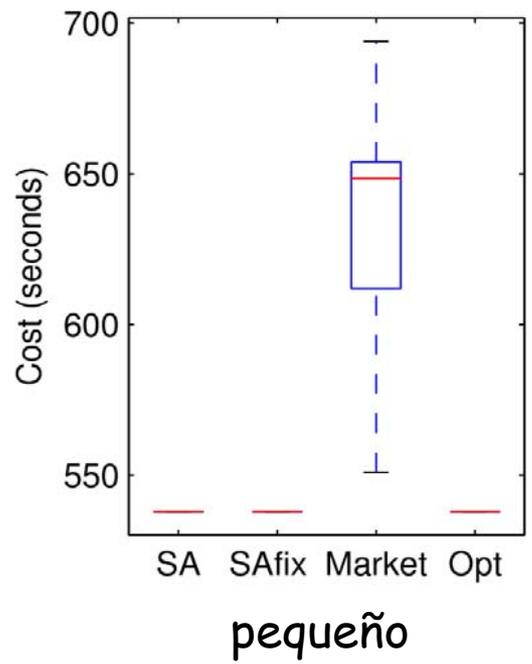
- pequeño
- 2^{12} plans

- medio
- 2^{32} plans

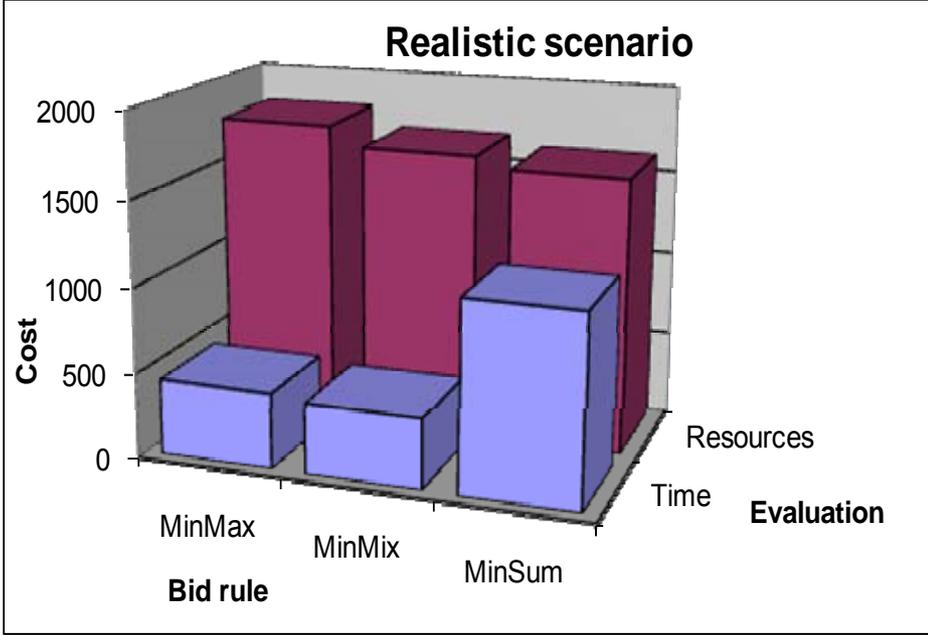
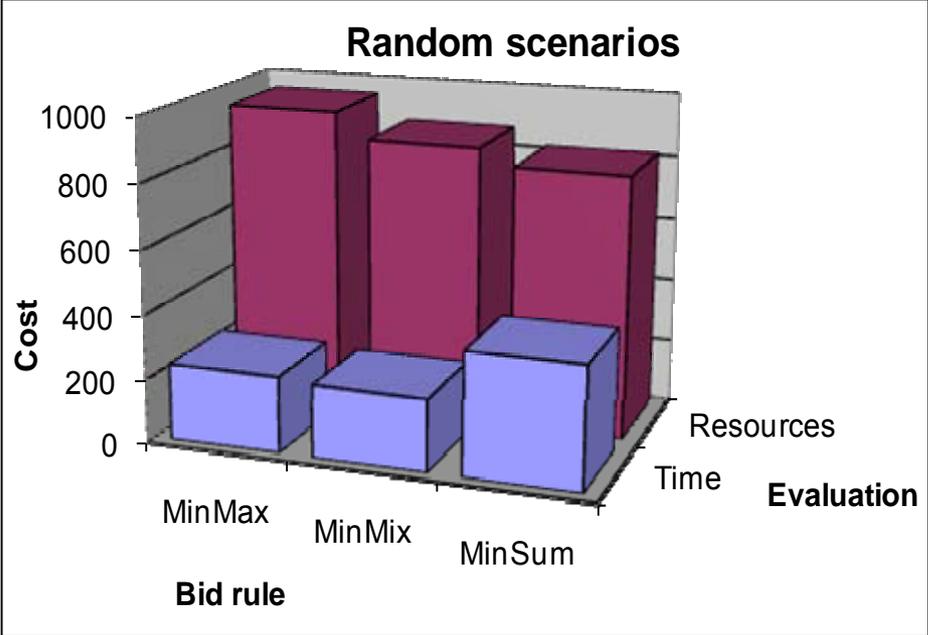
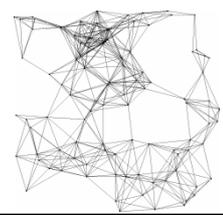
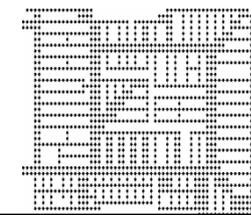
- grande
- 2^{43} plans

Metodología y resultados

- Annealing: 1 minuto hasta comienzo de misión.
- Annealing durante toda la misión (tiempo real).
- Auctioning hasta que no hay progreso
- 10 ensayos



Subastas y criterios



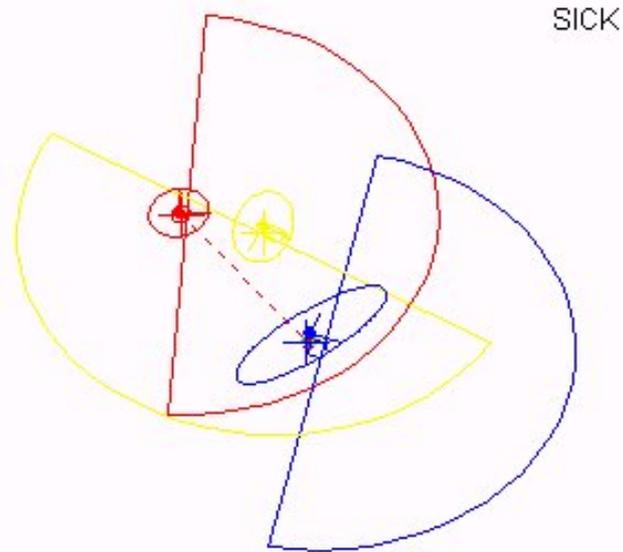
- MinSum puede provocar **muy malos tiempos** de misión y **poca ganancia** en recursos
- MinMix mejora **mejora ligeramente** MinMax .
- MinMix **próximo** a MinSum en recursos.

Navegación cooperativa de equipos de robots en red

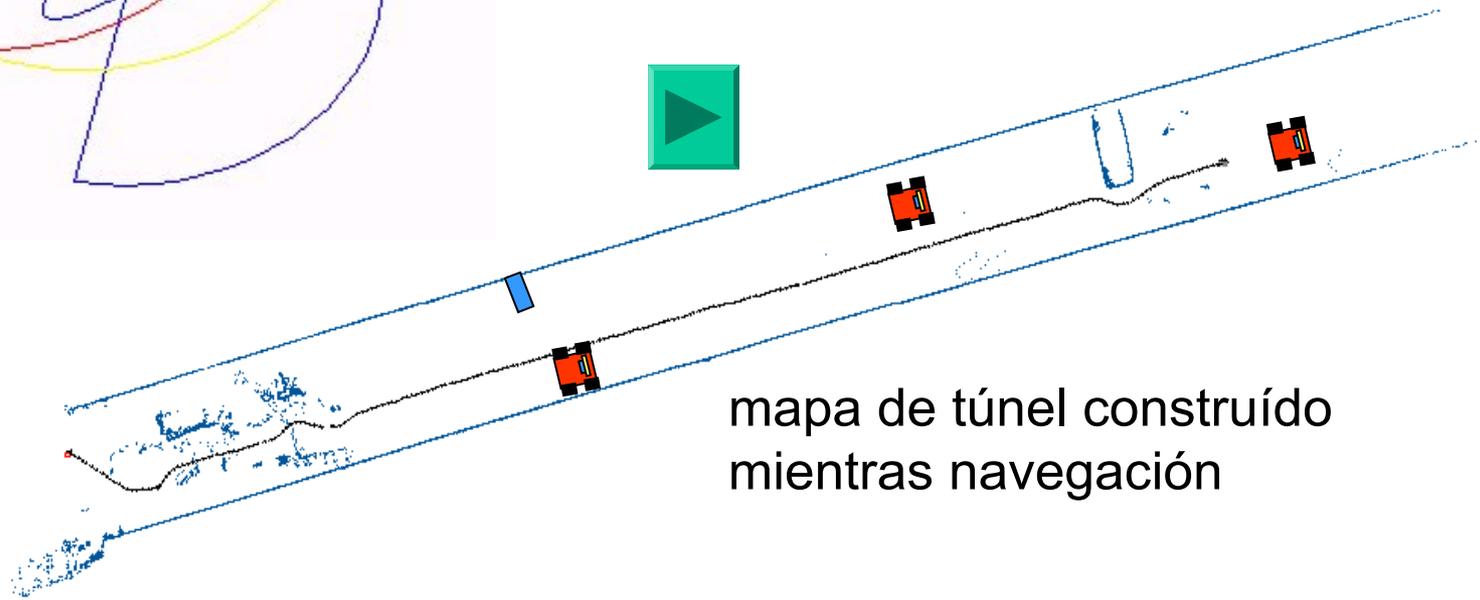
Contenidos

1. Planificación y asignación de tareas
2. Navegación cooperativa
3. Mantenimiento de la comunicación en equipos de robots
4. Experimentos en escenarios reales





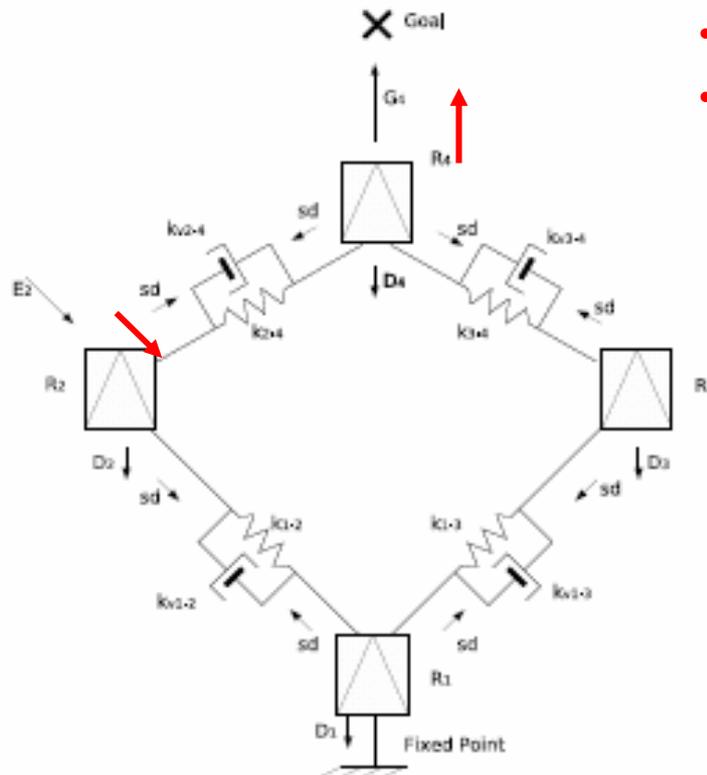
- Equipo formando una estructura
- Robot líder-robots esclavos
- Navegación cooperativa
- Localización relativa



mapa de túnel construido
mientras navegación

Analogía sistema mecánico Muelle-amortiguamiento

- Topología flexible
- Adaptación a geometría del entorno

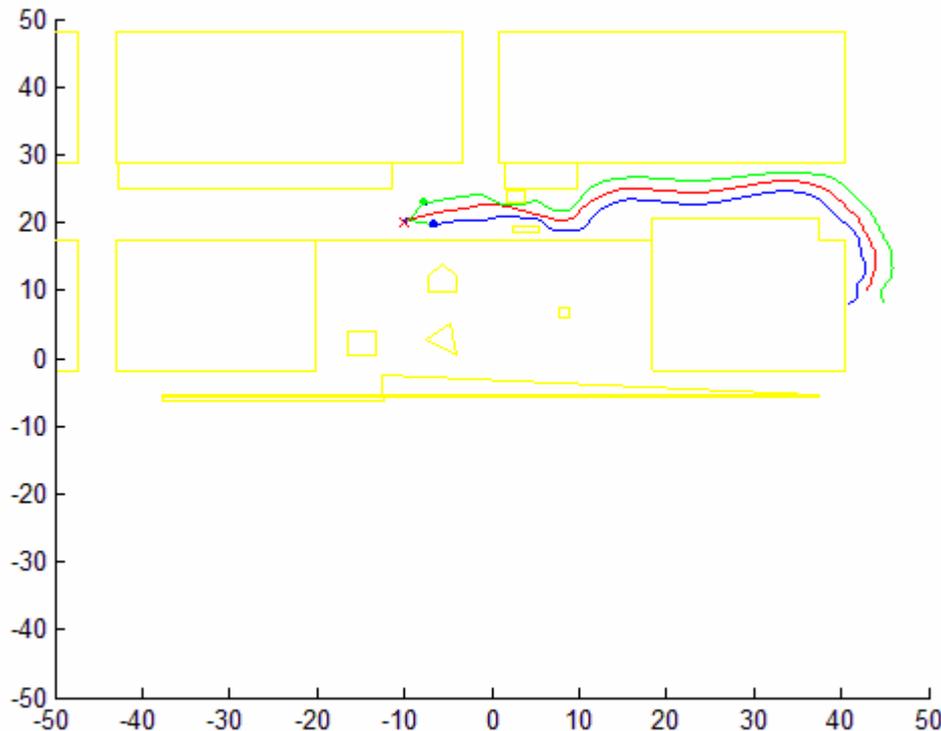


$$SD_i = \sum_{j=1}^N sd_{ij} A_{ij}.$$

$$sd_{ij} = k_s (d-d_0) \mathbf{d}_u + k_v \mathbf{v}_{ij}$$

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{G}_i + \mathbf{SD}_i + \mathbf{D}_i + \mathbf{E}_i$$

Navegación cooperativa con adaptación al entorno



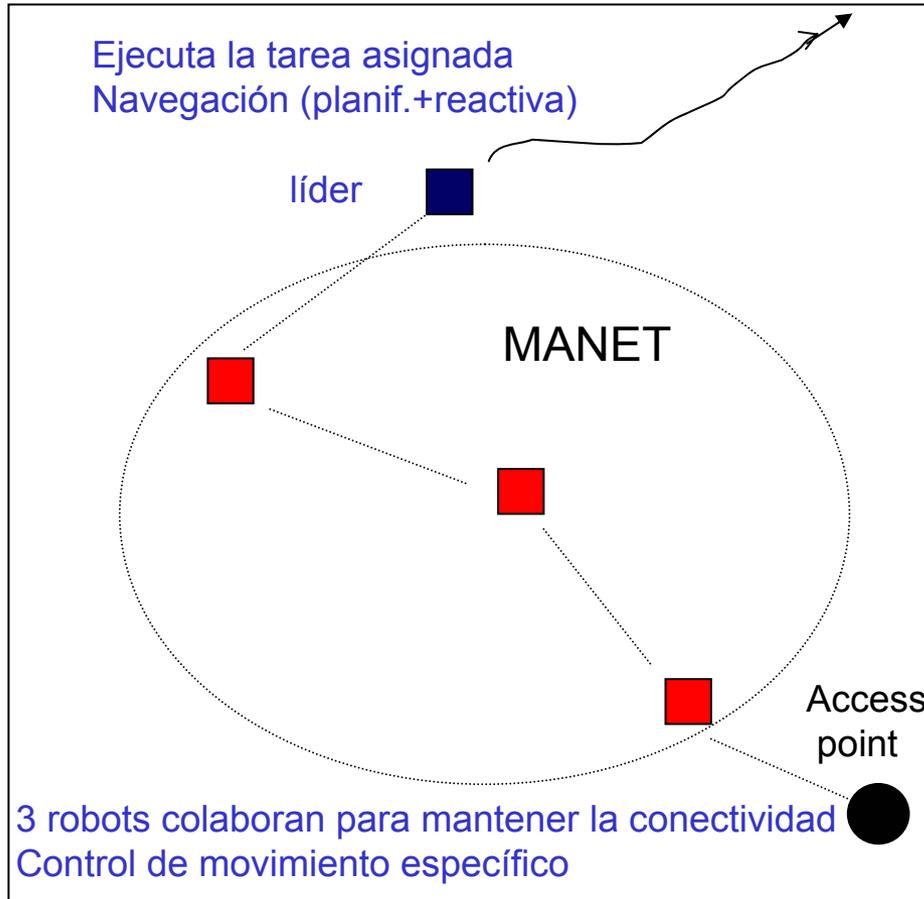
Navegación cooperativa de equipos de robots en red

Contenidos

1. Planificación y asignación de tareas
2. Navegación cooperativa
3. Mantenimiento de la comunicación en equipos de robots
4. Experimentos en escenarios reales



Mantenimiento de conectividad



Analogía muelle-amortiguamiento

Nivel (calidad) de señal
 \neq
 distancia relativa

$$sd_{ij} = k_s (\gamma - \gamma_0) d_{ij} + k_v v_{ij}$$

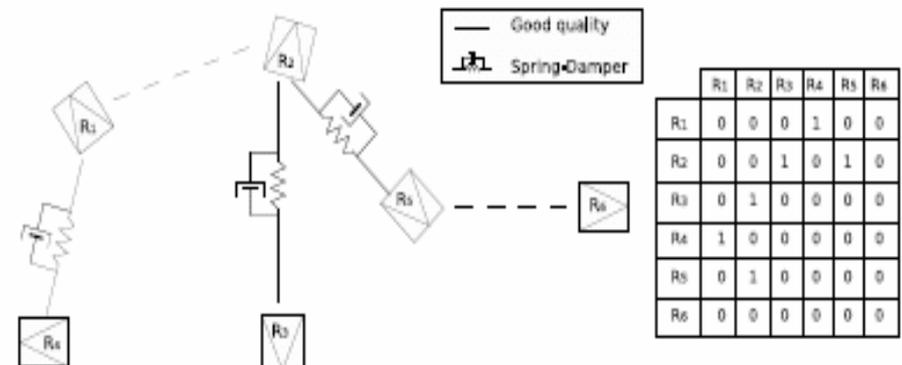


Fig. 6. Spring-Damper structure generated by Prim's algorithm with matrix of links generated for the minimum spanning tree

Arquitectura del sistema

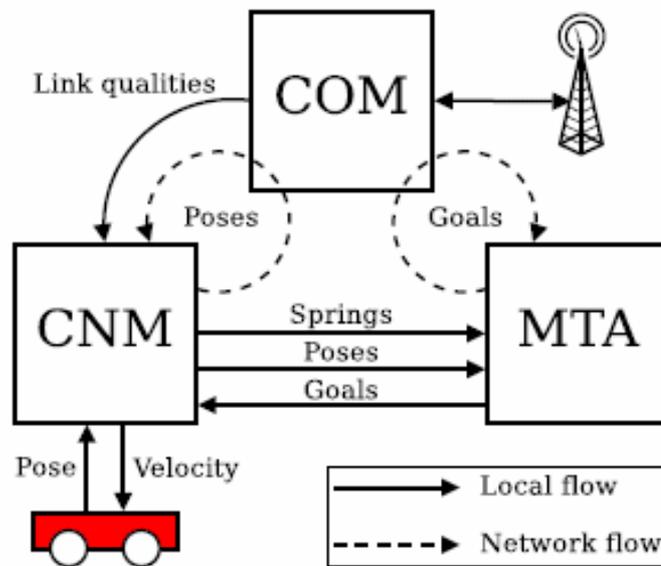


Fig. 1. Modules and information flows.

- control: protocolos **tiempo real**
- comunicación **multi-salto**
- Módulos:
 - Comunicaciones (COM)
 - Navegación cooperativa (CNM)
 - Multi -Task Allocation (MTA)
- Comparten información

Asignación de tareas (subastas) - distintos criterios

Hungarian



- emparejamiento óptimo tarea-robot
- 1 tarea por robot- resto tareas pendientes
- misma tarea para robots de un grupo

Minmix



- inserción heurística
- todas las tareas consideradas
- todos los robots candidatos

Greedy-gathering

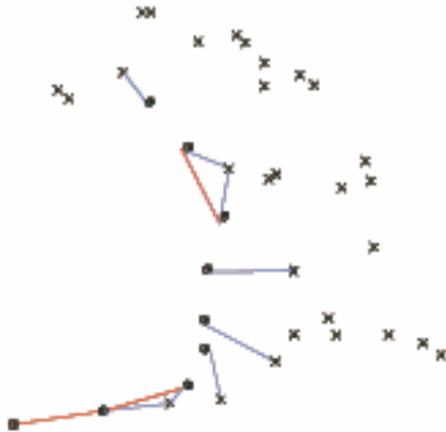


- se elige emparejamiento tarea-robot de mínimo coste (P)
- se asigna al grupo
- se distribuyen tareas "próximas" a P entre el resto de grupos (hungarian)

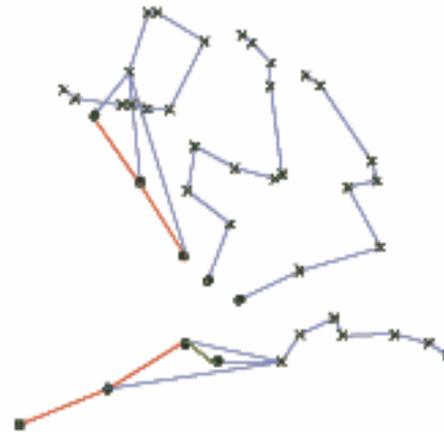
TSP-gathering



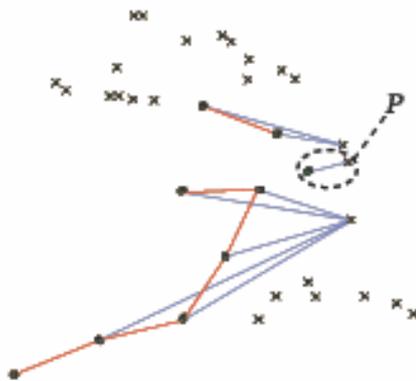
- TSP inicial para un robot
- Se asigna el primero
- Se mantiene planificación para asignaciones al resto de grupos



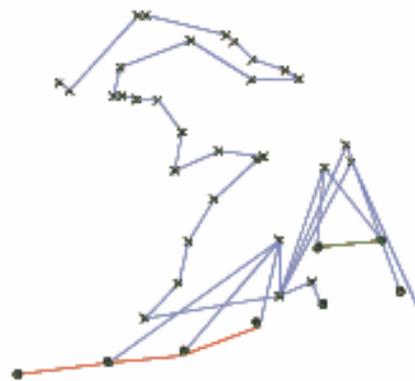
a) Hungarian method.



b) MINMAX.



c) Greedy with gathering.



d) TSP with gathering.

- Hungarian: óptimo en rangos cortos
- Empeora en rangos grandes
- TSP mejor en rangos grandes
 - favorece agrupamientos
 - mantiene agrupamientos
 - limita continuas reasignaciones
- greedy:
 - Favorece agrupamientos
 - Presenta más reasignaciones
- TSP y greedy:
 - penalizan menos frente a no agrupamientos (no gathering)

Resultados experimentación real

Test de modelo
muelle-amortiguamiento

Distancias

Creación de unión

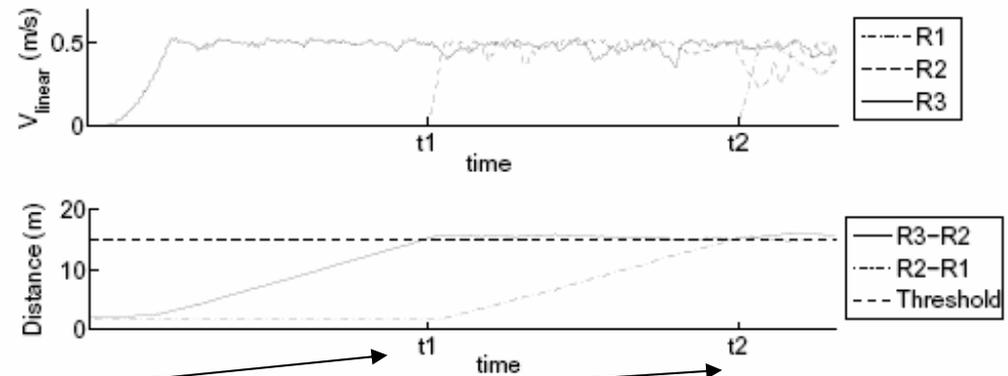


Fig. 11. Linear velocity during the real experiment and evolution of the relative distances between consecutive robots.

Calidad de señal

Creación de unión

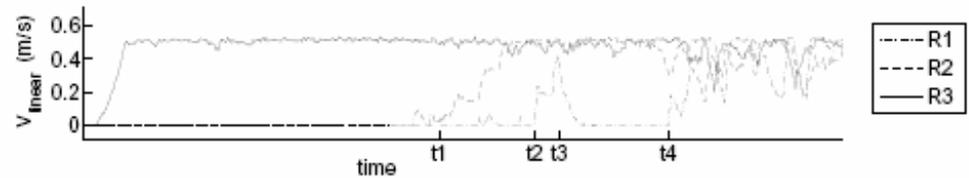


Fig. 12. Linear velocity during the link quality based real experiment.

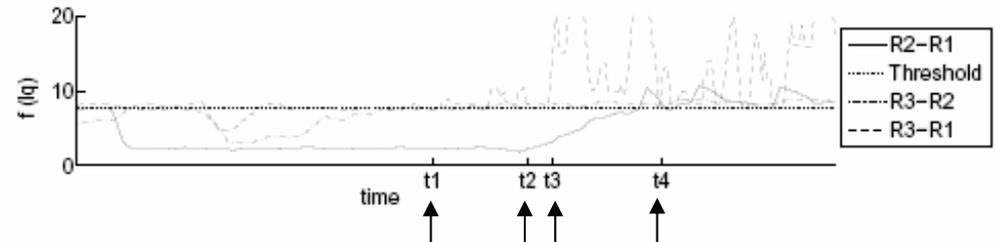
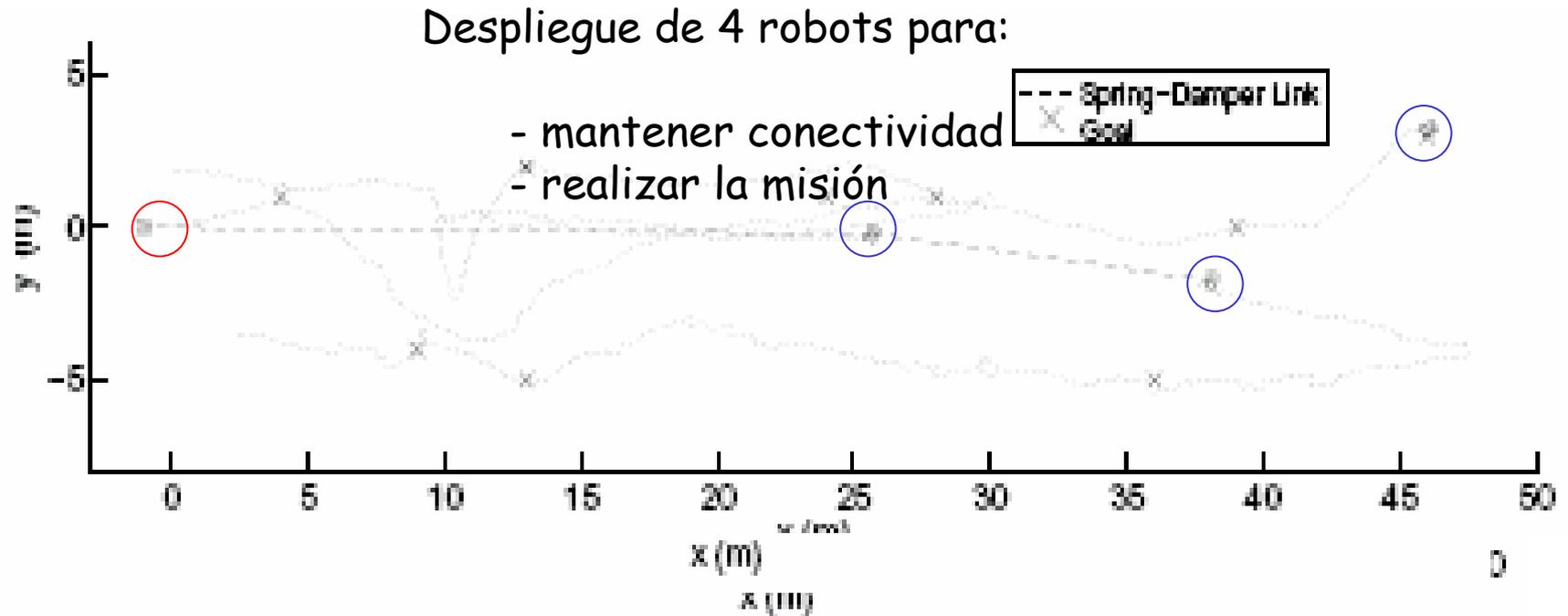


Fig. 13. Evolution of the $f(lq)$ amongst robots.

Resultados experimentación real

Cumplimiento de misión manteniendo conectividad



Navegación cooperativa de equipos de robots en red

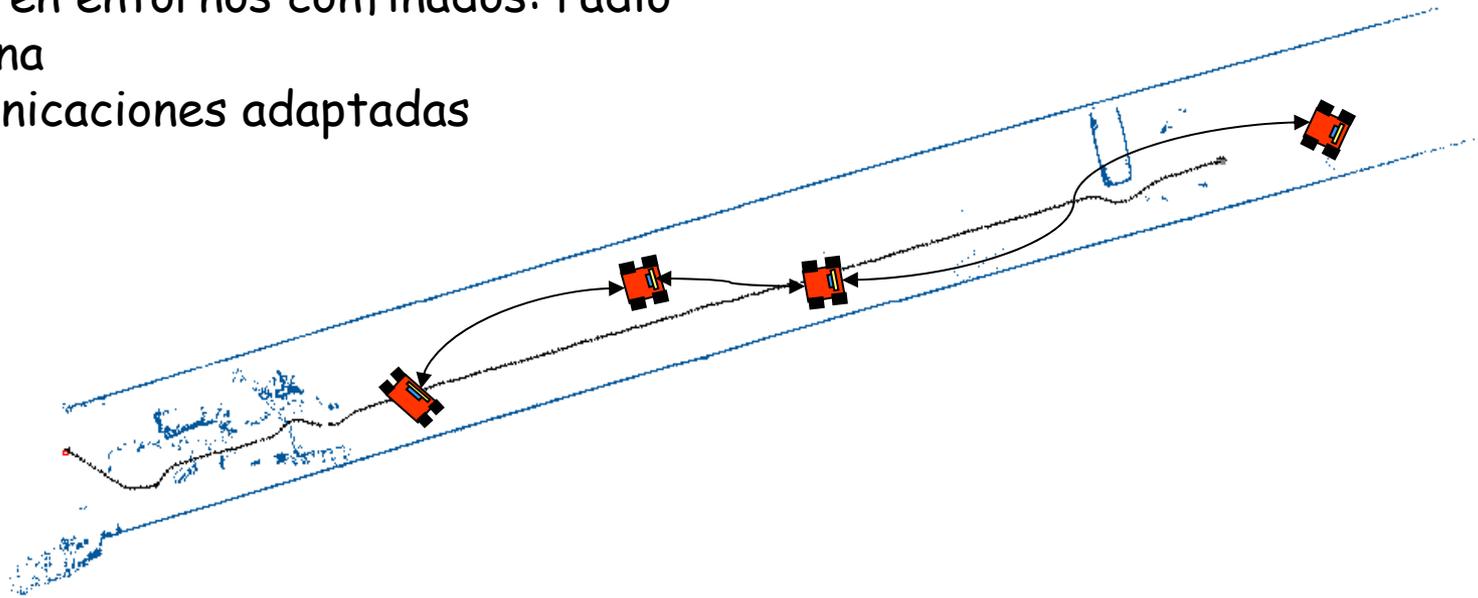
Contenidos

1. Planificación y asignación de tareas
2. Navegación cooperativa
3. Mantenimiento de la comunicación en equipos de robots
4. Experimentos en escenarios reales

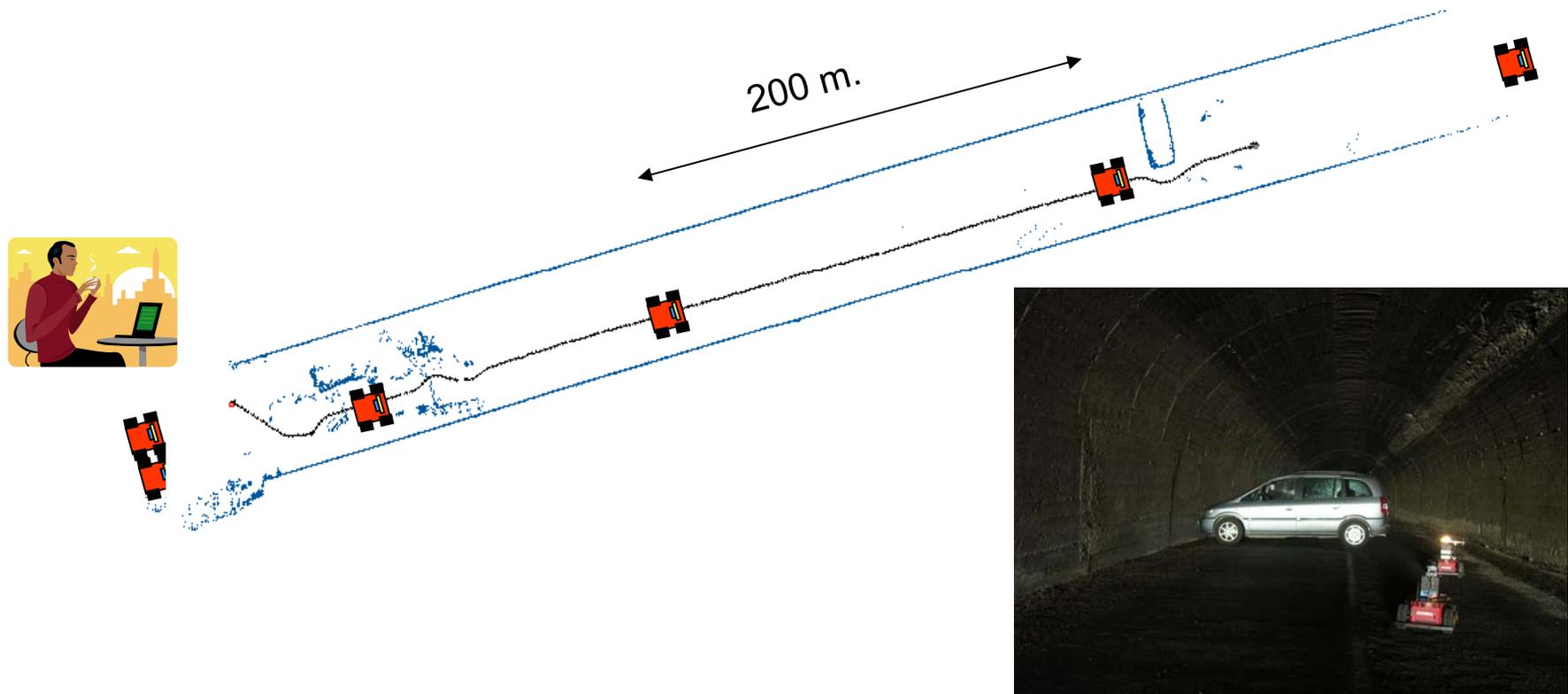


Despliegue en tunel carretero manteniendo comunicación con la base

- Infraestructura inexistente o destruída
- Despliegue de robots manteniendo la conectividad en comunicación
- Problema en entornos confinados: radio no funciona
 - comunicaciones adaptadas

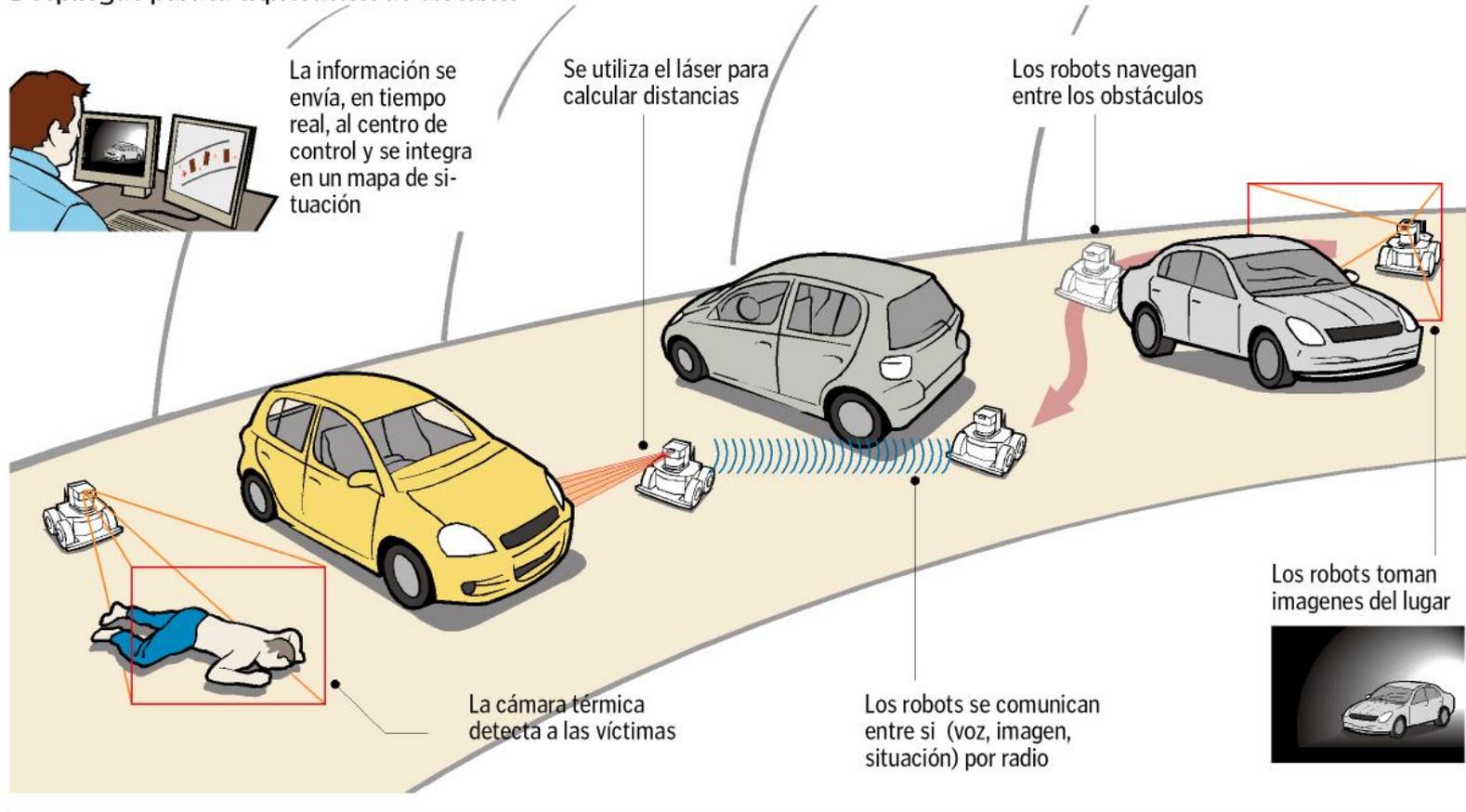


Despliegue para establecer comunicaciones con centro de control



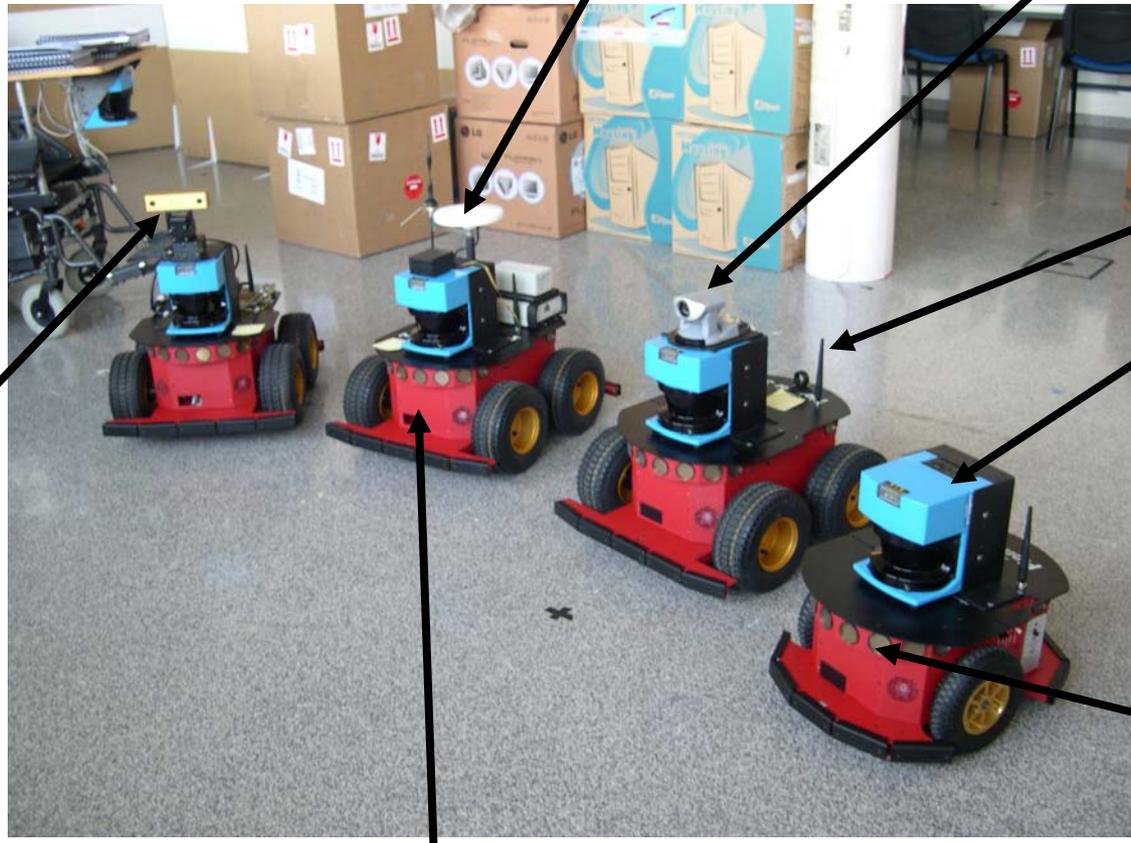
Un equipo robótico en acción

Despliegue para la exploración de un túnel



HERALDO

Equipo de robots móviles



Sistema de visión estéreo

GPS diferencial

Cámara monocular

Antena comunicación inalámbrica ethernet

Sensor laser de distancia: Barrido de 180 grados

Anillo de sensores ultrasonidos

Sistema informático embarcado en el interior

Equipo de robots en túnel carretero



Despliegue de robots en túnel de la Manzanera



- comunicaciones multi-salto
- exploración navegación localización
- Exploración en aparcamientos





Posible entorno de trabajo

Pérdida de visibilidad:

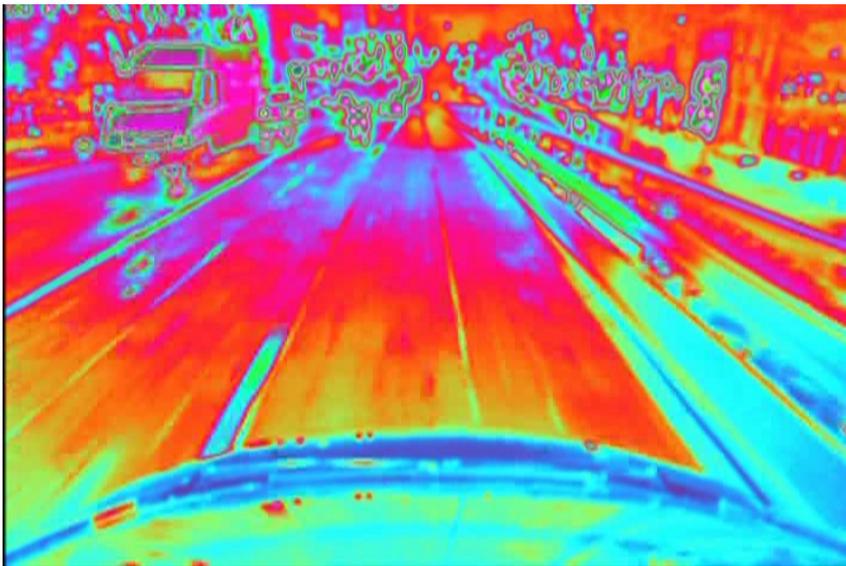
- Navegación con sensores
- Cámaras infrarrojas

Simulacro en tunel Somport

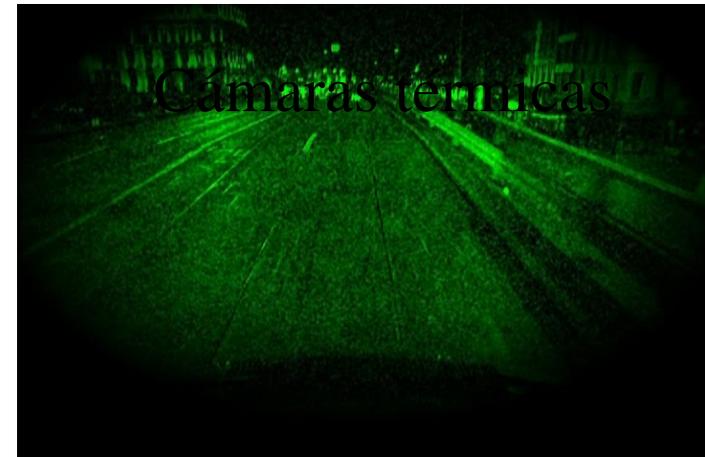


Cámaras termográficas

Información térmica y profundidad



Visión nocturna



Proyecto URUS: Sistemas robóticos en red para entornos urbanos



Cameras and ubiquitous sensors

Wireless and network communication

Robots with intelligent head and mobility

- Guiado
- Transporte
- Vigilancia
- emergencias

People with mobile phones and RDFI

Robots for transportation of people and goods

URUS: Ubiquitous Networking Robotics in Urban Settings.
Proyecto EC, VI Programa Marco (8 Labs. 3 empresas (T I+D))

Conclusiones

Se ha presentado:

- Planificación y asignación de tareas en equipos multi-robot
 - Diferentes criterios a optimizar
 - Diferentes técnicas de asignación: óptimas, heurísticas, subastas
- Navegación cooperativa
 - Navegación en formación
 - Topología flexible y adaptable al entorno
 - Analogía mecánica
- Navegación cooperativa manteniendo conectividad en comunicaciones
 - Comunicaciones tiempo real multi-salto
 - Formación de grupos de robots para mantener conectividad



Conclusiones (II)

- Integración de técnicas. Objetivos:
 - cumplir misión en navegación cooperativa
 - cumplir misión mantenimiento conectividad
- Experimentación preliminar en entornos realistas
 - túnel carretero
 - despliegue manteniendo conectividad

Trabajo futuro

- nuevas técnicas en planificación y asignación por grupos
- mejora en medida y utilización de la calidad de la señal
- experimentación en entornos urbanos (proyecto URUS)
- experimentación en aplicaciones de vigilancia o rescate (proyecto NERO)



Referencias

- Simulated annealing for multi-robot hierarchical task allocation with flexible constraints and objective functions.
A. Mosteo, L. Montano. Workshop Network Robot Systems: Toward Intelligent Robotic Systems Integrated with Environments. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Oct. 9-15, 2006, Beijing, China.
- Comparative experiments on optimization criteria and algorithms for auction based multi-robot task allocation.
A. Mosteo, L. Montano. 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Roma, Abril 2007.
- SANCTA: An Ada 2005 general-purpose architecture for mobile robotics research. A Mosteo, L. Montano. Ada-Europe 2007. Geneva, Switzerland, 27-29 June 2007.